

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra geoinformatiky

**VLIV ROZMÍSTĚNÍ VLÍCOVACÍCH
A VÁZACÍCH BODŮ NA PŘESNOST
AEROTRIANGULACE**

Diplomová práce

Bc. Šárka VYMĚTALÍKOVÁ

Vedoucí práce RNDr. Jakub MIŘIJOVSKÝ, Ph.D.

Olomouc 2018
Geoinformatika

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá matematickým a statistickým testováním strategií s různým počtem a rozmístěním vřícovacích bodů v zájmovém území s hlavním důrazem na přesnost výsledného svazkového vyrovnání bloku.

Práce je rozdělena na dvě praktické části. V první části jsou stanoveny základní strategie, které jsou testovány nad experimentálními daty. Na základě vyhodnocení přesností jsou vysloveny základní hypotézy, které jsou ověřovány ve druhé praktické části na datech získaných UAV snímkováním.

V rámci testovaných strategií jsou hodnoceny přesnosti výsledných fotogrammetrických řešení při snižování počtu vřícovacích a vázacích bodů, dále při nerovnoměrném rozmístění vřícovacích bodů, u kterých je zkoumán vliv singularity a přesnosti v odlehlých částech snímků, kde není dostatečné množství vřícovacích bodů.

Postupy tvorby práce jsou opřeny o principy a metody letecké fotogrammetrie. Určení souřadnic bodů v terénu je realizováno tachymetrickou metodou pomocí totální robotické stanice Trimble S3 a snímkový let je proveden UAV modelem DJI Phantom 4 Pro. Snímky jsou zpracovány algoritmy automatických korelací založených na metodě Semi-Global Matching ve fotogrammetrickém softwaru Agisoft PhotoScan Pro. Přesnosti výsledných fotogrammetrických řešení jsou hodnoceny matematickými a statistickými parametry.

KLÍČOVÁ SLOVA

vřícovací body; vázací body; letecká fotogrammetrie; svazkové vyrovnání bloku; image matching

Počet stran práce: 57

Počet příloh: 4 (z toho 2 volné a 2 vázané)

ANOTATION

This diploma thesis deals with mathematical and statistical strategies testing with different number and distribution of ground control points in the area of interest with the main emphasis on the accuracy of the block bundle adjustment.

The thesis is divided into two practical parts. The first part sets out basic strategies that are tested over experimental data. On the basis of the accuracy evaluation, the basic hypotheses are expressed, which are later verified in the second practical part over the data obtained by UAV imaging.

Within the tested strategies, the accuracy of the resulting photogrammetric solutions in the reduction of the number of ground control points and tie points is evaluated, as well as the uneven distribution of ground control points in which the effect of singularity and precision is examined in remote parts of the frames where there is insufficient number of ground control points.

The procedures for creating this thesis are based on principles and methods of aerial photogrammetry. Determination of point coordinates in terrain is implemented by tachometric surveying using the Trimble S3 total robotic station and the snapshot flight is performed by the UAV model of the Phantom 4 Pro DJI. The images are processed by Semi-Global Matching based automatic correlation algorithms in the Agisoft PhotoScan Pro photogrammetric software. The accuracy of the resulting photogrammetric solutions is evaluated by mathematical and statistical parameters.

KEYWORDS

ground control points; tie points; aerial photogrammetry; bundle block adjustment, image matching

Number of pages: 57

Number of appendixes: 4

Prohlašuji, že

- diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu,
- jsem si vědoma, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo,
- beru na vědomí, že Univerzita Palackého v Olomouci (dále UP Olomouc) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užívat (§ 35 odst. 3),
- souhlasím, aby jeden výtisk diplomové práce byl uložen v Knihovně UP k prezenčnímu nahlédnutí,
- souhlasím, že údaje o mé diplomové práci budou zveřejněny ve Studijním informačním systému UP,
- v případě zájmu UP Olomouc uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít výsledky a výstupy mé diplomové práce v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,
- použít výsledky a výstupy mé diplomové práce nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem UP Olomouc, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly UP Olomouc na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Olomouci dne

Šárka VYMĚTALÍKOVÁ

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu práce RNDr. Jakubu Miřijovskému, Ph.D. za odborné vedení, vstřícnost při konzultacích a cenné rady.

Dále děkuji za poskytnuté odborné rady Mgr. Jitce Doležalové.

V neposlední řadě děkuji své rodině a přátelům (především Bc. Elišce Vlčkové) za pomoc a podporu během celého studia.

OBSAH

ÚVOD	8
1 CÍLE PRÁCE	9
2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ	10
2.1 Použité metody	10
2.2 Použitá data a přístroje	11
2.3 Použité programy	12
2.4 Postup zpracování.....	12
3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	14
4 METODY ZPRACOVÁNÍ OBRAZU	15
5 VLASTNÍ ŘEŠENÍ I	18
5.1 Strategie	18
5.2 Realizace experimentu	19
5.3 Zpracování dat.....	19
5.3.1 Fotogrammetrické zpracování	20
5.3.2 Matematicko-statistické hodnocení.....	22
5.4 Hodnocení přesnosti experimentálních dat	24
6 VLASTNÍ ŘEŠENÍ II	30
6.1 Výběr lokalit	30
6.2 Plán letu a příprava snímkování	31
6.3 Terénní práce a snímkový let.....	35
6.4 Fotogrammetrické zpracování.....	36
6.5 Hodnocení přesnosti terénních dat	39
6.5.1 Louka v Litovelském Pomoraví.....	39
6.5.2 Louka u jezera Poděbrady u Olomouce	47
7 VÝSLEDKY	58
7.1 Strategie 1	58
7.2 Strategie 2	59
7.3 Strategie 3	60
7.4 Strategie 4	60
8 DISKUZE	61
9 ZÁVĚR	63
POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	
PŘÍLOHY	

ÚVOD

V posledních letech nastal výrazný rozvoj nových technologií v oblasti letecké fotogrammetrie, který umožňuje efektivně pořizovat a zpracovávat snímky pro řadu různorodých aplikací. Tomuto rozvoji přispělo využívání bezpilotních technologií současně s rozvojem výpočetních algoritmů, které dokáží zpracovat velké množství neměřických snímků s neznámými prvky vnější orientace do podoby fotogrammetrických produktů. Kvalita výsledných řešení je závislá na několika faktorech. Jedním z nich je i problematika vlíčovacích bodů, jejichž souřadnice určené v terénu jsou vstupními parametry do výpočtů svazkového vyrovnání bloku. Přesnost výsledných fotogrammetrických řešení ovlivňuje jak jejich počet a rozmístění, tak i kvalita určení souřadnic v terénu a v neposlední řadě způsob zpracování v rámci výpočtů. Na úrovni zpracování dat se objevuje další faktor ovlivňující výsledné přesnosti. Jsou jimi vázací body, které jsou výsledkem vyrovnání snímků za vzniku řídkého mračna bodů. Redukcí vázacích bodů na základě určité filtrace lze dosáhnout přesnějších výsledků. Získání poznatků o vlivech těchto faktorů může přispět současně ke snížení finančních nákladů a ke zkvalitnění fotogrammetrických řešení.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem diplomové práce je matematicky a statisticky testovat strategie při různém rozmístění vlíčovacích bodů v zájmovém území s hlavním důrazem na přesnost výsledného svazkového vyrovnání. Dílčí cíle práce jsou:

- sestavit různé strategie rozmístění vlíčovacích bodů a jejich počtu,
- otestovat zvolené strategie na simulovaných datech s vyslovením základních hypotéz,
- ověřit zvolené hypotézy na datech z leteckého snímkování,
- popsat vliv počtu vázacích bodů na výsledek výpočtu.

Práce je rozdělena na dvě základní části – první část proběhne nad experimentálními daty, při které jsou stanoveny základní hypotézy, a druhá část bude aplikována na datech z leteckého snímkování. V rámci šetřených strategií je zkoumán vliv singularity a přesnosti v odlehlých částech snímků, kde není dostatečné množství vlíčovacích bodů, zároveň je zkoumán vliv počtu vázacích bodů na přesnost výsledků.

Výsledkem diplomové práce je hodnocení popisující přesnost výsledného fotogrammetrického řešení při užití různého počtu a rozmístění vlíčovacích bodů, dále také pojednává o možnostech zlepšení přesnosti modelovaných mračen prostřednictvím redukce vázacích bodů. Výsledky budou užitečnými pro subjekty, které se zabývají tvorbou fotogrammetrických produktů na základě UAV (Unmanned Aerial Vehicle) snímkování, při rozhodování o parametrech snímkování, počtech signalizovaných bodů v terénu a v neposlední řadě při zpracování dat.

2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

2.1 Použité metody

Pro získání přesných souřadnic bodů v terénu bylo využito metody elektronické tachymetrie, pořízení leteckých snímků bylo realizováno metodami letecké fotogrammetrie a data byla zpracována metodou multi image matching.

Elektronická tachymetrie

Geodetická metoda měření, při které se zároveň určuje polohopis a výškopis bodů. Přesná poloha bodů je získávána měřením pomocí polárních souřadnic, těmi jsou vodorovný a zenitový úhel a délka. Výpočet je prováděn prostorovou polární metodou a je definován vztahy (Koska, 2003):

$$\begin{aligned} X &= X_0 + s_d * \sin z * \cos \alpha, \\ Y &= Y_0 + s_d * \sin z * \cos \alpha, \\ Z &= Z_0 + s_d * \cos z + v_p - v_c, \end{aligned} \quad (1)$$

kde X_0, Y_0, Z_0 ... jsou souřadnice stanoviště,
 s_d ... šikmá délka,
 z ... zenitový úhel,
 α ... směrnik,
 v_p ... výška přístroje na stanovišti,
 v_c ... výška cíle.

Měření metodou elektronické tachymetrie je realizováno za pomoci totální stanice s odrazným hranolem. Vzdálenost je měřena laserovým dálkoměrem. Tato metoda je běžně užívanou a oblíbenou metodou v praxi především pro svou rychlost a přesnost výsledného měření.

Letecká fotogrammetrie

Získání a zpracování snímků bylo realizováno metodami a postupy letecké fotogrammetrie. Při užití UAV modelu dochází ke kombinaci výhod letecké a pozemní fotogrammetrie. Zatímco z letecké přebírá výhodu vertikálního pohledu, z pozemní získává vysoký detail snímku danou blízkou vzdáleností při snímkování (Aber a kol., 2010). Základní princip metody, kterým je geometricko-matematická rekonstrukce směru fotografických paprsků na snímku (Mířijovský, 2013), zůstává stejný. Metody a postupy letecké fotogrammetrie umožňují získání geodat pro celou řadu aplikací (od ekologických až po urbanistické).

Multi Image Matching

Snímky byly zpracovány metodou multi image matching. Základním principem je obrazová korelace, která automatizovanými postupy vyhledává identické prvky na snímcích. Přístup multi umožňuje zpracování velkých datových sad obsahující až stovky snímků v relativně krátkém čase a s velkou přesností. Podrobnější informace jsou uvedeny v kapitole 3 Metody zpracování obrazu.

2.2 Použitá data a přístroje

Data pro tvorbu diplomové práce byla získána vlastním sběrem s využitím přístrojů ve vlastnictví katedry geoinformatiky. Pro sběr experimentálních dat byla využita neměřická kamera značky CANON EOS 500D s objektivem značky Voightländer Ultron 40mm f/2 SL II. Efektivní rozmístění vřícovacích a kontrolních bodů v terénu bylo realizováno s využitím GNSS (Global Navigation Satellite System) přijímací aparatury značky Trimble R4 s přijímanými RTK (Real Time Kinematic) korekcemi ze sítě referenčních stanic CZEPOS. Pro sběr geodetických souřadnic bodů v terénu bylo využito totální stanice značky Trimble S3 Robotic, jejichž základní parametry jsou uvedeny v Tab. 1.1.

Tab. 1.1 Technická specifikace totální stanice Trimble S3 Robotic (upraveno podle: Totální stanice Trimble S3: Technický popis, 2010)

Měření úhlů ¹	Podle DIN 18732	2"
Čtení úhlů (nejmenší dílek)	Standard	1"
	Tracking	2"
	Průměrovaná měření	0,1"
Automatický kompenzátor	Typ	dvouosý
	Přesnost	0,5"
	Rozsah	5'
Měření délek Hranol ¹	Standard	2 mm + 2 ppm
	Standard dle ISO 17123-4	1,5mm + 2 ppm
	Tracking	5 mm + 2 ppm
Čas měření Hranol	Standard	2 s
	Tracking	0,4 s
Dosah (standardní viditelnost ^{1,2})	1 hranol	2 500 m
	3 hranoly	5 000 m
	Nejkratší možná vzdálenost	0,2 m

¹ Přesnost směrodatná odchylka

² Standardní viditelnost: bez oparu, zataženo nebo polojasny s velmi mírným promícháním tepelných vrstev.

³ Dosah a přesnost záleží na atmosférických podmínkách, velikosti hranolů a osvětlení prostředí.

Snímkový let byl proveden dronem značky DJI Phantom 4 Pro. Jedná se o zástupce kvadrokoptér, který je vybaven čtyřmi motory zajišťují stabilní vzdušnou manipulaci a GNSS přijímačem pro navigování letu. Dalším vybavením je vestavěná Ultra HD palubní kamera s 1-palcovým CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) snímačem s 20 Mpx a mechanickou uzávěrkou a zorným úhlem až 85°, který je schopen pořizovat sekvenční fotografie při 14 snímcích za vteřinu. Kamera je umístěna na tříošem stabilizovaném závěsu, který lze klopat, klonit a otáčet. Dron vnímá okolí v pěti směrech a je schopen se vyhnout překážkám ve čtyřech směrech s využitím dvojic obrazových čidel a infračervených senzorů. Ovládání je zprostředkováno přes aplikaci DJI GO 4, která nabízí živý náhled, údaje o letu, několik letových režimů a další volby nastavení. Základní technická specifikace je uvedena v Tab. 1.2.

Tab. 1.2 Technická specifikace kvadrokoptéry DJI Phantom 4 Pro (upraveno podle: Phantom 4 Pro/Pro+: User Manual, 2016)

Hmotnost včetně vrtulí	1388 g
Maximální letový čas	cca 30 minut
Odolnost vůči větru	max. 10m/s
Maximální rychlost	20 m/s
Maximální rychlost vzestupu	6 m/s
Maximální rychlost sestupu	4 m/s
Rozsah detekování překážky	0,7 – 30 m

2.3 Použité programy

Prvotní přípravné práce pro stanovení orientačních parametrů snímkování byly provedeny v softwaru PreflightCalc verze 1.0008. Stanovení parametrů a plán letu pro UAV snímkování byl vytvářen v aplikaci Ground Station Pro verze 1.8.3. Aplikace nabízí přesné řízení letu, monitorování v reálném čase a mnoho dalšího prostřednictvím velmi intuitivního uživatelského rozhraní. V terénu byl sběr dat realizován prostřednictvím softwaru Trimble Acces v polních kontrolérech GNSS přijímače a totální stanice.

Zpracování snímků bylo prováděno v softwaru Agisoft PhotoScan Pro verze 1.3.3. Software umožňuje tvorbu digitálních modelů ve vysokém rozlišení. Pro výpočet vnější orientace využívá korelaci jednotlivých pixelů na snímcích a principy epipolární geometrie, využívané algoritmy jsou založeny na metodě Semi-Global Matching. Uživatelsky se vyznačuje velkou mírou automatizace a snadnou obsluhou.

Matematické a statické testování, tvorba tabulek a grafů proběhla v softwaru Microsoft Excel 2016. Prostorové operace byly realizovány v softwaru QGIS verze 2.18.7 a vizualizace byly vytvořeny v softwaru ArcMap verze 10.3.

2.4 Postup zpracování

Po nastudování odborné literatury a konzultaci s vedoucím diplomové práce byly stanoveny strategie, které budou v rámci diplomové práce šetřeny. Byly konkretizovány čtyři základní skupiny strategií zabývajících se:

- počtem vřícovacích bodů,
- rozmístěním vřícovacích bodů,
- snímáním liniových objektů,
- počtem vázacích bodů.

Strategie byly nejdříve testovány nad sadou experimentálních dat, která byla vytvořena pomocí milimetrového papíru v horizontální poloze a snímky byly exponovány za manuální simulace letu. Vzniklá data byla fotogrammetricky zpracována a na základě matematického a statistického vyhodnocení byly vysloveny základní hypotézy.

Další fází bylo ověření hypotéz na datech pořízených snímkováním pomocí UAV modelu, tato část diplomové práce je tou obsáhlejší a významnější a spadá do ní několik dílčích kroků:

- **výběr lokalit pro snímkování** – s ohledem na legislativu provozu UAV modelu, účel snímkování a bezpečnost v dané lokalitě,

- **příprava snímkování** – kontrola lokalit, zajištění povolení letu, stanovení parametrů snímkování, tvorba plánu letu,
- **terénní práce** – signalizace, stabilizace, rozmístění a geodetické zaměření vřícovacích a kontrolních bodů, provedení snímkového letu,
- **zpracování dat** – výpočet svazkového vyrovnání pro jednotlivé varianty testovaných strategií,
- **hodnocení přesnosti** – matematické a statistické testování, tvorba tabulek, grafů a vizualizací.

Některé dílčí kroky byly vykonány vedoucím diplomové práce. Mezi tyto kroky patřilo zajištění povolení k letu, tvorba plánu letu ve speciálním softwaru na základě stanovení základních parametrů z autorovi strany a samotné provedení snímkového letu.

3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

O obecných základech fotogrammetrie pojednávají výukové materiály Pavelky (2008, 2011). Užitím UAV technologií ve fotogrammetrii se zabývali autoři Eisenbeiss (2009) a Aber a kol. (2010). V ČR se této problematice věnovaly především akademické práce. Na půdě katedry geoinformatiky Univerzity Palackého vypracoval na toto téma disertační práci Miřijovský s názvem *Fotogrammetrický přístup při sběru geodat pomocí bezpilotních leteckých zařízení* (2013). Absolventských prací, které řeší implementaci UAV technologií do fotogrammetrie je nespočet, například Šimíček (2014), Dlesk (2014) nebo Zachariáš (2015).

Publikací, které se přímo zabývají problematikou počtu a rozmístění vřícovacích bodů, je v české literatuře poskrovnu. Na půdě Výzkumného ústavu geodetického, topografického a kartografického jsou zaváděny moderní technologie fotogrammetrie do katastrálního mapování a na základě tohoto vývoje Šafář vytvořil příručku s názvem *Technologické postupy pro vybrané technologie mapování* (2016) v rámci projektu Integrace nové techniky a technologie do procesu obnovy katastrálního operátu novým mapováním. Součástí technologie bylo hodnocení snímků pořízených UAV modelem na několika testovacích lokalitách s účelem popsat vliv počtu a rozmístění GCPs (Ground Control Points) na výsledná fotogrammetrická řešení.

Celkově bohatší na tuto tematiku je zahraniční literatura. Nejnovější publikací zabývající se touto problematikou na datech pořízených z UAS (Unmanned Aerial Systems) je práce s názvem *Determining the Optimum Number of Ground Control Points for Obtaining High Precision Results Based on UAS Images* (Oniga a kol., 2018), ve které jsou srovnávány přesnosti fotogrammetrických řešení dvou softwarů. Další publikací hodnotící množství, distribuci a kvalitou výběru GCPs v letecké fotogrammetrii se zabýval Liew a kol. (2012) v práci s názvem *Evaluation of Control Points Distribution on Distortions and Geometric Transformations for Aerial Images Rectification* a obdobně studie s názvem *Integrated Sensor Orientation – Ground Control Points for a large-block aerotriangulation* (Ziobro, 2012).

Současně tímto tématem a problematikou vázacích bodů se zabýval Tahar (2013) ve studii s názvem *An Evaluation on Different Number of Ground Control Points in Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetric Block*. Problematiku vázacích bodů řešil Kerner a kol. (2016) v publikaci s názvem *Role of Tie Points Distribution in Aerial Photography*, který porovnával jednotlivé technologie pro vyhledávání identických bodů a hodnotil distribuce vázacích bodů.

Několik dalších publikací se zabývalo distribucí GCPs v rámci družicové fotogrammetrie. Jednou z nich byla studie s názvem *Investigation of Effect of the Number of Ground Control Points and Distribution on Adjustment at WorldView-2 Stereo* (Mutluoglu a kol., 2015). Další obdobnou prací je *A Quantitative Evaluation Method of Ground Control Points for Remote Sensing Image Registration* (Wenting a kol., 2014) zabývající se kvantitativním hodnocením. Další publikací je například *Effect of the sampling design of ground control points on the geometric correction of remotely sensed imagery* (Wang a kol., 2012).

Vhodné je také zmínit autory, kteří se zabývají problematikou automatických korelačních algoritmů založených na metodě SGM (Semi-Global Matching), jsou jimi Hirschmüller (2005, 2008), Westoby a kol. (2012), Irschara a kol. (2012), Shao a kol. (2016). Porovnání algoritmů uvádí v publikacích autoři Dall'Asta a kol. (2014) nebo Zhao a kol. (2017).

4 METODY ZPRACOVÁNÍ OBRAZU

Základním principem fotogrammetrie je geometricko-matematická rekonstrukce směru fotografických paprsků na snímku. Digitální podoba snímků a výkonná výpočetní technika umožňuje využívat k tomuto účelu řadu algoritmů. Jejich základním principem je obrazová korelace, která automatizovanými postupy vyhledává identické prvky na snímcích, tyto metody jsou označovány jako image matching, tedy sjednocení obrazu.

Image matching představuje soubor několika fází zpracování obrazu. Cílem je přímá polohová komparace různých obrazových vstupů za pomoci automatizovaných metod. Jinými slovy probíhá úprava jedné sady tak, aby se ztotožnila na úrovni stejných prvků v sadě druhé. Proces image matching se skládá ze tří základních částí, z nichž každá může probíhat automatizovaně, jsou jimi detekce, ztotožnění a transformace (Pokorný, 2013). Nejdříve jsou na snímcích identifikovány odpovídající si prvky, přičemž je snahou získat co největší počet těchto bodů při co největší automatizaci procesu. Následuje matematické definování vztahů mezi shodnými prvky (dochází k výpočtu metriky určující míru shody mezi nalezenými prvky). V poslední fázi dochází k samotné transformaci, při které na základě vypočítaných parametrů jsou všechny datové sady umístěny polohově do shodných míst.

V poslední letech nastal intenzivní rozmach ve vývoji nových algoritmů. Rozvoj byl způsoben uveřejněním zcela nového matematického algoritmu Semi-Global Matching (SGM), který umožnil využívat i neměřické snímky pro tvorbu fotogrammetrických produktů. Tento algoritmus zásadně ovlivnil další vývoj a dal vzniku mnoha dalším algoritmům, které byly z něj odvozeny. V dnešní době jsou tyto algoritmy začleněny ve většině fotogrammetrických softwarů jako standartní měřicí a výpočtový nástroj (Remondino a kol., 2014). Rekonstrukce trojrozměrných reprezentací z velkého množství překrývajících se snímků je stále velmi živým tématem výzkumu fotogrammetrie a počítačového vidění (Haala, Cavegn, 2016). V dalším textu budou popsány základní techniky vyhledávání identických bodů, lokální a globální prostorové metody transformace a závěrem bude popsána již zmíněná metoda SGM, která značně ovlivnila vývoj korelačních algoritmů.

Techniky vyhledávání identických bodů

Byly popsány tři základní techniky vyhledávání identických bodů (Pokorný, 2013): area-based matching (ABM), feature-based matching (FBM) a relation-based matching (FBM). Metoda ABM hledá vztah mezi dvěma částmi obrazu na základě podobnosti DN (Digital Number) hodnot pixelů, jedná se o korelaci mezi plochami pixelů. Metoda využívá křížové korelace (cross-correlation) a korelace metodou nejmenších čtverců (least squares correlation). V obou metodách je stanoveno korelační okno o předem stanovené velikosti, které může mít rozdílnou velikost i tvar. Zdrojové okno zůstává v konstantní poloze a vyhledávací okno se posouvá po druhém snímku a je testováno jeho podobnost vzhledem k zdrojovému oknu. Není zapotřebí provádět úpravu jasu a kontrastů snímků před prováděnou korelací, protože korelační algoritmy nejprve provádí normalizaci hodnot pixelů v rámci zdrojového a vyhledávacího okna. Robustnějším algoritmem je křížová korelace, avšak její přesnost je omezena hodnotou pixelu. Metoda nejmenších čtverců dosahuje přesnosti jedné desetiny pixelu, ale zároveň vyžaduje přesnou pozici vyhledávacího okna. V praxi se tedy nejdříve provede metoda křížové korelace a poté jsou výsledky zpřesněny korelací nejmenších čtverců.

Metoda FBM hledá vztah mezi dvěma obrazovými objekty, těmi jsou většinou objekty, ale mohou jimi být i linie nebo komplexnější objekty. Metoda předpokládá, že jsou nejprve extrahovány objekty, které se budou posléze porovnávat. Při porovnávání je

testována podobnost parametrů objektů. Metoda RBM hledá taktéž vztahy mezi dvěma obrazovými objekty jako metoda FBM, ale navíc určuje vztahy mezi nimi, metoda je značně početně náročná, z tohoto důvodu jsou využívány obrazové pyramidy, které zkracují dobu výpočtu. V procesu se nejdříve vyhledávání oken realizuje na snímcích s nižším rozlišením a po určení základních vztahů se zpřesňuje vyhledávání na snímcích s větším rozlišením.

Lokální a globální prostorové metody transformací

Lokální metody určují disparitu nebo váhu pixelu podle informací poskytnutých sousedními pixely. Srovnávání s ostatními snímky je prováděno na základě stejně velkého okolí hledaného pixelu. Hledaným bodem je zvolen obrazový prvek s nejnižšími náklady nebo s nejmenší disparitou, zatímco ostatní výsledky se neberou v potaz. Obecně platí, že lokální metody jsou rychlé, ale poskytují výsledky s nižší kvalitou.

Globální metody přiřazují hodnoty disparity každému pixelu v závislosti na informacích odvozených z celého obrazu, a navíc zohledňují fakt, že v blízkém okolí nedochází ke skokové změně hloubky obrazu, a proto jsou méně náchylné k chybám. Globální algoritmy poskytují vysoce kvalitní výsledky, ale jsou často výpočetně náročné

Semi-globální obrazová korelace

Heiko Hirschmüller (2005, 2008) vyvinul metodu účinného zpracování stereoskopických dvojic zvanou Semi-Global Matching, která úspěšně kombinuje globální a lokální prostorové metody. Na základě uveřejnění algoritmizace této metody byla dále zlepšována různými expertními týmy a dnes je běžně využívána pro mnoho rozličných aplikací v praxi. V současné době je na základě tohoto algoritmu naprogramována většina současných softwarů pro vyrovnání snímkových bloků. Zavedení těchto postupů zvýšilo rychlost zpracování aerotriangulace oproti 23 modelům, ze kterých vycházel H. Hirschmüller, přibližně 80krát, a to při významně zvýšené kvalitě měření a snížené hodnotě RMSE (Root Mean Square Error) na vřícovacích a kontrolních bodech po vyrovnání na srovnatelných snímkových blocích (Šafář, 2016).

Hirschmüllerův algoritmus, který je založený na robustní automatické obrazové korelaci, lze využít v jakékoliv aplikaci snímkování (pozemní, letecké i mobilní), s měřickými i neměřickými kamerami, protože dostatečné překryvy snímků zajišťují realizaci výpočtu bez znalosti parametrů nejen vnější, ale i vnitřní orientace. Metoda slouží k 3D rekonstrukci modelu z páru kalibrovaných snímků založené na hledání shodných pixelů v jednotlivých snímcích. Výhodami SGM metody je rychlost zpracování a současně i přesnost výsledků, a to především na hranách objektů a u jemných struktur. Také je odolná vůči radiometrickým rozdílům a není citlivá na výběr parametru. Výpočet probíhá ve dvou základní krocích:

1. Výpočet pixelové korespondence

V tomto kroku jsou určovány vztahy mezi jednotlivými pixely. Pro každý bod na zkoumané epipolární linii, která představuje přímku vzniklou protnutím levé a pravé obrazové roviny snímku, se počítají korespondence pro všechny potenciale nezáporné disparity. Pixelová korespondence se dá vyjádřit vztahem:

$$C[x, y, d] = |L(x) - R(x - d)| \quad (2)$$

kde C ... korespondence,
L ... hodnota bodu pro levý snímek,
R ... hodnota bodu pro pravý snímek,
d ... disparita,

x,y ... snímkové souřadnice.

2. Hledání cest

V dalším kroku algoritmus počítá váhu cesty, tedy minimum korespondencí bodů, které jsou od počítaného body daným směrem, a váhu dané cesty před tím, než dospěla k danému bodu. Většinou je počítána pro osm směrů:

$$L_r(p, d) = C(p, d) + \min \left\{ \begin{array}{l} L_r(p-r, d) \\ L_r(p-r, d+1) + P_1 \\ L_r(p-r, d-1) + P_1 \\ \min_i L_r(p-r, i) + P_2 \end{array} \right\} \quad (3)$$

kde P_1, P_2 ... konstanty pomáhající odstranění nespojitosti,
 L_r ... váha cesty (nejmenší rozdíl).

Postupně ze SGM metody vznikla řada dalších algoritmů, například algoritmy SfM (Structure from Motion) nebo MVS (Multi-View Stereo) (Plzák, 2016). Metoda SfM odhaduje umístění snímků, jejich orientaci a parametry na principu faktorizace (rozkladu). Cílem je vyrovnání snímků za vzniku řídkého mračka bodů. Metoda MVS může převzít parametry určené metodou SfM a vytvořit tak husté mračno bodů (dense point cloud) pro vznik 3D modelů.

5 VLASTNÍ ŘEŠENÍ I

Na začátku této kapitoly jsou nejdříve představeny strategie, které budou testovány. Poté je vyhrazena podkapitola pro popis realizace experimentu, při kterém byla získána experimentální datová sada. Následuje podkapitola popisující fotogrammetrické zpracování a matematicko-statistické vyhodnocení dat, které je obdobně aplikováno i ve druhé praktické části diplomové práce. Závěrem kapitoly jsou výsledky pro jednotlivé strategie sady experimentálních dat.

5.1 Strategie

Prvním krokem po nastudování uvedené problematiky bylo stanovit a konkretizovat oblasti, které budou v rámci diplomové práce šetřeny. Stanovené strategie byly rozděleny do čtyřech základních skupin zabývajících se:

- počtem vřícovacích bodů,
- rozmístěním vřícovacích bodů,
- snímáním liniových objektů,
- počtem vřiacích bodů.

Strategie 1: Počet vřícovacích bodů

Teoretickým minimem pro správné řešení fotogrammetrického výpočtu jsou tři plné body. V konvekční fotogrammetrii se dle Pavelky (2009) v praxi využívá 4 až 5 symetricky rozmístěných bodů v daném území. S rozvojem výpočetní technologie vymizely početní problémy a je doporučeno využít 10 až 15 vřícovacích bodů, které přispívají k přesnějšímu určení nejen prvků vnější orientace, ale např. také k zpřesnění radiální distorze objektivu. Ideálním případem je použít nadbytečného počtu vřícovacích bodů. Přebytočné mohou plnit účel kontrolních bodů pomocí nichž lze ověřit přesnost výsledného fotogrammetrického produktu. Cílem tohoto testování je konkretizovat počet vřícovacích bodů, při nichž jsou vykazovány neoptimalnější výsledky.

Strategie 2: Rozmístění vřícovacích bodů

Obecným pravidlem při rozmístění vřícovacích bodů je rovnoměrnost po celé ploše zájmového území a rovněž vně obvodu, také je výhodné využít místa s největšími překryvy a vyhnout se lineární závislosti mezi jednotlivými body. Cílem tohoto testování je popsat přesnost výsledného svazkového vyrovnání bloku při nerovnoměrném rozmístění bodů se zaměřením především na okrajové části řešeného území.

Strategie 3: Snímání liniových objektů

V praxi se lze setkat s řadou aplikací, při nichž je zájmem prvek liniového charakteru, jako například vodní tok, silnice, železnice. Cílem tohoto testování bude porovnání přesností dvou fotogrammetrických řešení, jedno z nich bude tvořeno pouze jednou letovou řadou ve směru liniového objektu a druhé bude výsledkem snímání ve třech letových řadách taktéž ve směru liniového objektu.

Strategie 4: Počet vřiacích bodů

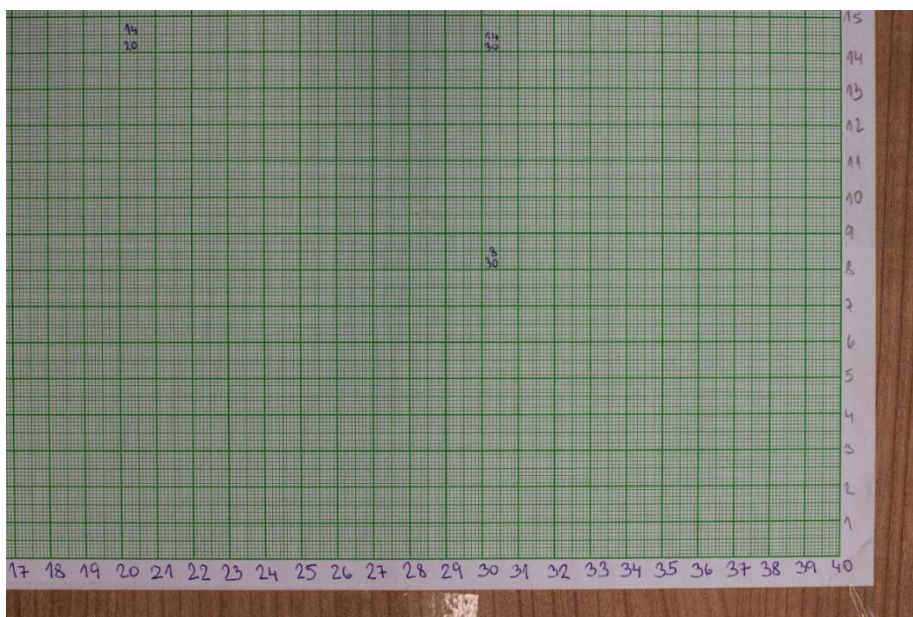
Fotogrammetrické systémy, které pracují s více snímky potřebují pro vyhodnocení vřiací body, které lze jednoznačně identifikovat na dvou a více snímcích. Tyto body nemají známé geodetické souřadnice a slouží k propojení snímků mezi sebou. Měřítkem přesnosti těchto bodů je chyba reprojekce, tedy vzdálenost mezi odhadovaným a skutečným umístěním bodu, nejčastěji je uváděna v jednotkách pixelu. Její vysoká hodnota obvykle indikuje špatnou lokalizační přesnost a odstranění těchto bodů může

zlepšit přesnost následného optimalizačního kroku. V rámci této práce je hodnoceno několik úrovní redukci vázacích bodů založených na velikosti chyby reprojekce a cílem je určit optimální počet vázacích bodů.

5.2 Realizace experimentu

Uvedené strategie byly následně otestovány na experimentálních datech, která byla vytvořena snímkováním při simulovaném letu. Experiment byl realizován za využití milimetrového papíru o velikosti A3 (40 x 28 cm) umístěným na vodorovné ploše, snímky byly pořízeny neměřickou kamerou značky CANON EOS 500D s objektivem značky Voightländer Ultron 40mm f/2 SL II. Výhodou využití milimetrového papíru byla přesnost a jednoduchost, se kterou lze určit souřadnice X a Y odečtením z pravidelné milimetrové sítě. Pro lepší orientaci v pořízených snímcích byly vepsány na okraj papíru a vybraná místa v síti souřadnice. Počátek souřadnicové soustavy byl v levém spodním rohu sítě, souřadnice X tedy nabývaly maximální hodnoty 40 a souřadnice Y hodnoty 28 (Obr. 5.1). Souřadnice Z byly pro všechny body nulové, toho bylo dosaženo přichycením papíru izolepou na vyváženou desku pomocí digitální vodováhy.

Pro zajištění kolmé osy snímkování byla kamera umístěna na stativu do roviny nad zájmovou plochu. Po vytvoření snímku byla kamera i se stativem posunuta a za zachování stejných podmínek byly exponovány další snímky, tímto způsobem byl simulován let. Celkem byly vytvořeny tři sady snímků s celkovým počtem 70 snímků.



Obr. 5.1 Ukázka experimentální plochy (zdroj: Š. Vymětalíková, 2017).

5.3 Zpracování dat

Pro další zpracování byla vybrána pouze jedna datová sada. Výběr byl proveden na základě posouzení kvality snímků v jednotlivých sadách, z důvodu manuálního posouvání kamery nebylo totiž ve všech případech dosaženo optimálních parametrů snímků. Zvolená sada obsahuje 25 snímků ve třech řadách po pěti snímcích a byla testována celkem 20 strategiemi ve výše zmíněných čtyřech kategoriích. Snímky byly pořízeny z průměrné výšky 1,25 metrů a hodnota GSD byla 0,0534 mm. Nejdříve byla data zpracována v softwaru Agisoft PhotoScan a následně výsledky byly podrobeny matematickému a statistickému hodnocení.

5.3.1 Fotogrammetrické zpracování

Snímky byly importovány ve formátu .tif do prostředí softwaru Agisoft PhotoScan Pro, který je určený pro 3D rekonstrukci objektů na základě minimálně dvou překrývajících se snímků. Celková velikost dat byla 1,1 GB. Po importu dat byl nastaven souřadnicový systém na systém lokální, ve kterém byly realizovány všechny následující úkony.

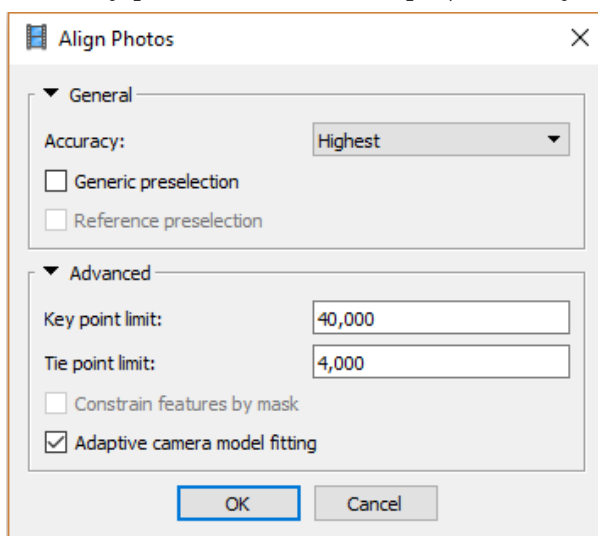
Zarovnání snímků

Pro zarovnání snímků do řad je použita funkce Align Photos, která vyhledává odpovídající body mezi překrývajících se snímků. V průběhu výpočtu jsou odhadovány pozice kamer pro každý snímek, tzn. jsou odhadovány prvky vnější orientace, které určují vztah projekčního centra k vnějším souřadnicím a orientaci osy záběru vůči souřadnicovým osám. Prvky vnější orientace jsou: prostorové souřadnice x_0 , y_0 , z_0 stanoviště, směr osy záběru ω , sklon osy záběru φ a pootočení osy záběru κ . V rámci výpočtu je vytvářen řídký model mračna bodů. Přesnost konečných odhadů závisí na mnoha faktorech, jako jsou překryvy sousedních snímků nebo tvar modelovaného objektu. Vznikající model je lineárně transformován sedmi parametry, výsledný model je zatížen nelineární deformací, kterou lze minimalizovat v dalších krocích zpracování. Lze zvolit několik parametrů funkce:

- Accuracy – nastavení vyšší přesnosti umožňuje získat přesnější odhady pozic kamer, volbu Highest je doporučeno aplikovat pouze pro ostré snímky a pro výzkumné účely z důvodu vysoké časové náročnosti výpočtu,
- Pair preselection – urychluje výpočet, pokud není volba povolena, je porovnáván každý snímek s každým, pokud je povolena, jsou určeny nejprve překrývajících se snímky, které jsou následně porovnávány, lze vybrat dva módy předvýběru:
 - Generic preselectin – nejdříve hledá překrývajících se snímky pomocí zmenšených kopií původních snímků a poté vyhledává odpovídající si body na překrývajících snímcích o původní velikosti,
 - Reference preselection – překrývajících se dvojice snímků jsou vybrány na základě známých pozic kamer (pokud jsou k dispozici),
- Key point limit – udává horní mez počtu klíčových bodů na každém snímku, které jsou brány v úvahu pro další zpracování, nastavení nulové hodnoty umožňuje nalezení maximálního počtu klíčových bodů, to může ale vést k velkému počtu nespolehlivých bodů,
- Tie point limit – udává horní mez počtu vázacích bodů pro každý snímek, jsou filtrovány z klíčových bodů, doporučená hodnota je 4000 (Agisoft PhotoScan User Manual, 2017), příliš nízká nebo naopak příliš vysoká hodnota může způsobit ztrátu některých částí vznikajícího modelu mračna bodů,
- Adaptive camera model fitting – umožňuje automatický výběr parametrů kamery, které jsou zahrnuty do úprav na základě jejich odhadů spolehlivosti, pokud volba není povolena, je upravena pouze základní sada parametrů: ohnisková vzdálenost, pozice hlavního snímkového bodu, tři koeficienty radiálního zkreslení (K_1 , K_2 , K_3) a dva koeficienty tangenciálního zkreslení (P_1 a P_2).

Nastavené parametry lze vidět na Obr. 5.2. Výpočet nebyl časově náročný z důvodu nízkého počtu vstupujících snímků. Výpočet trval necelých 10 minut a celkem bylo vytvořeno 14 000 (tj. 560 na každém snímku) key points, z nichž 10 500 (tj. 420 na každém snímku) přebíraly funkci tie points. Počet vygenerovaných key points závisí na textuře a rozlišení snímků, tyto parametry také určují výslednou kvalitu mračna bodů.

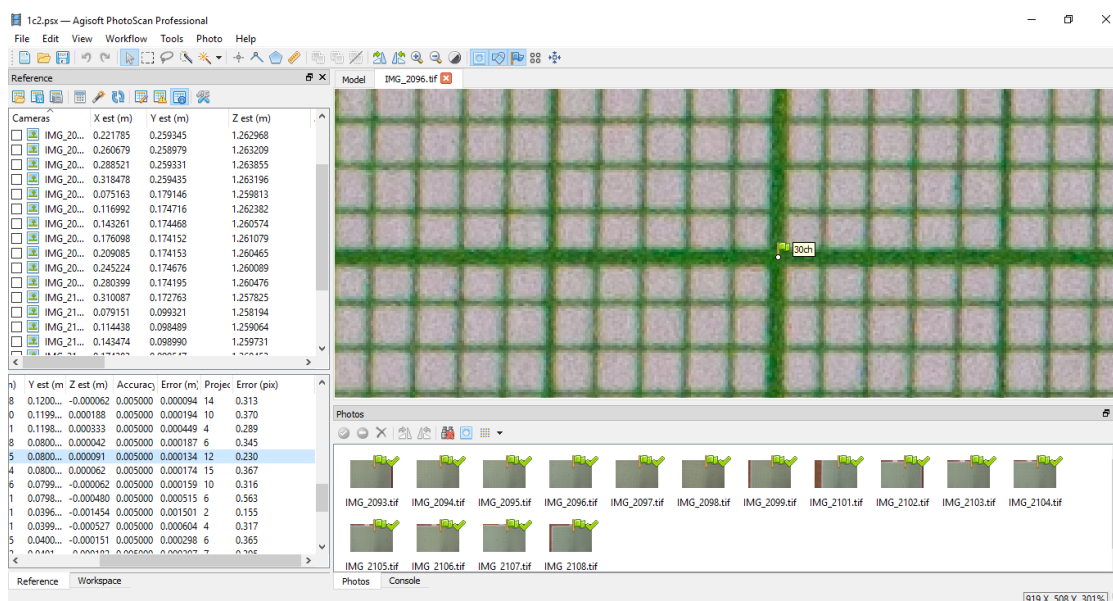
Minimální počet snímků, na kterých se musí určitý prvek nacházet, je tři, nicméně platí, na čím více snímcích se určitý prvek nachází, tím lépe (Westoboy a kol. 2012).



Obr. 5.2 Ukázka volby parametrů funkce Align Photos.

Identifikace bodů

Dalším krokem je umístění vličovacích a kontrolních bodů na všech snímcích (Obr. 5.3). Při importu souřadnic bodů byl vybrán opět lokální souřadnicový systém. Po umístění minimálního počtu dvou bodů je model zorientován a pak lze využívat navigačního průvodce, který usnadňuje vyhledávání dalších bodů podle jejich importovaných souřadnic na jednotlivých snímcích. Přesnost umístění bodů do správného místa je velice významná pro další zpracování, proto je potřeba tento krok dělat s co největší pečlivostí. Při umisťování lze sledovat hodnotu chyby v pixelech pro každý bod, pokud byla tato hodnota vysoká, proběhla kontrola umístění daného bodu na snímcích. Z tohoto důvodu je v praxi doporučováno mít k dispozici větší množství GCPs (Ground Control Points) než je potřeba. V případech vykazování velkých chyb je vhodné daný bod vypustit z dalšího zpracování.



Obr. 5.3 Identifikace bodů.

Optimalizace zarovnání

Další fází zpracování je svazkové vyrovnání bloku. Jedná se o výpočet provedený nad bodovým mračnem, při kterém dochází k vyrovnání a určení zbytkových chyb na vřícovacích bodech. Nejdřív je nastaven souřadnicový systém a přesnosti vstupujících parametrů do výpočtu. Následně je potřeba označit (resp. zrušit označení) bodů, které nebudou do výpočtu vstupovat jako body vřícovací, ale budou plnit funkci bodů kontrolních. Svazkové vyrovnání bloku je spuštěno funkcí Optimize Alignment. Lze vybrat parametry prvků vnitřní orientace, které budou optimalizovány současně s prvky vnější orientace:

- f – ohnisková vzdálenost neboli konstanta komory, udává vzdálenost středu optické soustavy objektivu od snímače kamery,
- c_x, c_y – poloha hlavního snímkového bodu, definován jako průsečík roviny snímku s paprskem procházejícím v předmětovém prostoru středem promítání,
- k_1, k_2, k_3, k_4 – koeficienty radiální distorze, kolmá na tangenciální distorzi,
- p_1, p_2, p_3, p_4 – koeficienty tangenciální distorze, způsobena nepřesnou centrací čoček v objektivu,
- b_1, b_2 – transformační koeficienty afinity a zkosení,

optimalizovány byly tyto koeficienty: $f, c_x, c_y, k_1, k_2, k_3, b_1, b_2, p_1$ a p_2 dle doporučeného návodu (Agisoft PhotoScan User Manual, 2017).

Filtrace vázacích bodů

V některých případech je vhodné filtrovat a odstranit vázací body s vysokou chybou reprojekce v řídkém modelu. Agisoft PhotoScan podporuje čtyři kritéria filtrace, která lze najít v dialogovém okně Gradual Selection. V rámci diplomové práce bylo zkoumáno kritérium filtrace zvané Reprojection error, které vybírá body na základě jejich velikostí chyb reprojekce, které značí špatnou lokalizaci bodu. Filtrace vázacích bodů se provádí vždy před optimalizací a proces lze opakovat s jinými kritérii nebo s hodnotami kritérii, dokud nejsou vybrány žádné body nebo minimální počet. Po každém výběru je nutné tyto body smazat a model vyrovnat.

Export report

Software Agisoft PhotoScan nabízí vygenerování a export výpočetního reportu, který shrnuje informace o vytvořeném modelu. V PDF souboru jsou obsaženy údaje o počtu snímků, průměrné výšce letu, hodnotě GSD, rozloze modelované oblasti, počtu klíčových a vázacích bodů, také jsou uvedeny koeficienty optimalizace a korelační matice, RMS chyby vřícovacích a kontrolních bodů, a mnoho dalšího. Report je také obohacen o několik vizualizací, například překryvy snímků, rezidua kalibrace kamery, umístění vřícovacích a kontrolních bodů nebo výškový model. V reportu lze také najít přehled všech částí zpracování s konkrétními zvolenými parametry. Tyto reporty byly velice přínosnými pro tvorbu diplomové práce.

5.3.2 Matematicko-statistické hodnocení

Pro hodnocení přesností výsledků bylo vybráno několik matematicko-statistických parametrů. Hodnocení probíhá prostřednictvím kontrolních bodů, jejichž souřadnice jsou předem známé. Pro testování experimentálních dat byly souřadnice odečteny z pravidelné milimetrové sítě a pro hodnocení dat z leteckého snímkování byly získány přesnými geodetickými metodami. Kontrolní body jsou identifikovány na jednotlivých snímcích

stejným způsobem jako body vřícovací, ale nevstupují do výpočtu svazkového vyrovnání bloku. Po ukončení poslední iterace výpočtu jsou srovnávány hodnoty měřených souřadnic kontrolních bodů s hodnotami vypočítaných souřadnic vzniklého modelu a jsou tak stanoveny jejich odchylky značené písmenem d . Odchylka v souřadnici X je popsána vztahem:

$$dX = \hat{x} - x; \quad (4)$$

kde: \hat{x} ... souřadnice bodu určena výpočtem,

x ... je souřadnice stejného bodu určena geodetickým měřením.

Analogicky lze vypočítat hodnoty dY a dZ . Hodnoty odchylek pro jednotlivé kontrolní body jsou uvedeny ve výpočetním reportu a je z nich vycházeno pro výpočet dalších hodnotících parametrů. Výpočty parametrů pro hodnocení výsledků byly provedeny v softwaru Microsoft Excel, kde byly také vyhotoveny tabulky a grafy. Prostorové vizualizace byly realizovány v softwaru QGIS a v softwaru ArcMap. Přesnost byla hodnocena níže uvedenými parametry kontrolních bodů.

Střední kvadratická chyba

Základním parametrem pro hodnocení přesnosti výsledků byla zvolena střední kvadratická chyba RMSE. RMSE je ukazatelem míry přesnosti, popisuje přesnost na základě vzdáleností původních souřadnic bodů měřených v terénu od souřadnic z výsledného fotogrammetrického měření. Platí, čím jsou její hodnoty nižší, tím je přesnost výsledků vyšší. Pro hodnocení fotogrammetrických řešení ji lze označovat jako střední výběrovou chybu m , kterou pro soubor odchylek v souřadnici X lze vyjádřit vztahem:

$$m_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\hat{x}_i - x_i)^2}{N}} \quad (5)$$

Analogicky lze vypočítat hodnoty středních chyb i pro odchylky v souřadnicích Y a Z . Pro hodnocení byla také využívána střední polohová chyba $m_{x,y}$ a střední celková chyba m_t , které lze vypočítat ze vztahů:

$$m_{x,y} = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} \quad (6)$$

$$m_t = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_z^2} \quad (7)$$

Střední chyby jsou součástí výpočetního reportu pro každou testovanou variantu, a tak byly výsledky středních chyb převzaty. V některých případech byly hodnoceny jen určité kontrolní body v rámci jedné varianty (například při hodnocení přesnosti v odlehlých částech snímku) a v těchto případech byly hodnoty středních chyb vypočítány autorem diplomové práce podle uvedených vzorečků.

Rozptyl a směrodatná odchylka

Pro zhodnocení variability výsledků jednotlivých strategií byly vypočítány rozptyly odchylek kontrolních bodů. Rozptyl je taktéž nazýván jako střední kvadratická odchylka nebo variance a je označován jako $\text{var}(X)$. Rozptyl je charakteristikou variability rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny. Udává, jak jsou data rozptýlena okolo střední hodnoty a jak jsou si prvky v souboru dat blízké nebo vzdálené. Lze ho definovat jako aritmetický průměr čtverců odchylek jednotlivých hodnot sledované proměnné x od průměru celého souboru.

Pro soubor hodnot odchylek v ose $X = [x_1, \dots, x_N]$ platí:

$$\text{var}(X) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (dX_i - \bar{x})^2; \quad (8)$$

Kde \bar{x} ... průměrná hodnota.

Průměrná hodnota \bar{x} vychází ze vztahu:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N dX \quad (9)$$

Rozptyly byly vypočítány analogicky i pro hodnoty v souřadnicích Y a Z. Z definice rozptylu vyplývá, že výsledek je uveden ve čtvercích měrných jednotek hodnot sledovaných čísel proměnných, to znamená, že v případě odchylek uvedených v cm je výsledek v cm^2 . Z tohoto důvodu byla vypočítána směrodatná odchylka značená písmenem s, která je definována jako odmocnina rozptylu, odmocněním je dosaženo výsledků ve stejných měrných jednotkách jako mají sledovaná čísla. Směrodatná odchylka tedy udává průměrnou odchylku od průměru. Matematický vztah směrodatné odchylky a rozptylu je popsán:

$$s_x = \sqrt{\text{var}(X)} \quad (10)$$

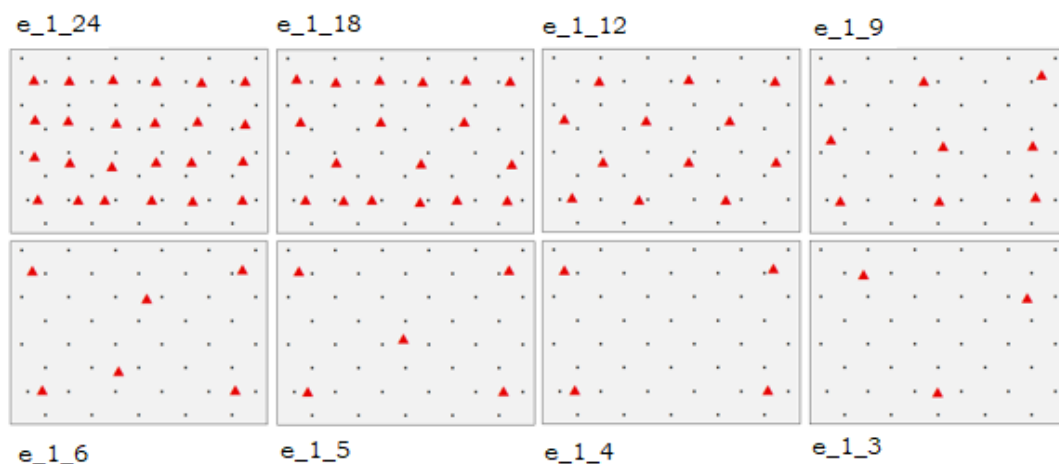
Analogicky byly získány hodnoty směrodatných odchylek pro souřadnice Y a Z. Veškeré vypočítané hodnoty směrodatných odchylek jsou uvedeny v Příloze 1 pro každou šetřenou strategii společně s hodnotami středních chyb.

5.4 Hodnocení přesnosti experimentálních dat

V následující kapitole jsem popsány výsledky fotogrammetrických řešení pro experimentální datovou sadu.

Strategie 1

Vliv počtu vřícovacích bodů na výsledek svazkového vyrovnání bloku byl hodnocen středními chybami a směrodatnými odchylkami pro 44 kontrolních bodů. Celkem bylo testováno osm strategií, ve kterých se počet GCPs pohyboval od 3 do 24 a jejich rozmístění po zájmové ploše bylo vždy rovnoměrné (Obr. 5.4). Výsledky strategií jsou značeny zkratkou e_1_xx, kde xx koresponduje s počtem GCPs, a lze je také dohledat v Příloze 1.



Obr. 5.4 Varianty strategií e_1.

Výsledky jsou uvedeny v Tab. 5.1. Nejhorších výsledků bylo dosaženo při použití 3 GCPs, nejlepšího celkového výsledku vykazují hodnoty pro 9 GCPs, nicméně lze si všimnout, že při 12 a 18 GCPs se zlepšuje přesnost souřadnic X a Y, ale Z souřadnice nikoliv. Hodnoty středních chyb jednotlivých variant se od sebe výrazně neliší. Ve většině případů dochází k rozdílům v řádech tisícín milimetru, je potřeba si uvědomit, že snímkování probíhalo z průměrné výšky 1,25 metru. Při snímkování ve výšce 100 metrů by chybě 0,3 mm odpovídala chyba o velikosti 2,4 cm, přičemž jedna tisícina milimetru by se rovnala 8 tisícínám centimetru.

Tab. 5.1 Střední chyby strategií e_1

Strategie	GCPs [počet]	CHs [počet]	m_x [mm]	m_y [mm]	$m_{x,y}$ [mm]	m_z [mm]	m_t [mm]
e_1_3	3	44	0.2128	0.2160	0.3032	0.5933	0.6663
e_1_4	4	44	0.2093	0.2081	0.2952	0.5792	0.6500
e_1_5	5	44	0.2082	0.2103	0.2960	0.5707	0.6429
e_1_6	6	44	0.2073	0.2152	0.2988	0.5661	0.6401
e_1_9	9	44	0.2071	0.2094	0.2945	0.5630	0.6354
e_1_12	12	44	0.2048	0.2011	0.2919	0.5721	0.6422
e_1_18	18	44	0.2020	0.2029	0.2864	0.5736	0.6411
e_1_24	24	44	0.2038	0.2023	0.2872	0.5878	0.6542

Byly také vypočítány směrodatné odchylky kontrolních bodů (Tab. 5.2). Strategie s největším počtem GCPs (24) se vyznačuje nejlepšími hodnotami pro souřadnice X a Y, v těchto souborech jsou si tedy odchylky nejvíce vzájemně podobné. Nejmenší směrodatná odchylka ve výškové souřadnici vykazují strategie s 9 GCPs. Nejhoršími výsledky se opět označovala strategie se 3 GCPs.

Tab. 5.2 Směrodatné odchylky strategií e_1

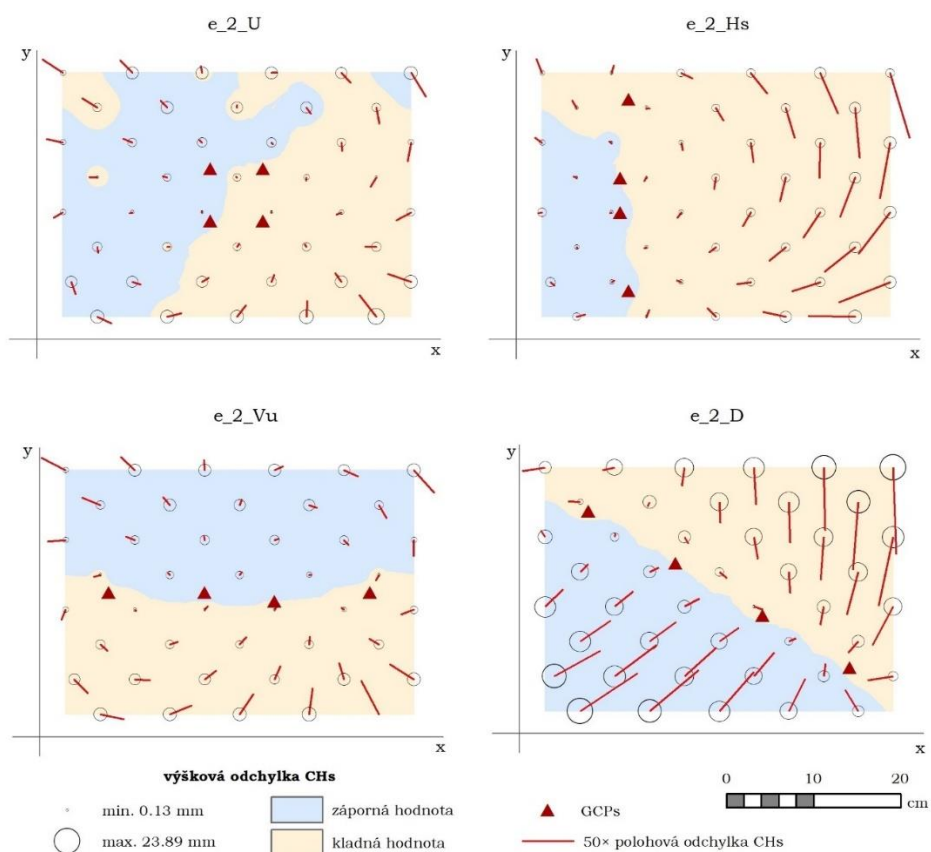
Strategie	GCPs [počet]	CHs [počet]	s_x [mm]	s_y [mm]	s_z [mm]
e_1_3	3	44	0.0452	0.0466	0.3427
e_1_4	4	44	0.0432	0.0412	0.3189
e_1_5	5	44	0.0421	0.0423	0.3243
e_1_6	6	44	0.0429	0.0444	0.3158
e_1_9	9	44	0.0419	0.0419	0.3138
e_1_12	12	44	0.0415	0.0404	0.3400
e_1_18	18	44	0.0408	0.0406	0.3289
e_1_24	24	44	0.0384	0.0398	0.3189

Strategie 2

Vliv nerovnoměrného rozmístění GCPs byl hodnocen také středními chybami a směrodatnými odchylkami, a navíc byly vizualizovány chybové úsečky odchylek kontrolních bodů. Do výpočtu vstupovaly čtyři vřícovací body ve čtyřech testovaných variantách. Testování přesnosti probíhalo pomocí 44 kontrolních bodů. Strategie jsou značeny zkratkou e_2_xx, kde xx znamená zkratku rozmístění, v popisu lze zjistit celý název, výsledky lze dohledat v Příloze 1. Vizualizaci rozmístění lze vidět na Obr. 5.5.

Nejhorší výsledky středních chyb vykazuje strategie s diagonálním rozmístěním, a to především ve výškové souřadnici Z, kdy je hodnota chyby zhruba 15x větší oproti strategii uprostřed, hodnota $m_{x,y}$ je horší 3x. Nejlepšími výsledky se vyznačuje strategie s rozmístěním bodů jen uprostřed, v tomto případě je přesnost v polohových souřadnicích obdobná jako u strategie se 4 GCPs při rovnoměrném rozmístění. Výsledky směrodatných odchylek potvrzují tyto výsledky.

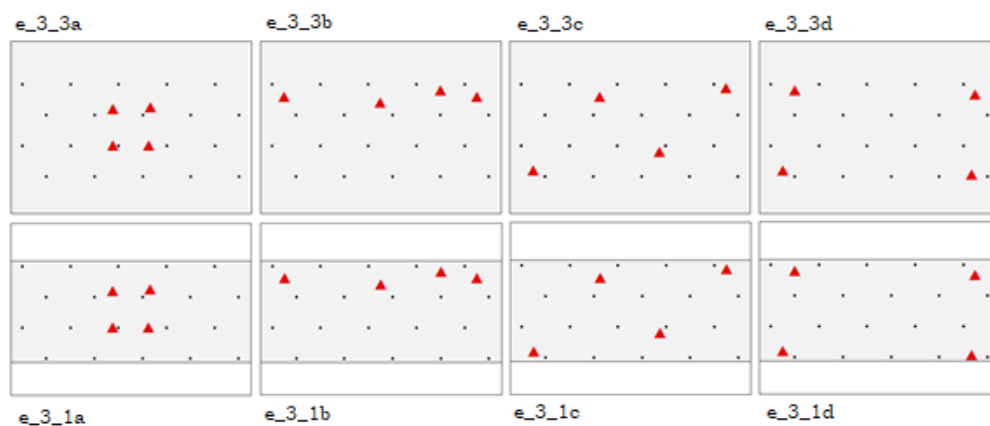
Dále byly vizualizovány chybové úsečky pro lepší představu o povaze odchylek kontrolních bodů v jednotlivých variantách (Obr. 5.5). Polohové odchylky byly vynásobeny hodnotou 50 pro zřetelnější viditelnost vzniklých chybových úseček. Výškové odchylky jsou zobrazeny v podkladu dvěma barvami a vypovídají o tom, jestli na daném místě je výšková odchylka záporná nebo kladná. Dále je velikost výškových odchylek znázorněna gradovaným znakem v podobě kružnice kolem původní polohy kontrolního bodu. Z toho i lze vyvodit, jakým směrem se ubírají odchylky v poloze. Z vizualizace je patrné, že směr polohových odchylek není náhodný. Nejzřetelněji si toho lze všimnout u diagonálního rozmístění, kdy posun vypočítané polohy bodu oproti měřené směřuje vždy blíže k vřícovacím bodům. U rozmístění horizontálně na straně si zase lze všimnout, že v jedné části území převažují chyby ve směru osy Y a v jiné části zase v ose X. Souhlasně ve všech strategiích rozmístění narůstají velikosti polohových odchylek směrem k okraji území. Tento trend je vyobrazen i pro výškovou odchylku znázorněnou velikostí kružnice. Zajímavým výsledkem je, že kladné a záporné hodnoty výškových odchylek tvoří homogenní oblasti, které se mění v místech výskytu vřícovacích bodů. To znamená, že na jednu stranu směrem od GCPs je hodnota pouze kladná, přičemž na druhou stranu je hodnota pouze záporná. Při rozmístění vertikálně uprostřed a diagonálně je tato hranice jednoznačná, u zbylých dvou strategií je tato hranice také patrná, ale s výskytem výjimek.



Obr. 5.5 Varianty strategií e_2.

Strategie 3

Experimentální sada byla znovu zpracována fotogrammetrickým řešením dalšími dvěma způsoby. V prvním byly ponechány tři řady z původních pěti a ve druhém byla ponechána jen jedna řada, která je řadou prostřední v prvním způsobu. Další zpracování proběhlo dle postupu v kapitole 5.3. Shodné počty 4 GCPs a 20 CHs (Check Points) byly využity ve všech variantách. Výsledky lze najít v Příloze 1 pod označením e_3_xy, kde x značí, jestli se jedná o sadu se třemi řadami nebo s jednou řadou, a y značí varianty rozmístění vličovacích bodů označených písmeny a až d. Celkem byly šetřeny čtyři páry strategií (Obr. 5.6).



Obr. 5.6 Rozmístění bodů ve variantách strategií e_3.

Výsledky jsou představeny v Tab. 5.3. Ve všech variantách rozmístění vlivovacích bodů vykázala sada složená ze třech řad lepší výsledky oproti sadě s jednou řadou snímků. Nejlepších hodnot $m_{x,y}$ bylo dosaženo ve variantě e_3_3d, ve které jsou GCPs umístěny v rozích. Pro totožnou variantu v sadě s jednou řadou byla vykázána $m_{x,y}$ 1,6krát větší. Největší přesnosti ve výškové souřadnici Z bylo dosaženo dle hodnot m_z ve variantě e_3_3c, ve které jsou GCPs umístěny střídavě, v sadě s jednou řadou je m_z 7,8krát horší. Hodnoty směrodatných odchylek korespondují s výsledky středních chyb.

Tab. 5.3 Výsledky variant strategií e_3

Strategie	GCPs [počet]	CHs [počet]	$m_{x,y}$ [mm]	m_z [mm]	s_x [mm]	s_y [mm]	s_z [mm]
e_3_3a	4	20	0.2029	0.4544	0.0186	0.0145	0.1988
e_3_1a	4	20	0.3796	3.9463	0.0717	0.0382	7.0309
e_3_3b	4	20	0.2683	0.5535	0.0306	0.0257	0.2890
e_3_1b	4	20	0.7967	9.4687	0.0650	0.2883	45.0706
e_3_3c	4	20	0.2240	0.2550	0.0201	0.0129	0.0512
e_3_1c	4	20	14.7020	1.9939	6.3018	1.5463	3.2565
e_3_3d	4	20	0.1958	0.3063	0.0196	0.0126	0.0733
e_3_1d	4	20	0.3106	2.2683	0.0489	0.0270	4.1569

Strategie 4

Experimentální data byla testována snižováním počtu vázacích bodů na přesnost výsledného svazkového vyrovnání bloku. Byla vybrána varianta s 18 GCPs a postupně byly filtrovány vázací body na základě reprojekční chyby, následně byly vypočítány střední chyby kontrolních bodů pro každou úroveň filtrování a výsledky byly porovnávány. Hodnoty středních chyb lze nalézt v Příloze 2 prostřednictvím označení e_4_18_yy, kde a yy odpovídá levelu filtrace, pokud se jedná o výchozí sadu, tento údaj uveden není.

Tab. 5.4 Výsledky redukce vázacích bodů pro varianty strategie e_4

Strategie	TS [počet]	TS [poč/sn]	%	$m_{x,y}$ [mm]	m_z [mm]	RMS RE [pix]	Max. RE [pix]
e_1_18	10 616	425	100	0.2863	0.5736	0.8213	26.8515
e_4_18_07	9 060	362	85	0.3322	0.5534	0.5958	21.2550
e_4_18_06	9 013	361	99	0.3921	0.4651	0.4492	8.6504
e_4_18_05	8 950	358	99	0.4003	0.4338	0.3599	7.1860
e_4_18_04	8 818	353	99	0.4072	0.4105	0.3363	4.9404
e_4_18_03	8 489	340	96	0.4173	0.4101	0.3098	4.9776
e_4_18_02	7 462	298	88	0.4285	0.3989	0.2731	4.9776
e_4_18_01	4 972	199	67	0.4334	0.3938	0.1828	1.9685

V Tab. 5.4 jsou uvedeny výsledné hodnoty $m_{x,y}$ a m_z , také je uveden počet celkových vázacích bodů ve variantě (i jako procentuální podíl oproti původní variantě) a poté je uveden průměrný počet vázacích bodů na jeden snímek. Z výpočetních reportů byly převzaty údaje o RMS chybě reprojekce RE (Reprojection Error) a maximální RE, oba údaje jsou uvedeny v jednotkách pixelu.

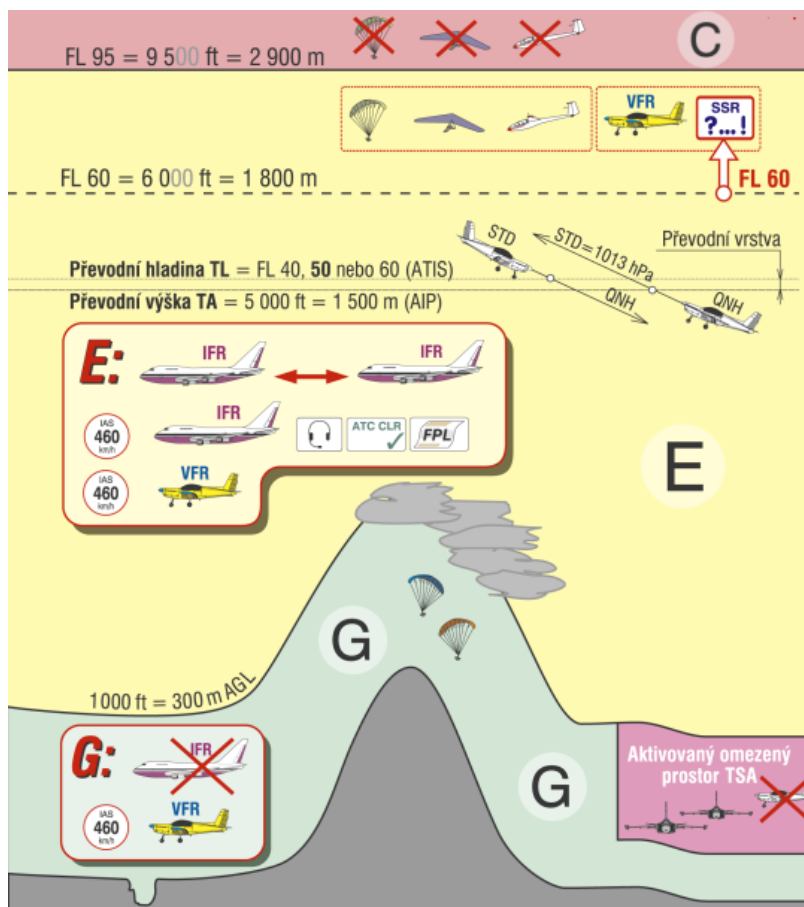
Z výsledků vyplynulo, že redukce vázacích bodů přinesla lepší přesnosti pouze pro výškovou souřadnici Z, její hodnota se neustále snižuje a v levelu 0.1, ve kterém zůstává 67 % původních vázacích bodů, nabývá hodnoty 0,39 mm, což je o 0,18 mm nižší m_z oproti výchozí variantě. Zcela opačný vliv má redukce na souřadnice X a Y, u obou jsou nejnižší střední chyby ve výchozí variantě bez filtrace. Nicméně celková střední chyba m_t nabývá nejlepších výsledků při filtraci levelu 0.4.

6 VLASTNÍ ŘEŠENÍ II

Druhou obsáhlejší praktickou částí diplomové práce je ověření hypotéz na datech z UAV snímkování. Následující podkapitoly jsou věnovány jednotlivým krokům, které byly realizovány (od výběru lokalit ke snímkování, přes tvorbu plánů letů, stanovení parametrů snímkování až po provedení terénních prací a snímkového letu). Závěrem kapitoly je uveden postup fotogrammetrického zpracování a hodnocení výsledných přesností.

6.1 Výběr lokalit

Prvním krokem sběru terénních dat byl výběr lokalit, při kterém bylo potřeba zohlednit legislativu provozu UAV. V ČR stanovuje pravidla pro provoz UAV Doplněk X leteckého předpisu L2, který vyšel v platnost 1. 3. 2012. Tento předpis je pro výzkumnou a výdělečnou činnost závazný, pro sportovní a rekreační účely pouze doporučený. V ČR jsou rozeznávány čtyři třídy letových prostorů, přičemž UAV modely lze používat jen v jedné z nich (Obr. 6.1). Jedná se o letecký prostor třídy G, který je vymezený do výšky 300 m AGL (above ground level = nad zemí). V této výšce lze létat pouze mimo oblasti řízeného okrsku letiště (CTR) a mimo oblast letištní provozní zóny (ATZ). Pokud je požadované místo umístěno v oblasti ATZ je potřeba splnit podmínky stanoveny provozovatelem letiště a let koordinovat s letištní letovou informační službou (AFIS). Pokud se místo nachází v oblasti CTR a horizontální vzdálenost je větší než 5,5 km od vztažného bodu letiště a je dodržena výška do 100 metrů, nejsou uplatněny požadavky na získání letového povolení a koordinaci s řízením letového provozu (ŘLP).



Obr. 6.1 Přehled tříd letových prostorů (zdroj: <http://files.paragliding-4u.cz>).

Při využití letového prostoru G je potřeba sledovat a respektovat aktuální zakázané, nebezpečné, vyhrazené a další prostory s omezením. Aktuální informace o těchto prostorech poskytuje ŘLP prostřednictvím webové aplikace AisView. Pokud se místo plánovaného letu nachází v území se zvláštním režimem ochrany (národní parky, chráněné krajinné oblasti a další) je potřeba si zajistit povolení k letu u příslušného správního orgánu z důvodu ochrany životního prostředí.

S ohledem na legislativu provozu UAV byly vybírány lokality, které zaručovaly bezpečnost. Jako vhodné lokality byly označeny takové, které se nacházely minimálně 100 m od cest, železnic a zastavěných oblastí. Také byl brán ohled na vysoce vzrostlou vegetaci v manipulačním prostoru UAV modelu z důvodu zabránění možné kolize.

Dalším požadavkem byl účel snímkování. Pro potřeby této diplomové práce byl stanoven vhodný rozměr lokality na 300 x 100 metrů. Tento rozměr byl určen na základě sestavených strategií, které budou šetřeny a na možnostech, které se nabízely v okolí města Olomouc. Za ideální místo pro snímkování byly považovány travnaté posekané plochy bez jiné vyšší vegetace. K prvotnímu výběru lokalit byly pomocníkem mapové aplikace s leteckými snímky nebo s panoramaty.

6.2 Plán letu a příprava snímkování

V případě použití snímků pro fotogrammetrické účely je důležité věnovat čas přípravě snímkování. Do této fáze jsou zahrnuty činnosti kontroly lokality, zajištění povolení k letu, pokud je potřeba, stanovení parametrů pro snímkování, waypointů a letových os. Také je potřeba zohlednit světelné podmínky v lokalitě a bezprostředně před realizací ověřit meteorologickou situace a letecký provoz na daném území.

Lokality vybrané na základě prvotního výběru při použití mapových podkladů byly osobně zkontrolovány. Při rekognoskaci některých lokalit bylo zjištěno, že snímkování nebude v dané lokalitě vhodné. Důvodem například byla velmi vysoká tráva nebo ohrazené místo pro chov dobytka, ale také například komplikovaná přístupová cesta. Plán letu byl nakonec vytvořen celkem pro tři lokality (Obr. 6.2).

První lokalitou byla louka v CHKO Litovelském Pomoraví. Protože se jedná o CHKO, bylo potřeba mít povolen přístup do této lokality. Povolení bylo získáno vedoucím diplomové práce od správce již předem z důvodu jiné výzkumné činnosti v této oblasti. Druhou lokalitou byla plocha na území letiště Olomouc po domluvě se zaměstnanci letiště. Neočekávaně nastaly problémy při prvním pokusu snímkování. Po provedení signalizace bodů bylo zjištěno, že dron nemá povoleno vzlétnout z důvodu označení letiště Olomouc jako neletecká zóna výrobcem dronu DJI. Pro získání povolení bylo potřeba zaslat výrobcí dokument od správce letiště opravňující provést snímkový let. Následně tato lokalita byla výrobcem zpřístupněna. Znovu byly body signalizovány, zaměřeny totální stanicí a byl proveden snímkový let. Bohužel posléze bylo zjištěno, že exponované snímky nebyly ukládány, i přestože let byl v aplikaci povolen. Jako náhrada za lokalitu na letišti Olomouc byla vybrána louka v blízkosti jezera Poděbrady u Olomouce.



Obr. 6.2 Přehled lokalit vybraných pro UAV snímkování.

Stanovení parametrů snímkování

Nejdůležitějšími parametry snímkování je výška letu, měřítko snímku, délka základny mezi středy snímků, prostorové rozlišení snímku a stanovení ohniskové vzdálenosti komory. Tyto parametry se navzájem ovlivňují a je vhodné si stanovit konkrétní požadavek na snímkování, například minimální prostorovou rozlišovací schopnost snímku označovanou jako GSD (Ground Sample Distance). Hodnota GSD je skutečná vzdálenost v terénu, která je zaznamenána jedním pixelem komory, respektive udává vzdálenost mezi dvěma po sobě jdoucími středy pixelů. Čím větší je hodnota GSD, tím nižší je prostorové rozlišení obrazu a méně viditelné detaily. Nejmenší objekt, který by měl být identifikovatelný na výsledném snímku, by měl mít velikost minimálně čtyřikrát větší než je hodnota GSD. To znamená, že obraz objektu musí být složen minimálně ze čtyř pixelů. Šafář (2016) uvádí, že hodnota GSD by měla odpovídat 60 % požadované výsledné RMSE. Hodnota GSD ovlivňuje další parametry snímkování, a to především výšku letu: čím větší je výška letu, tím větší je hodnota GSD. Tento vztah lze popsat:

$$Hg = \left(\frac{GSD \times f}{p} \right) \quad (11)$$

kde Hg ... průměrná výška letu nad terénem,
 GSD ... ground sample distance,
 f ... ohnisková vzdálenost,
 p ... skutečná velikost obrazového prvku senzoru.

V letecké fotogrammetrii se používají kamery s různými ohniskovými vzdálenostmi. Vzhledem k nízké výšce letu, je velmi nevýhodné používat dlouhé ohniskové

vzdálenosti z důvodu malého prostorového záběru. Nejčastěji se využívají ohniskové vzdálenosti od 24 do 80 mm při výšce letu 20 až 300 metrů (Mířijovský, 2013). Avšak výhodou delších ohnisek je menší radiální distorze a vyšší prostorové rozlišení snímku. Na základě známé ohniskové vzdálenosti a výšce letu lze určit výsledné měřítko snímku označováno jako m_s , které se vztahuje na snímek v době pořízení, dle vztahu:

$$m_s = \frac{Hg}{f} \quad (12)$$

Délku základny mezi středy snímků určuje volba procentuálního překryvu mezi dvěma snímky, a to příčným a podélným překryvem. V praxi se běžně využívá 80% podélný a 60% příčný překryv. Vzdálenost sousedních středů snímků udává podélný překryv a rozstup náletových os určuje příčný překryv dle vztahů:

$$b = s' \cdot m_s \frac{100 - p}{100} \quad ; \quad (13)$$

$$a = s' \cdot m_s \frac{100 - q}{100} \quad ; \quad (14)$$

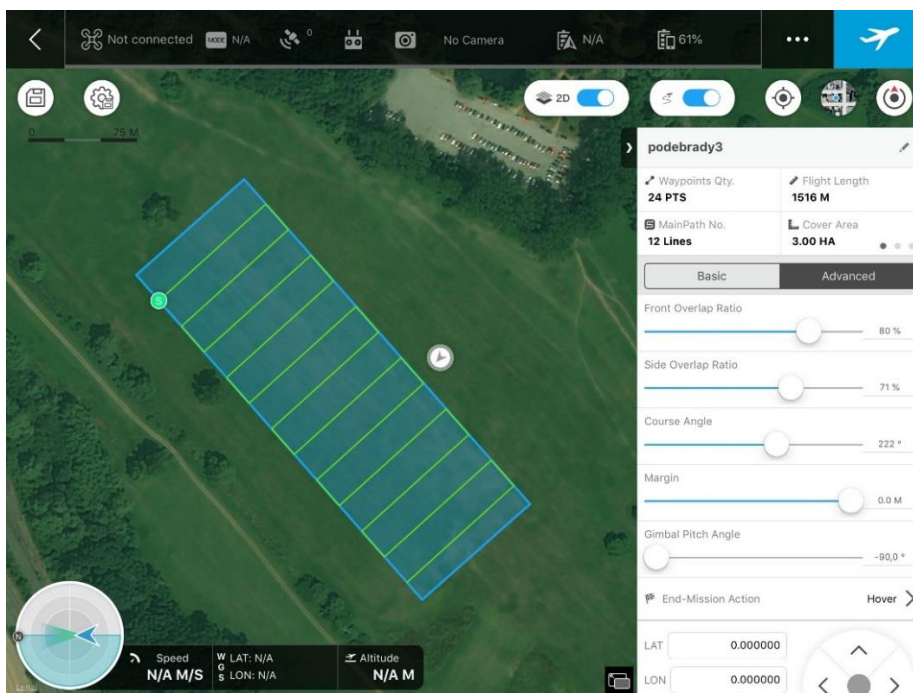
kde s' ... rozměr snímku v metrech,

p ... podélný překryv v %,

q ... příčný překryv v %.

Výše byly uvedeny jen základní parametry snímkování, v praxi jsou počítány další parametry jako například čas mezi dvěma expozičními stanovišti, průměrná rychlost letu a další. V současné době je k dispozici řada softwarových produktů pro plánování snímkování. V rámci této diplomové práce byly veškeré plány letu vytvořeny v aplikaci Ground Station Pro (Obr. 6.3).

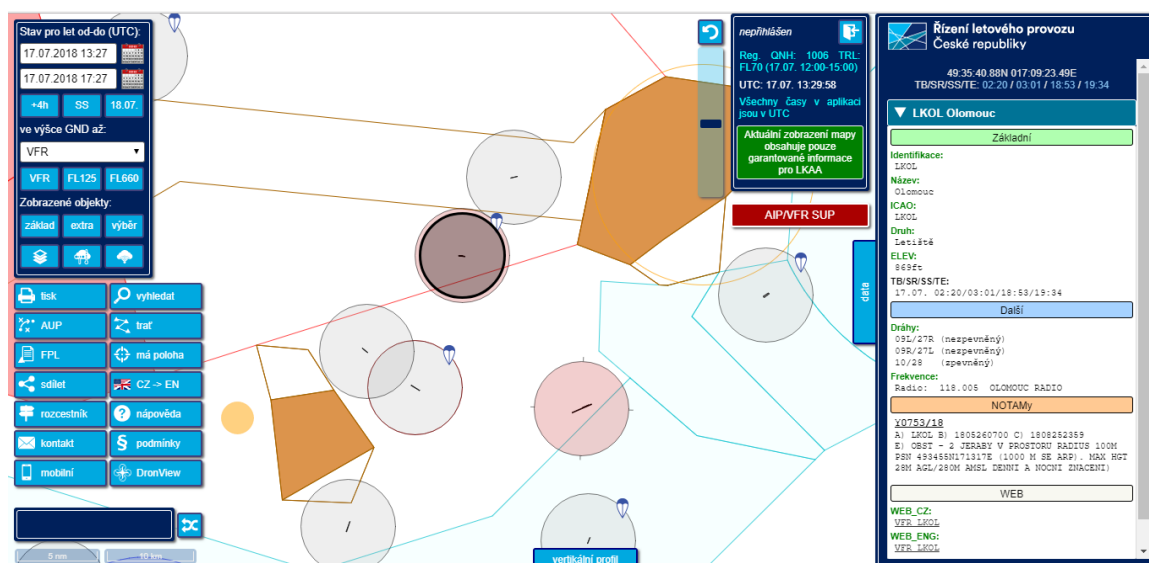
Tvorba plánu letu v této aplikaci je uživatelsky velmi přátelská. Nejprve byl do aplikace importován soubor KML (Keyhole Markup Language) obsahující polygonovou vrstvu zájmové oblasti, který byl zobrazen na podkladu ortofota. Po založení nového leteckého plánu lze prostřednictvím přehledného rozhraní nastavit konkrétní parametry plánovaného automatického letu. Lze jednoduše měnit parametry GSD a s tím spojenou výšku letu, dále překryvy, rychlost letu a další. Při změnách parametrů se automaticky mění i grafický náhled plánu letu, na kterém jsou zobrazeny letové osy. Pro potřeby přesného mapování jsou stanoveny body, na kterých bude automaticky pořízen snímek. Plány letu byly tvořeny vedoucím diplomové práce po dodání KML souborů a požadovaných hodnotách GSD.



Obr. 6.3 Náhled aplikace Ground Station Pro.

Snímkování UAV modelem lze realizovat po celý rok oproti klasickému leteckému snímkování, které je náročné na vnější požadavky. Světelné podmínky pro konkrétní let se mění podle účelu výsledné aplikace. Pro tvorbu této diplomové práce bylo žádoucí dosáhnout vysokého kontrastu snímku. Ideálně je provádět snímkování ve směru východ-západ z důvodu příznivějšího osvětlení.

Před každým snímkováním v terénu byl ověřen letecký provoz vedoucím diplomové práce na daném území prostřednictvím webové aplikace AisView 3.6 (Obr. 6.4), která zobrazuje území letišť, řízené okrsky letišť, omezené prostory pro létání, dočasně rezervované prostory, zakázané a nebezpečné prostory a prostory se zvýšeným leteckým provozem. Aplikace podává také informace o počasí a další doplňkové údaje.



Obr. 6.4 Náhled webové aplikace AisView.

6.3 Terénní práce a snímkový let

Signalizace

Body mohou mít více podob, lze využít umělou i přirozenou signalizaci. Důležitou roli hraje viditelnost signalizovaných bodů na snímcích. Body by měly být snadno identifikovatelné a jejich střed, ke kterým se vztahují měřené souřadnice, s dostatečnou přesností určitelný. Splnění těchto požadavků lze dosáhnout výběrem vhodného tvaru, velikosti a barvy. Velikost by měla odpovídat minimálně čtyřnásobku hodnoty GSD.

Pro tvorbu této práce byly využity dva typy umělé signalizace (Obr. 6.5). Prvním byl kruhový plastový terčík vytvořený z jednorázového plastového táčku. Nerovné okraje byly odštířeny a byla využita jen prostřední rovinná část, průměr terčíku byl 13 cm. Podle šablony byly obarveny dvě černé výseče rychleschnoucím akrylovým sprejem. Druhým typem byly zalaminované bílo-černé čtvrtky papíru, velikost strany výsledného terčíku čtvercového tvaru byl 13 cm. Pro efektivní určení obou typů terčíků na snímcích by měla být hodnota GSD do 3,25 cm. Materiál obou typů terčíků byl odolný vůči vlhkosti. Pro ověření viditelnosti terčíků byly pořízeny kontrolní snímky ze vzdálenosti 80 m. Oba terčíky byly dostatečně viditelné. Stabilitu terčíků v terénu bylo dosaženo připevněním pomocí hřebíků do země.



Obr. 6.5 Ukázka stabilizace a signalizace bodů.

Geodetické zaměření

Přesnost určení geodetických souřadnic GCPs je jedním z nejdůležitějších faktorů pro správnou a výslednou přesnost určení parametrů vnější a vnitřní orientace. Pro sběr souřadnic byla vybrána metoda tachymetrie s využitím robotické totální stanice. Tato metoda se vyznačuje velmi vysokou přesností. Výsledné určení geodetických souřadnic bylo určeno na základě pěti po sobě jdoucích měření a přesnost měření byla dána technickými parametry totální stanice, které jsou uvedeny v Tab. 1.1. Ustavení totální stanice v terénu a určení orientace definovalo začátek lokálního souřadnicového systému, ve kterém byly dále prováděny všechny úkony.

Snímkový let

Snímkový let byl proveden vedoucím diplomové práce.

6.4 Fotogrammetrické zpracování

Louka v Litovelském Pomoraví

Lokalita se nachází v CHKO (chráněná krajinná oblast) Litovelské Pomoraví v katastrálním území Štěpánov u Olomouce. Velikost snímkové oblasti byla zhruba 280 x 90 m s minimálním výškovým převýšením. Provedeny byly dva snímkové lety, při kterých byly získány dvě datové sady s různým prostorovým rozlišením. Parametry snímkování jsou uvedeny v Tab. 6.1. Celkem bylo signalizováno a totální stanicí geodeticky určeno 42 bodů. Rozmístění vličovacích a kontrolních bodů bylo provedeno bez pomoci GNSS přijímače, proto nebylo docíleno pravidelného rozmístění (Obr. 6.6). Zpracování v softwaru Agisoft PhotoScan proběhlo stejným postupem jako při experimentálních datech (kapitola 5.3). Při nastavení voleb funkce Align Photos byl povolen předvýběr Generic Preselection, který zrychluje výpočet. V Tab. 6.1 jsou uvedeny výsledky vzniklého řídkého mračna bodů pro obě datové sady.

Tab. 6.1 Parametry snímkování a parametry mračen bodů pro sady lp

Snímkování			Mračno bodů		
parametr [jednotka]	lp_49	lp_81	parametr [jednotka]	lp_49	lp_81
výška letu [m]	49	81	snímky [počet]	101	29
rozlišení [cm/pix]	1,5	3,0	key points [počet]	110 371	30 566
waypointy [počet]	20	10	tie points [počet]	107 527	29 909
letové řady [počet]	10	5	key points [poč./sn.]	1 093	1 054
podélný překryv [%]	80	65	tie points [poč./sn.]	1 065	1 031
příčný překryv [%]	80	65	matching time [min]	63	13



Obr. 6.6 Rozmístění bodů na louce v CHKO Litovelské Pomoraví.

Dále bylo potřeba identifikovat a umístit všechny body na jednotlivých snímcích. V Obr. 6.7 lze vidět rozdíl ve viditelnosti terčů na snímcích v pořízených sadách. V sadě lp_49 bylo podstatně snadnější umístit bod do středu terčíku oproti sadě lp_81.



Obr. 6.7 Ukázka viditelnosti terčů na snímcích při různých hodnotách GSD.

Louka u jezera Poděbrady

Lokalita se nachází severním směrem od středu města vzdušnou čarou zhruba 6 km v katastrálním území Křelov-Břuchotín v blízkosti jezera Poděbrady u Olomouce. Jednalo se náhradní řešení za nevydařené snímkování na letišti v Olomouci, proto snímkování proběhlo na území o stejné velikosti (300 x 100 m) a byl využit totožný plán rozmístění bodů v prostoru. Pro efektivní rozmístění bodů byl využit GNSS přijímač Trimble R4 a mód vytyčování. Celkem bylo signalizováno a geodeticky zaměřeno 80 bodů, z toho 28 tvořilo fixní sadu kontrolních a 52 bodů plnilo funkci vličovacích bodů podle šetřených strategií (Obr. 6.8).



Obr. 6.8 Rozmístění vličovacích a vázacích bodů na louce u jezera Poděbrady.

Celkem byly vytvořeny tři plány letu a na jejich základě byly realizovány tři snímkové lety ve výškách od 55 m do 100 m. Sady s hodnotami GSD 1,5 a 2,7 cm byly pořízeny pro účely testování strategií 1, 2 a 4. Směr letu UAV modelu při exponování snímků byl po kratší straně území. Sada s hodnotou GSD 2 cm byla vytvořena pro testování strategie 3, let byl v tomto případě prováděn po delší straně území. Parametry při snímkování jednotlivých sad jsou uvedeny v Tab. 6.2. Obecně byly voleny 80% podélné a 70% příčné překryvy.

Tab. 6.2 Parametry snímkování pro sady jp

parametr [jednotka]	jp_56	jp_72	jp_100
výška letu [m]	55,0	72,6	100,0
rozlišení [cm/pix]	1,5	2,0	2,7
rychlost letu [m/s]	5,6	4,9	5,0
uzávěrka [s]	2	3	4
waypointy [počet]	24	6	12
letové řady [počet]	12	3	6
délka letu [m]	1 516	1 040	916
podélný překryv [%]	80	80	80
příčný překryv [%]	71	70	71
úhel letu [°]	222	131	222

Získané tři datové sady s celkovým počtem 239 snímků byly zpracovány v softwaru Agisoft PhotoScan dle popisu postupu v kapitole 5.3.1. Při zarovnání snímků do řad (funkce Align Photos) byl zvolen předvýběr Generic Preselection. Celkem bylo vytvořeno pět fotogrammetrických řešení, která byla dále testována dle zvolených strategií. Z datových sad jp_56 a jp_100 určených pro testování strategií skupin 1, 2 a 4 vznikla navíc datová sada s názvem jp_156, která byla vytvořena složením poloviny snímků ze sady jp_56 s polovinou snímků ze sady jp_100. Tímto způsobem bylo nasimulováno převýšení 45 m v dané oblasti.

Datová sada jp_72, která slouží pro testování strategií ve skupině 3, byla nejprve zpracována jako celek a výsledkem je datová sada s názvem jp_72_3. Poté byly vybrány a zpracovány pouze snímky prostřední řady, vytvořená sada je dále značena zkratkou jp_72_1. V Tab. 6.3 jsou shrnuty informace o vytvořených řídkých bodových mračenách pro každou sadu. Z přepočtu bodů na jeden snímek vyplývá, že v sadách s větším prostorovým rozlišením se generuje méně bodů.

Tab. 6.3 Parametry vzniklých mračen bodů pro sady jp

parametr [jednotka]	jp_56	jp_100	jp_156	jp_72_3	jp_72_1
snímky [počet]	129	41	86	69	22
key points [počet]	194 056	66 882	134 703	107 412	33 940
tie points [počet]	189 417	65 454	131 570	105 294	33 384
key points [počet/snímek]	1 504	1 631	1 566	1 556	1 543
tie points [počet/snímek]	1468	1 596	1529	1 526	1 517
matching time [min]	82	22	50	36	7

6.5 Hodnocení přesnosti terénních dat

Hodnocení přesnosti probíhalo podle uvedených parametrů v kapitole 5.3.2. Nejdříve byly hodnoceny výsledky strategií z lokality v Litovelském Pomoraví a poté z lokality u jezera Poděbrady.

6.5.1 Louka v Litovelském Pomoraví

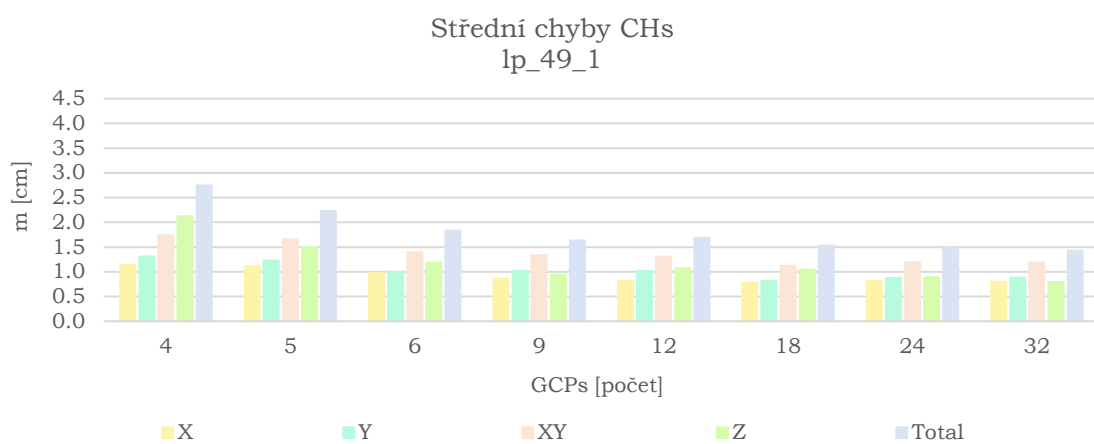
Strategie 1

Pro ověření vlivu počtu vřícovacích bodů bylo testováno celkem osm strategií, ve kterých se počet GCPs pohyboval od 4 do 32 bodů. Testovány byly dvě sady lp_49 a lp_81 proměnlivou sadou kontrolních bodů, a to takovým způsobem, že nevyužité vřícovací body přejímaly účel bodů kontrolních, z toho vyplývá, že strategie byly hodnoceny 10 až 38 kontrolními body. Hodnoty středních chyb a směrodatných odchylek jsou uvedeny v Příloze 1, strategie jsou značeny zkratkami lp_xx_1_yy, kde xx značí sadu (49 nebo 81) a yy koresponduje s počtem použitých GCPs.

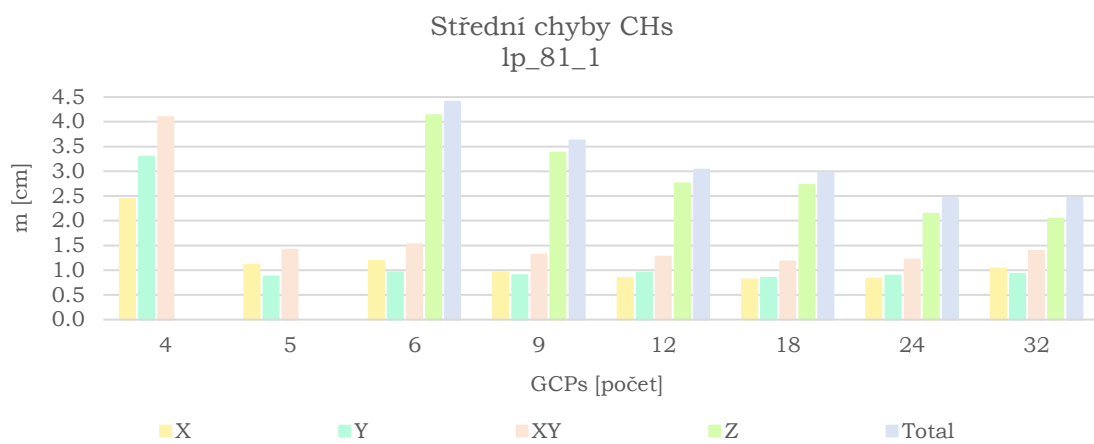
Výsledky pro sadu lp_49 jsou vykresleny do sloupcového grafu (Obr. 6.9). Varianta s využitím 18 GCPs se vyznačuje nejnižší hodnotou $m_{x,y}$ 1,12 cm. S přibývajícimi vřícovacími body se zlepšuje přesnost výškové souřadnice a při maximálním počtu testovaných bodů (32) dosahuje m_z 0,79 cm. Nejhorší řešení vykazuje varianta se 4 body, ve které je $m_{x,y}$ 1,74 cm a m_z 2,13 cm. Směrodatné odchylky ukázaly nejvíce sourodé výsledky pro 18, 24 a 32 GCPs. Nejhorší výsledky odchylek byly potvrzeny pro variantu se 3 GCPs.

Sloupcový graf byl také vytvořen pro výsledky v sadě lp_81 (Obr. 6.10), ve které jsou vykázány nejlepší výsledky $m_{x,y}$ pro variantu s 18 body (1,17cm). Výškové chyby postupně klesají s přibývajícimi body a nejnižší hodnoty nabývají ve variantě s nejvíce body (32 GCPs v hodnotě 2,03 cm). Nejhorší střední chyby jsou zaznamenány ve variantě se 4 body, v poloze dosahují hodnoty 4,10 cm, nicméně s přidáním jednoho vřícovacího bodu je střední chyba třikrát nižší. Ve výškové souřadnici dosahuje téměř 10 cm, s přidáním jednoho bodu se chyba nevýrazně snížila na 8,3 cm, ale s dalším bodem klesla zhruba o polovinu. Výškové a celkové střední chyby nebyly pro varianty s 4 a 5 body vykresleny, protože se vymykají vysokými hodnotami oproti ostatním variantám a došlo by k nežádoucím snížení množství informací zobrazených v grafu. Výsledky směrodatných odchylek potvrdily nejlepší i nejhorší varianty dle hodnot středních chyb.

Obecně sada lp_49 vykazuje lepší výsledky oproti sadě lp_81. V polohových souřadnicích není rozdíl příliš výrazný. Dokonce m_y dosahuje ve většině variantách lepších výsledků v sadě lp_81. Znatelně horší výsledky sady lp_81 jsou zaznamenány pro souřadnici Z, nejlepšímu řešení s 32 body odpovídá v sadě lp_49 varianta s nejhorší možnou m_z , která byla dosažena při 4 vřícovacích bodech. V obou sadách je znatelný trend snižování $m_{x,y}$ do varianty s 18 body, poté nastává mírné zhoršení, současně je zaznamenán trend neustále zlepšující se přesnosti souřadnice Z s přibývajícimi vřícovacími body.



Obr. 6.9 Střední chyby variant strategie lp_49_1.



Obr. 6.10 Střední chyby variant strategie lp_81_1.

Strategie 2

Obě sady byly podrobeny testování vlivu rozmístění vřícovacích bodů na přesnost výsledků fotogrammetrického zpracování. Celkem bylo testováno pět variant nerovnoměrného rozmístění, oproti experimentálním datům přibyla strategie rozložení bodů vertikálně uprostřed. Pro všechny varianty bylo využito 9 bodů jako vřícovacích a přesnost byla hodnocena prostřednictvím 33 kontrolních bodů. Výsledky středních chyb a směrodatných odchylek lze najít v Příloze 1, strategie jsou značeny zkratkou lp_xx_2_yy, kde xx označuje sadu (49 nebo 81) a yy zkratku rozmístění, v popisu lze zjistit celý název rozmístění.

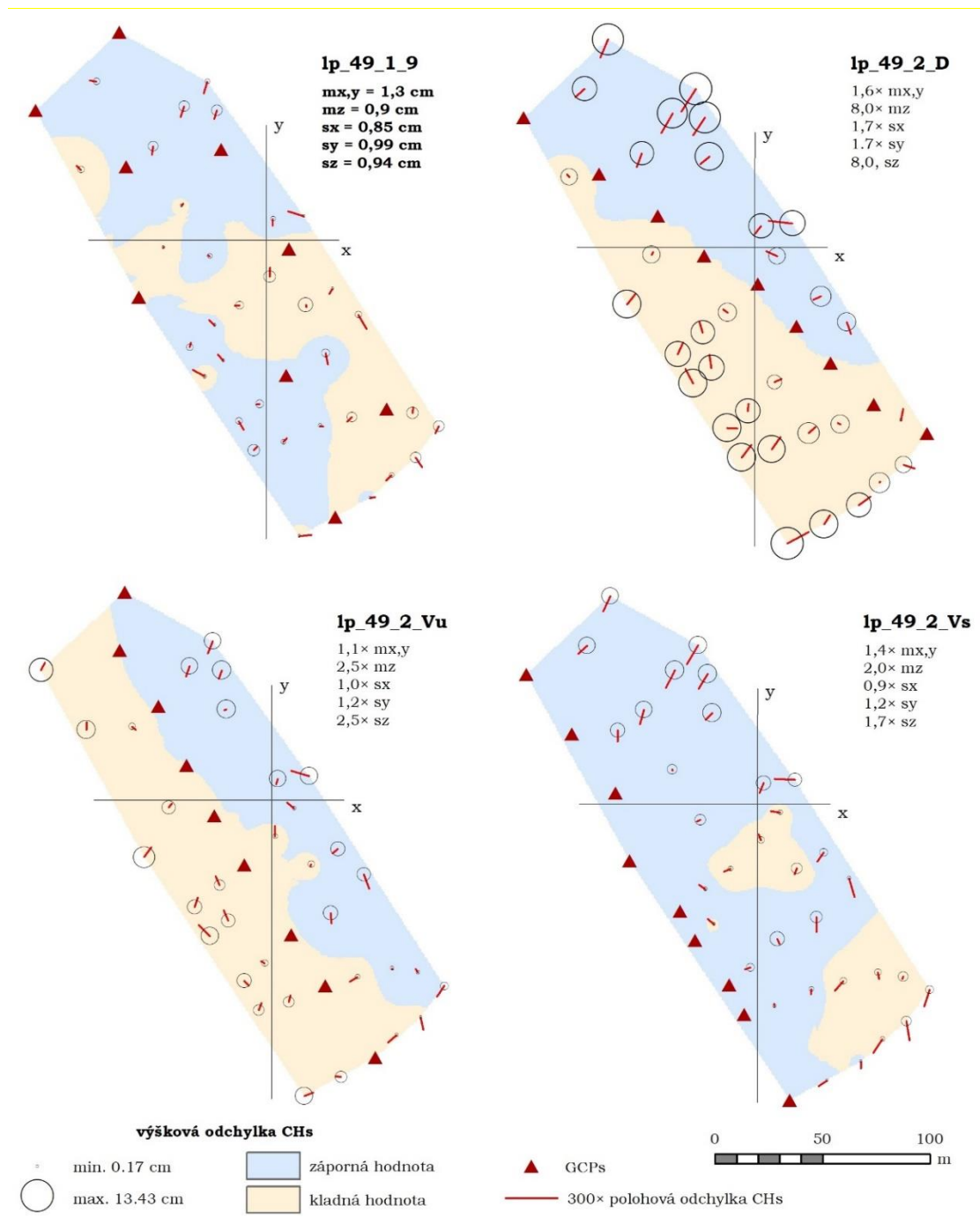
V sadě lp_49 nejméně ovlivněné výsledky vlivem nerovnoměrného rozmístění vykazují varianty vertikálně uprostřed a vertikálně na straně, první z těchto strategií má nejnižší hodnotu $m_{x,y}$ 1,51 cm, pro srovnání ve variantě lp_1_9 s rovnoměrným rozmístěním 9 bodů činí $m_{x,y}$ 1,31 cm. Druhá uvedená strategie se vyznačuje nejnižší m_z v hodnotě 1,84 cm, taktéž ve srovnání s variantou lp_1_9 dochází ke zhoršení o 1 cm. Nepříliš zhoršenými výsledky $m_{x,y}$ se vyznačuje také varianta s diagonálním rozmístěním (2,19 cm), avšak m_z dosahuje 7,56 cm. Nejvýrazněji zhoršené přesnosti vyazuje varianta horizontálně na straně, $m_{x,y}$ je 52,82 cm a m_z 38,64 cm. Varianta uprostřed nedosahuje tak velkých nepřesností, ale vliv tohoto rozmístění není nepatrný, $m_{x,y}$ činí 8,26 cm a m_z 16,38 cm.

V Tab. 6.4 jsou výsledky směrodatných odchylek, které signalizují největší odlišnosti hodnot ve variantě horizontálně na straně, tedy souhlasně s nejhoršími výsledky středních chyb. Naopak největší podobnost prvků v soboru značí varianta vertikálně na straně, přestože není variantou s nejnižšími hodnotami středních chyb. To značí, že v této variantě jsou si hodnoty jednotlivých odchylek vzájemně podobné.

Tab. 6.4 Směrodatné odchylky variant lp_49_2

Strategie	GCPs [počet]	CHs [počet]	Popis strategie	s_x [cm]	s_y [cm]	s_z [cm]
lp_49_1_9	9	33	rovnoměrně	0.8486	0.9857	0.9417
lp_49_2_U	9	33	uprostřed	4.9403	3.5422	10.0289
lp_49_2_Hs	9	33	H na straně	18.9013	32.2839	26.9262
lp_49_2_Vu	9	33	V uprostřed	0.8712	1.2114	2.3283
lp_49_2_D	9	33	diagonálně	1.4316	1.6408	7.4682
lp_49_2_Vs	9	33	V na straně	0.7846	1.1439	1.5812

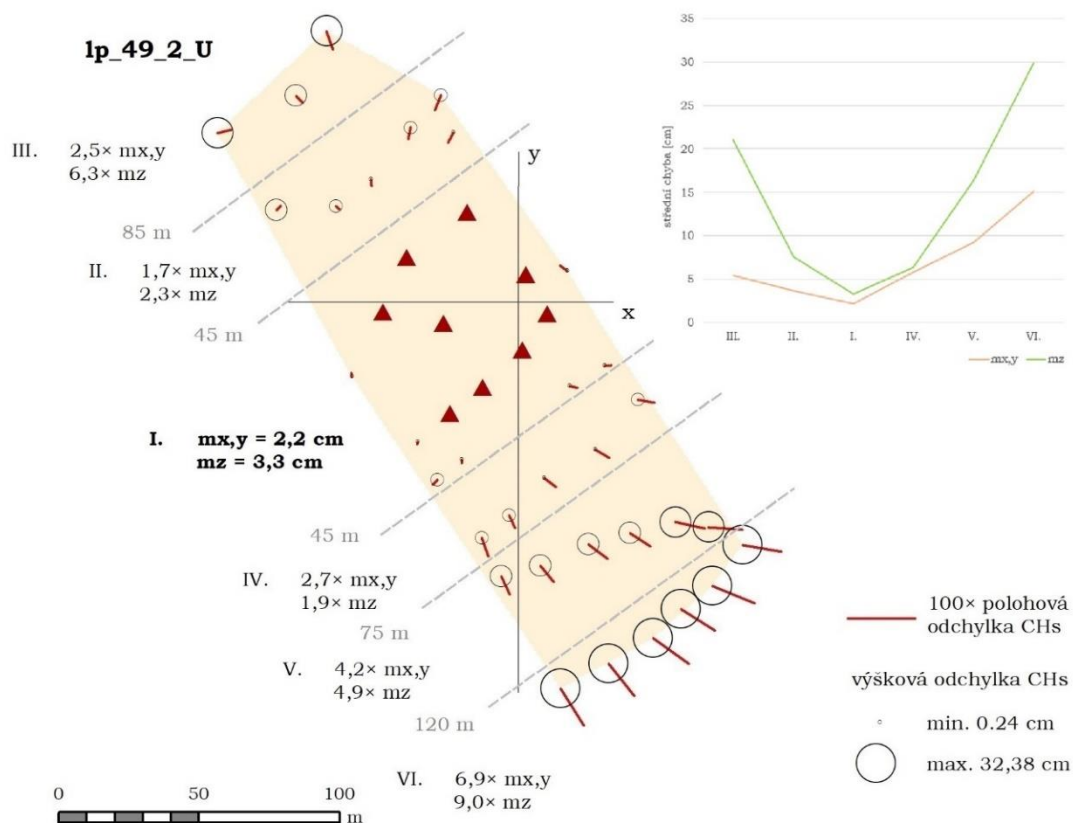
Pro všechny varianty byla vytvořena vizualizace chybových úseček. Výsledky pro varianty s rozmístěním diagonálně, vertikálně uprostřed a vertikálně na straně jsou uvedeny v Obr. 6.11 společně s variantou lp_1_9 pro srovnání. Pod každým názvem varianty je uveden x-násobek střední polohové a výškové chyby oproti variantě lp_1_9, u které jsou tyto hodnoty uvedeny. Polohové odchylky byly pro tyto strategie vynásobeny 300krát. Ve všech variantách nerovnoměrného rozmístění je patrný určitý směr polohových chyb, které se většinou ubírají ke GCPs. Také je zřetelný nárůst jejich velikosti směrem do odlehlejších míst, a to platí i pro výškové odchylky. Ve variantách diagonálně a vertikálně uprostřed je zřetelný přechod kladných výškových odchylek na záporné v oblasti výskytu GCPs.



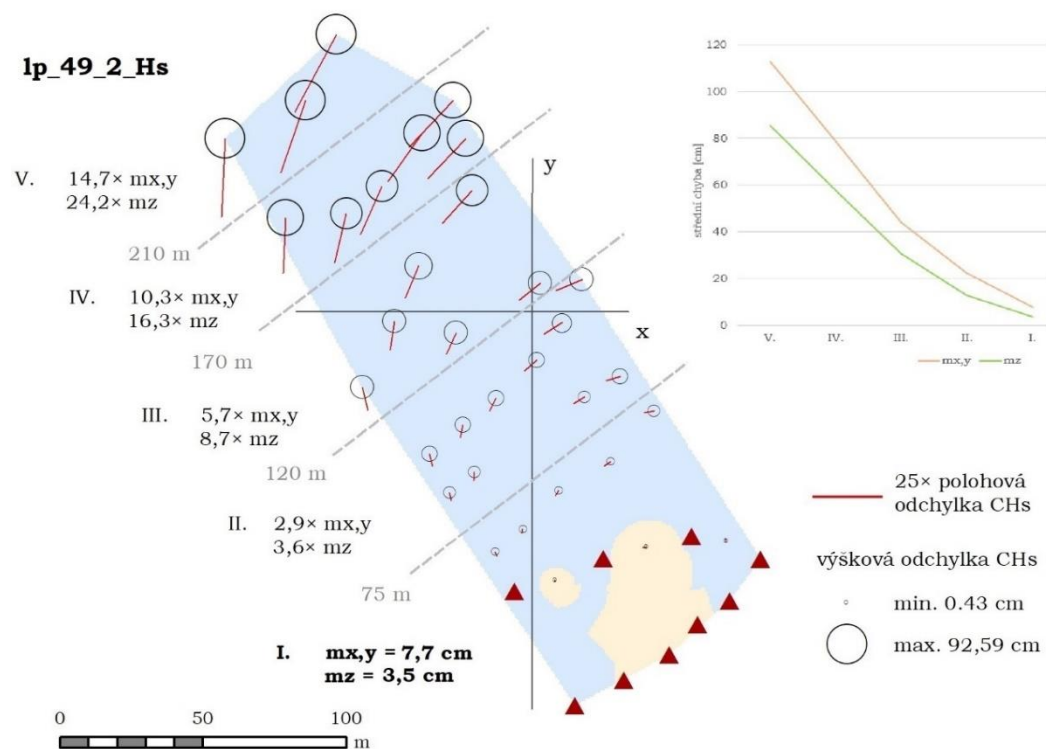
Obr. 6.11 Vizualizace přesností variant lp_49_2.

Zvlášť byla vizuální formou hodnocena varianta s rozmístěním bodů uprostřed (Obr. 6.12). Polohové odchylky byly vynásobeny 100krát a zájmová plocha byla rozdělena na 6 skupin označených římskými číslicemi. Pro každou skupinu byly vypočítány hodnoty $m_{x,y}$ a m_z , které jsou vyjádřeny násobky oproti skupině I., která je v bezprostřední blízkosti vřícovacích bodů. Z vizualizace je patrný nárůst nepřesností směrem od GCPs, a to především pro skupiny IV. až VI. V nejvzdálenější skupině dosahují $m_{x,y}$ téměř 7násobku a m_z 9násobku. Pro tyto skupiny je také patrný jednotný směr, kterým se polohové odchylky ubírají, tedy směrem od vřícovacích bodů. Naopak ve skupinách II. a III. je směr opačný, tedy směrem ke GCPs. Výškové odchylky také značí nárůst směrem

od GCPs a všechny jsou v kladných hodnotách oproti měřeným souřadnicím. Součástí vizualizace je také liniový graf, který zobrazuje vývoj středních chyb.



Obr. 6.12 Vizualizace přesností varianty lp_49_2_U.



Obr. 6.13 Vizualizace přesností varianty lp_49_2_Hs.

Obr. 6. 13 znázorňuje výsledky pro variantu horizontálně na straně obdobným způsobem. Bylo vytvořeno 5 skupin značených I. až V., pro které byly vypočítány střední chyby. Vlivovací body se nacházejí ve skupině I., která je referenční pro výpočet násobku středních chyb v ostatních skupinách. Polohové odchylky byly vynásobeny 25krát, z výsledků je patrné, že jejich směr ve většině případů směřuje ke GCPs. Výškové odchylky jsou téměř pro celé území záporné povahy. O vývoji nárůstu chyb vypovídá liniový graf, obecně větší nepřesnosti jsou zaznamenány v $m_{x,y}$ a maximálně dosahují 14,7násobku v nejdlejší skupině V. Nárůst m_z je v tomto případě o 24,2násobek, i přesto dosahuje nižších hodnot, protože referenční m_z je zhruba poloviční oproti $m_{x,y}$.

Dále byla testována sada lp_81, která oproti sadě lp_49 dosahovala obecně horších výsledků. Nejméně ovlivněnou variantou nerovnoměrným rozmístěním v poloze se jeví souhlasně s předchozí sadou varianta vertikálně uprostřed, kde $m_{x,y}$ nabývá hodnoty 3,60 cm, která je o 2,29 cm větší než u varianty lp_81_1_9 s rovnoměrným rozmístěním. Nejnižší m_z je zaznamenána ve variantě diagonálního rozmístění a činí 8,71 cm, to je o 5,33 cm oproti rovnoměrnému rozmístění. Nejhoršími výsledky disponuje varianta horizontálního rozmístění, $m_{x,y}$ dosahuje 31,51 cm a m_z 86,51 cm. Výsledky směrodatných odchylek jsou zaznamenány v Tab. 6.5. Pro osu Y a Z výsledky odpovídají středním chybám. Nejvíce podobné odchylky v ose X jsou ve variantě diagonálně, jejichž m_y je o 0,04 větší oproti m_y varianty vertikálně uprostřed, pro kterou byly zjištěny nejmenší hodnoty v tomto parametru.

Tab. 6.5 Směrodatné odchylky variant lp_81_2

Strategie	GCPs [počet]	CHs [počet]	Popis strategie	s_x [cm]	s_y [cm]	s_z [cm]
lp_81_1_9	9	33	rovnoměrně	0.9270	0.8486	4.1457
lp_81_2_U	9	33	uprostřed	4.8601	5.8823	21.7474
lp_81_2_Hs	9	33	H na straně	9.4634	20.8096	59.1952
lp_81_2_Vu	9	33	V uprostřed	2.2011	2.6863	23.6223
lp_81_2_D	9	33	diagonálně	1.9773	3.0946	8.6733
lp_81_2_Vs	9	33	V na straně	4.2733	3.5043	14.7640

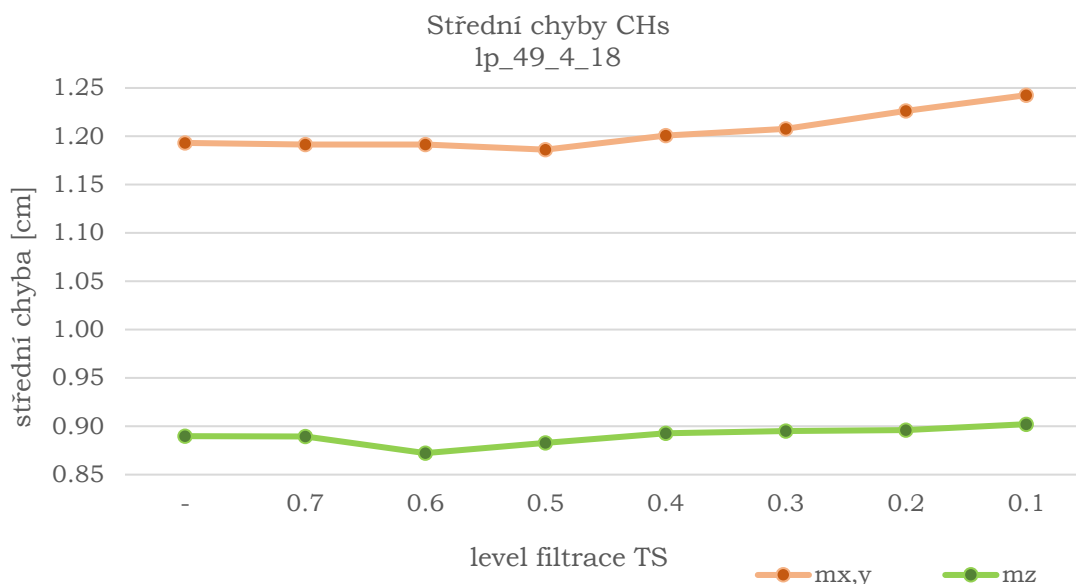
Strategie 4

Obě sady byly testovány snižováním počtu vázacích bodů na přesnost výsledného svazkového vyrovnání bloku. Byly vybrány varianty s 18 GCPs a postupně byly filtrovány vázací body na základě chyb reprojekce, následně byly vypočítány střední chyby a výsledky byly porovnávány. Celkem bylo testováno sedm úrovní filtrace s postupným snižováním vázacích bodů. Hodnoty výsledných středních chyb a další parametry lze nalézt v Příloze 2 prostřednictvím označení strategií lp_xx_4_18_yy, kde xx odpovídá sadě (49 nebo 81) a yy levelu filtrace, pokud se jedná o výchozí sadu, tento údaj uveden není.

Levely filtrace a počty vázacích bodů jsou uvedeny v Tab. 6.6 pro sadu lp_49. Výsledné $m_{x,y}$ a m_z hodnoty jsou vyjádřeny liniovým grafem (Obr. 6.14). V sadě lp_49 bylo původně 107 527 vázacích bodů (průměrně 1 065 bodů na jeden snímek), od kterých byly postupně mazány vázací body s největšími chybami reprojekce. Varianta s nejnižším počtem TS obsahuje 11 914 bodů, což představuje 11 % bodů původního mračna. Nejlepších výsledků $m_{x,y}$ bylo dosaženo filtrací levelu 0.5, kdy bylo ponecháno 81 % původních bodů, zatímco souřadnice X právě v této úrovni filtrace vypovídá nejnižšími středními chybami, souřadnice Y se filtrací nezpřesnila v žádném levelu. Nejlepších hodnot m_z a m_t bylo dosaženo v levelu 0.6, ve které zůstalo 90 % původních bodů a průměrně na jeden snímek připadá 861 bodů.

Tab. 6.6 Počet vázacích bodů ve variantách lp_49_4_18

Level filtrace TS	-	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
Počet TS	107 527	103 000	96 906	87 009	71 793	51 408	29 358	11 914
Počet TS/snímek	1 065	1 020	959	861	711	509	291	118
% původních TS	100	96	90	81	67	48	27	11

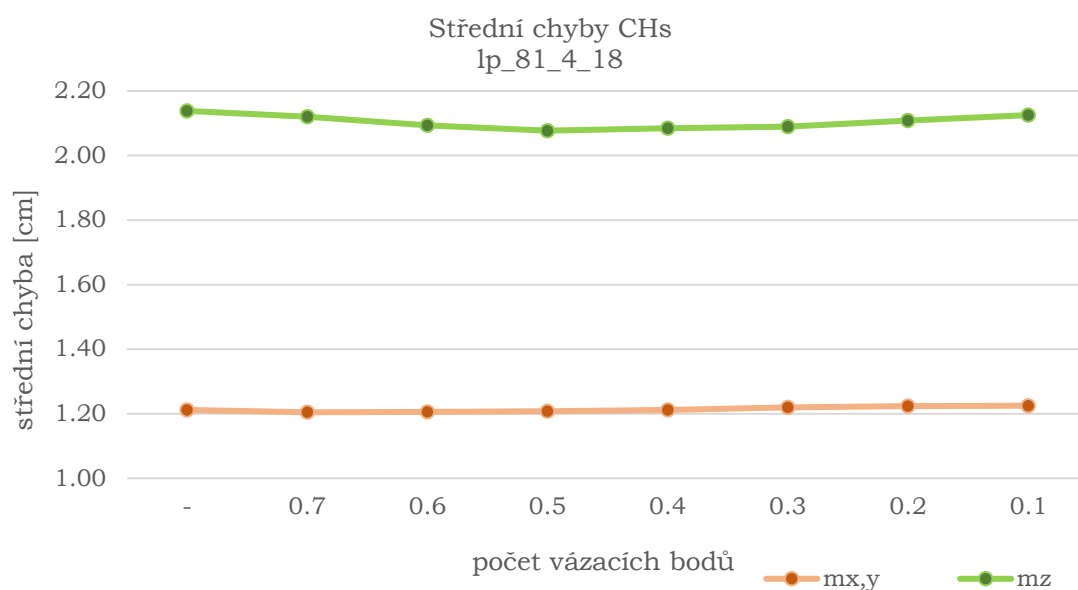


Obr. 6.14 Střední chyby variant strategií lp_49_4_18.

Pro sadu lp_81 je uvedena přehledová Tab. 6.7 o počtech vázacích bodů v úrovních a výsledky středních chyb jsou vyneseny opět do liniového grafu (Obr. 6.15). Výchozí varianta obsahovala 29 909 bodů (průměrně 1 031 bodů na snímek). Nejnižších hodnot $m_{x,y}$ bylo dosaženo při levelu 0.7, ve kterém je ponecháno 95 % bodů. Nejlepší m_z je vykázána filtrací levelu 0.5, při které je zachováno 80 % bodů.

Tab. 6.7 Počet vázacích bodů ve variantách lp_81_4_18

Level filtrace TS	-	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
Počet TS	29 909	28 452	26 666	23 873	19 685	14 239	8 609	3 782
Počet TS/snímek	1 031	981	920	823	679	491	297	130
% původních TS	100	95	89	80	66	48	29	13



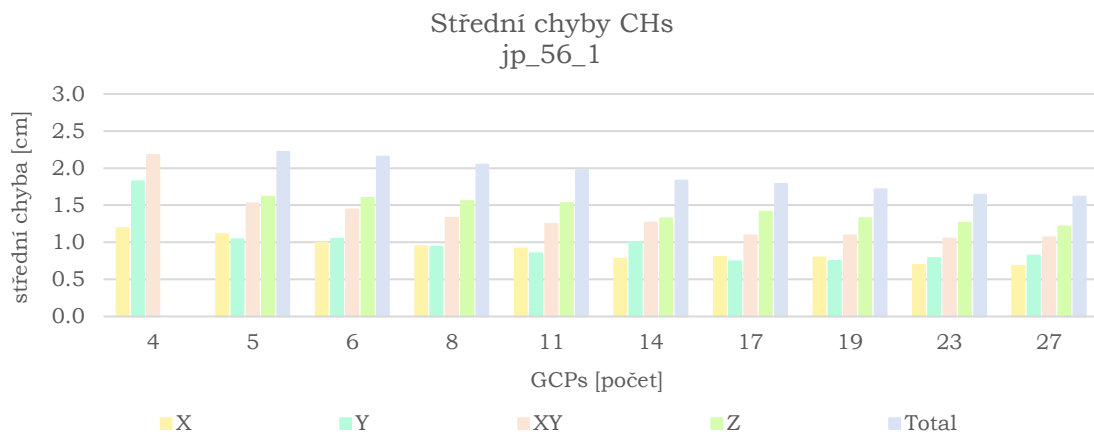
Obr. 6.15 Střední chyby variant strategií lp_81_4_18.

6.5.2 Louka u jezera Poděbrady u Olomouce

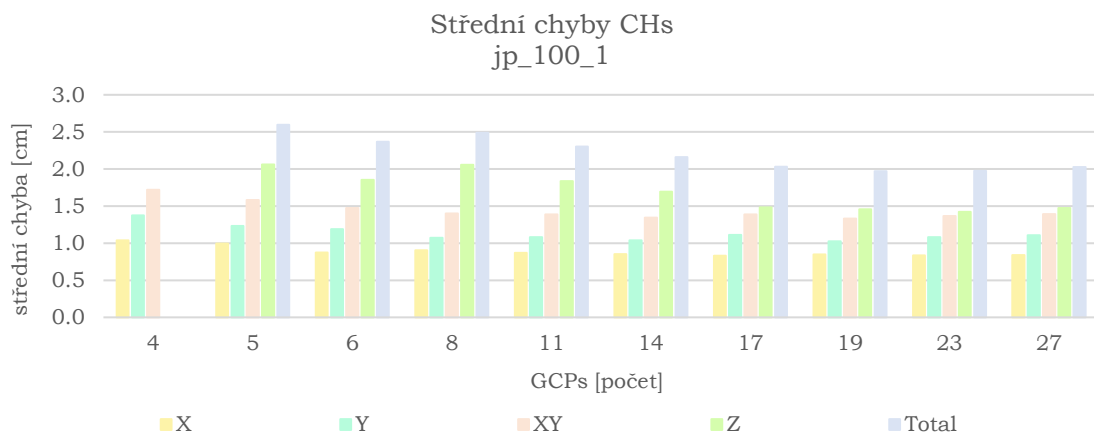
Strategie 1

Pro ověření vlivu počtu vřícovacích bodů bylo testováno celkem 10 strategií, ve kterých se počet GCPs pohyboval od 4 do 27 bodů. Testovány byly tři sady jp_56, jp_100 a jp_156 fixní sadou 28 kontrolních bodů. Hodnoty středních chyb a směrodatných odchylek jsou uvedeny v Příloze 1, strategie jsou značeny zkratkami jp_xx_1_yy, kde xx značí sadu (56,100 nebo 156) a yy koresponduje s počtem použitých GCPs.

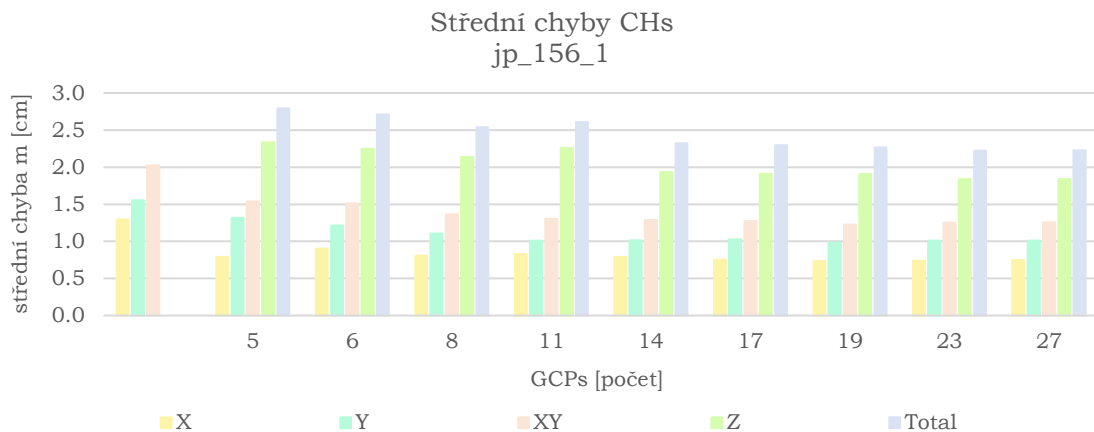
Sada jp_56 dosahuje obecně nejlepších výsledků. Nejmenší m_z 1,21 cm vykazuje řešení s největším počtem bodů (27) a $m_{x,y}$ je nejnižší pro strategii s 23 body (1,05 cm). Výsledky směrodatných odchylek potvrdily nejmenší variabilitu pro totožné strategie s nejnižšími hodnotami středních chyb (Obr. 6.16). V sadě jp_100 bylo získáno nejlepšího řešení $m_{x,y}$ (1,33 cm) s využitím 19 bodů a nejnižší m_z v hodnotě 1,42 cm s využitím 23 bodů. Nejlepších hodnot směrodatných odchylek je dosaženo ve strategii s 19 body. Pouze odchylka pro osu X má lepší výsledek pro 23 bodů (Obr. 6.17). V sadě jp_156 byla nejnižší m_z (1,84 cm) ve strategii s 23 body. Při využití 19 bodů byly získány nejlepší výsledky $m_{x,y}$ (1,23 cm). Nejmenších směrodatných odchylek bylo dosaženo pro strategii s 23 body pro X, Z odchylky a s 19 body pro Y odchylku (Obr. 6.18).



Obr. 6.16 Střední chyby variant strategií jp_56_1.



Obr. 6.17 Střední chyby variant strategií jp_100_1.



Obr. 6.18 Střední chyby variant strategií jp_156_1.

Pro všechny tři sady bylo nejhorším řešením využití 4 GCPs. Výrazně špatné výsledky byly projeveny především ve výškové ose Z. Z tohoto důvodu nebyly výsledky m_z a m_t vykresleny do grafu. Pro sadu jp_56 činila m_z téměř 219 cm, pro sadu jp_100 byla tato chyba 87 cm a v sadě jp_156 dosahovala 25 cm.

Při srovnání sad mezi sebou lze určit, že sada s největším prostorovým rozlišením jp_56 dosahovala nejlepších výsledků. V hodnotách $m_{x,y}$ druhými nejlepšími výsledky disponovala sada jp_156, naopak ve m_z byla přesnější datová sada jp_100. Pro srovnání lze uvést, že nejnižší $m_{x,y}$ chybě sady jp_100 (1,33 cm s 19 GCPs) odpovídá v sadě jp_56 strategie s 8 GCPs (1,33 cm) a v sadě jp_156 strategie s 11 GCPs (1,31 cm). Obdobně lze říci, že nejlepší výškové m_z chybě v sadě jp_156 (1,84 cm s 23 GCPs) odpovídá v sadě jp_100 strategie s 6 GCPs (1,85 cm) a v sadě jp_56 byla nejhorší m_z chyba o velikosti 1,62 cm pro strategii s 5 body.

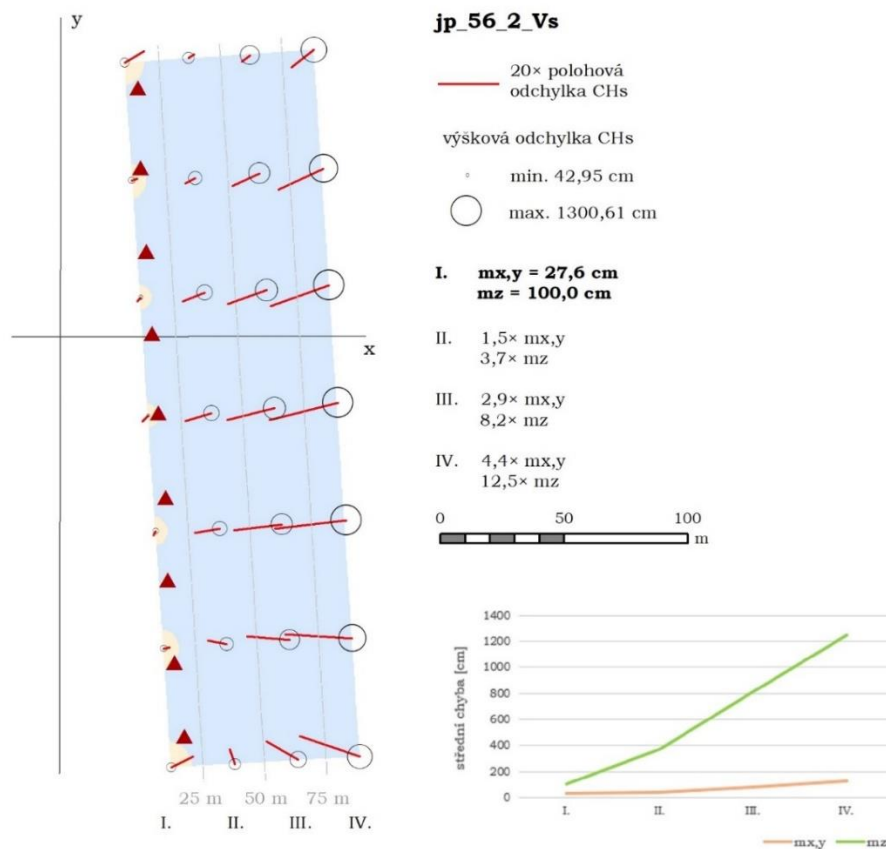
Autor se domnívá, že hlavním důvodem lepších výsledků v sadě jp_56 s větším prostorovým rozlišením je schopnost určit přesněji střed signalizovaných bodů na snímcích. Při identifikaci bodů ve všech sadách byl brán ohled na vzniklá rezidua na jednotlivých bodech a snahou bylo určit všechny body s podobnými chybami reziduí. Nicméně přestože je hodnota chyb uvedená v pixelech obdobná pro jednotlivé sady, ve skutečnosti jsou chyby pro sadu s menším prostorovým rozlišením větší, protože plocha na zemském povrchu zaznamenaná na jednom pixelu je větší. Proto nejhorší polohové výsledky vykazuje sada jp_100. V sadě jp_156 dochází ke kombinaci obou sad, tím pádem výsledky středních chyb jsou horší než v sadě jp_56, ale lepší v sadě jp_100. Nicméně sada jp_156 vykazuje největší hodnoty m_z z důvodu proměnlivého měřítkového čísla a hodnoty GSD.

Strategie 2

Testování ověření vlivu nerovnoměrného rozmístění vřícovacích bodů byly podrobeny datové sady jp_56, jp_100 a jp_156. Celkem bylo zkoumáno devět variant nerovnoměrného rozmístění (a navíc jedna s rovnoměrným rozmístěním určena pro srovnání), oproti předchozím testováním nepřibyla žádná nová varianta, ale stávající varianty kromě rozmístění uprostřed byly rozšířeny o variantu, kdy byly shlukovány vřícovací body do skupin po třech a shluky byly rozmístěny dle dané varianty. Pro všechny varianty bylo využito 9 vřícovacích bodů a přesnost byla hodnocena prostřednictvím fixní sady 28 kontrolních bodů. Výsledky středních chyb a směrodatných odchylek lze najít v Příloze 1, strategie jsou značeny zkratkou jp_xx_2_yyz, kde xx označuje sadu (56, 100 nebo 156), yy zkratku rozmístění (v popisu lze zjistit celý název rozmístění) a poslední označení z vyjadřuje, zda se jedná o sadu se shlukovanými body, v tomto případě je označena číslicí 2, jinak není uvedena.

Nejdříve byla hodnocena sada jp_56, ve které se vyznačuje nejnižší $m_{x,y}$ chybou varianta vertikálně uprostřed v hodnotě 2,05 cm, oproti rovnoměrnému rozmístění je tato hodnota vyšší o 0,65 cm. Nejnižší m_z vykazuje varianta diagonálního rozmístění o velikosti 2,6 cm, tedy o 1,11 cm větší než při rovnoměrném rozmístění. Nejhorších výsledků dosahuje v poloze horizontálního rozmístění se shlukovanými body, $m_{x,y}$ dosahuje hodnoty téměř 748 cm, varianta bez shlukových bodů také dosahuje velké nepřesnosti 535 cm. Největší nepřesností ve výškové souřadnici se vyznačuje varianta s rozmístěním vertikálně na straně v hodnotě 771 cm. Směrodatné odchylky potvrzují výsledky středních chyb ve všech souřadnicích.

Přesnost varianty vertikálně na straně byla hodnocena chybovými úsečkami (Obr. 6.19), hodnoty polohových odchylek byly vynásobeny 20krát. Kontrolní body byly rozděleny do 4 skupin podle vzdálenosti od vřícovacích bodů, tyto skupiny jsou značeny římskou číslicí I. až IV. Pro každou skupinu byly vypočítány hodnoty $m_{x,y}$ a m_z . Skupina I. obsahuje kontrolní body, které jsou umístěny nejbližší k bodům vřícovacím a hodnoty $m_{x,y}$ a m_z jsou uvedeny tučným písmem. Od těchto hodnot byly pro ostatní skupiny uvedeny jejich násobky, lze tak zřetelně získat informace o vývoji narůstání chyb se vzdáleností od vřícovacích bodů. Následně byly hodnoty středních chyb vyneseny do liniové grafu. Z výsledků vyplývá, že $m_{x,y}$ se oproti m_z tolik nezhoršovala, její nárůst byl 4,4krát násobný v nejbližší skupině oproti výchozí skupině I. Lze si také povšimnout, že polohové odchylky směřují směrem k vřícovacím bodům. To potvrzuje i fakt, že m_x pro celou variantu nabývá hodnoty 73,38 cm, kdežto pro osu Y pouze 23,32 cm. Postavení souřadnicových os není zcela souhlasné se směrem letu, ale i přesto je závislost znatelná. Nárůst m_z je podstatně významnější oproti $m_{x,y}$. Hodnota ve skupině IV. je 12,5krát větší oproti skupině I., lze si toho povšimnout i v grafu, kdy především od skupiny II. je zaznamenán prudký vzestup chyby. Výškové odchylky jsou téměř pro celé území záporné, lze si však povšimnout, že směrem na druhou stranu od GCPs odchylky nabývají chyb kladných.

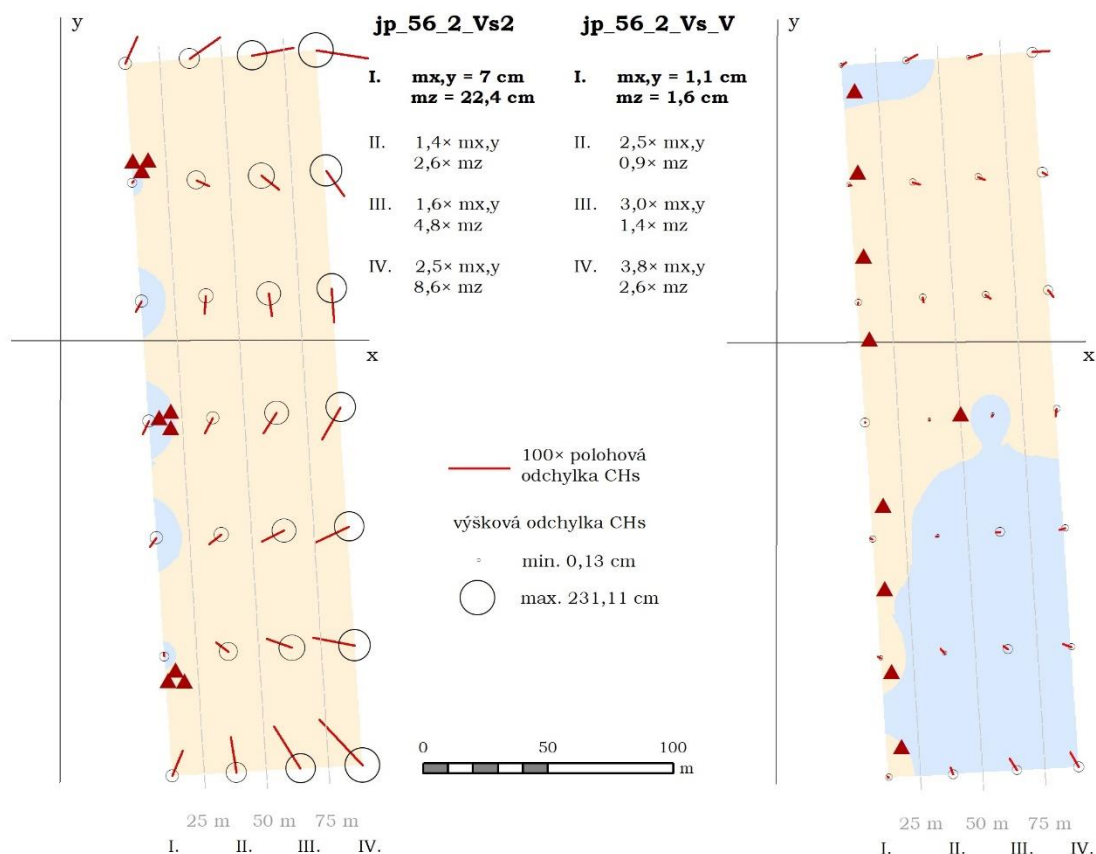


Obr. 6.19 Vizualizace přesností varianty jp_56_2_Vs.

Autor se domnívá, že důvodem takto špatných výsledných přesností ve vertikálním rozmístění na straně je lineární závislost všech 9 vřícovacích bodů. Pro ověření této domněnky byl prostřední vřícovací bod přesunut do středu zájmového území a znovu bylo vypočítáno svazkové vyrovnání bloku. Tato varianta je označována pod stejným názvem jako její výchozí varianta s přídomkem _V a výsledky lze najít taktéž v Příloze 1. Výsledná vizualizace je vyobrazena v pravé části Obr. 6.20. Pokles hodnot středních chyb ve skupině I. je opravdu významný oproti původní variantě. Parametr $m_{x,y}$ nově dosahuje 1,1 cm (původně 27,6 cm) a m_z je 1,6 cm (původně 100 cm). Taktéž nárůst chyb ve skupině IV. není tolik znatelný, pro $m_{x,y}$ činí 3,8násobek a pro m_z 2,6násobek. Dle orientace chybových úseček si lze povšimnout, že směr odchylek není jednotvárný a nesměřují vždy ke GCPs. Naopak je zaznamenán jiný trend, a to, že v kladných hodnotách výškových odchylek směřují polohové odchylky od GCPs a v záporných hodnotách výškových odchylek je tento trend opačný, tedy polohové odchylky směřují ke GCPs, přičemž oblast kladných a záporných výškových odchylek se mění na úrovni přemístěného jednoho vřícovacího bodu do středu zájmové plochy. Také chyby pro jednotlivé souřadnice jsou si podobné, tedy že chyby nenabývaly pro jednu osu výrazně větších hodnot oproti druhé ose, jak tomu bylo u výchozí varianty.

V levé části Obr. 6.20 jsou znázorněny výsledky varianty vertikálně uprostřed se shlukovanými GCPs do skupin. Hodnoty středních chyb oproti původní variantě bez shlukovaných bodů jsou výrazně nižší, $m_{x,y}$ je 7 cm (oproti 27,6 cm) a m_z 22,4 cm (oproti 100 cm). Autor se domnívá, že důvodem je, že shlukované skupiny bodů částečně narušily míru lineární závislosti. Současně nárůst chyb v jednotlivých vzdálenostních skupinách od GCPs není tak vysoký, nicméně chyby nejsou zanedbatelné. Hodnoty m_z jsou téměř

po celé zájmové ploše v kladných hodnotách, zřejmě je, že na druhou stranu od GCPs chyby narůstají v záporných hodnotách. Tento trend je zaznamenán i v původní variantě, avšak s obrácenými hodnotami. Naopak ve směru polohových odchylek je vyobrazen obdobný trend jako ve variantě s přídomkem _V, a to takový že v jedné části území jsou polohové odchylky směrem od GCPs a v druhé části směrem ke GCPs. Původní domněnka, že je to způsobeno kladnými a zápornými hodnotami výškových odchylek, byla vyvrácena a autor se přiklání k tomu, že pravým důvodem je přechod souřadnicové osy Y lokálního souřadnicového systému, jehož střed je dán umístěním totální stanice v terénu, do záporných hodnot.

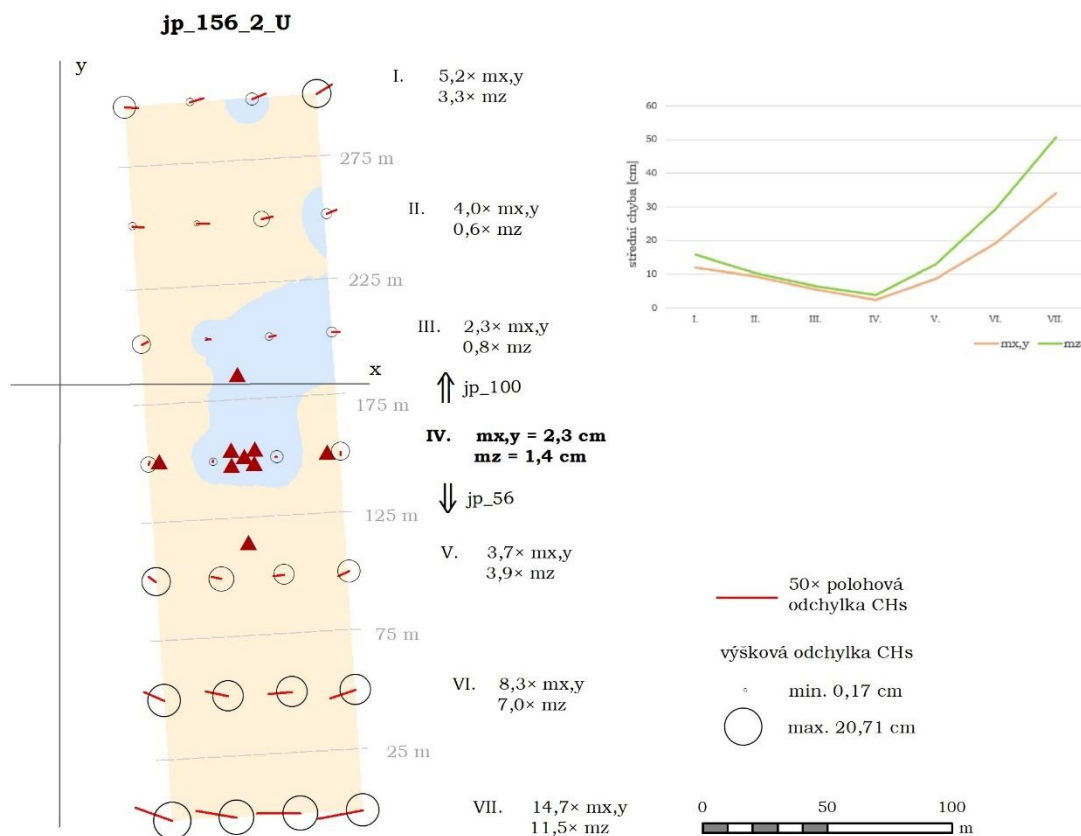


Obr. 6.20 Vizualizace přesností varianty jp_56_2_Vs2 a jp_56_2_Vs_V.

Následně byla testována sada jp_100 s nižším prostorovým rozlišením. Nejméně ovlivněné výsledky nerovnoměrným rozmístěním jsou zaznamenány ve variantě diagonálně, kde $m_{x,y}$ je 2,18 cm (oproti rovnoměrnému rozmístění varianty jp_100_R je o 0,57 cm větší). Varianty vertikálně uprostřed a vertikálně na straně se projeví také vcelku nízkými hodnotami $m_{x,y}$ (2,34 a 2,87 cm). Nejnižšími hodnotami m_z se vyznačuje varianta diagonálně se shlukovanými body a činí 8,54 cm (o 6,81 cm vyšší než u rovnoměrného rozmístění). Na základě této hodnoty vyplývá, že varianty nerovnoměrného rozmístění jsou především zásadně ovlivněny ve výpočtu výškových souřadnic. Nejhorších výsledků bylo dosaženo při horizontálním umístěním, $m_{x,y}$ je 192 cm a m_z 158 cm ve formě se shlukovanými body. Hodnoty s_x a s_y odpovídají výsledkům středních chyb a nejmenší variabilita s_z je ve variantě vertikálně na straně se shlukovanými body, nicméně její m_z je větší o 0,04 cm oproti nejlepší m_z v diagonálním rozmístěním.

V sadě jp_156, která je složena z předchozích dvou sad, je zaznamenaná nejmenší hodnota $m_{x,y}$ 2,20 cm pro variantu vertikálně uprostřed se shlukovanými body a oproti rovnoměrnému rozmístění varianty jp_156_2_R je vyšší o 0,76 cm. Nejnižší m_z je vykázána taktéž ve variantě vertikálně uprostřed, ale ve formě neshlukovaných bodů do skupin, její hodnota činí 3,27 cm a je o 0,83 cm vyšší oproti rovnoměrnému rozmístění. Varianta horizontálního rozmístění se shlukovanými body má nejhorší výsledky ve všech souřadnicích, polohová $m_{x,y}$ dosahuje 147 cm a výšková m_z 218 cm. Výsledky směrodatných odchylek korespondují se středními chybami v Y a Z souřadnici. V souřadnici X má nejmenší variabilitu strategie vertikálně uprostřed se shlukovanými body.

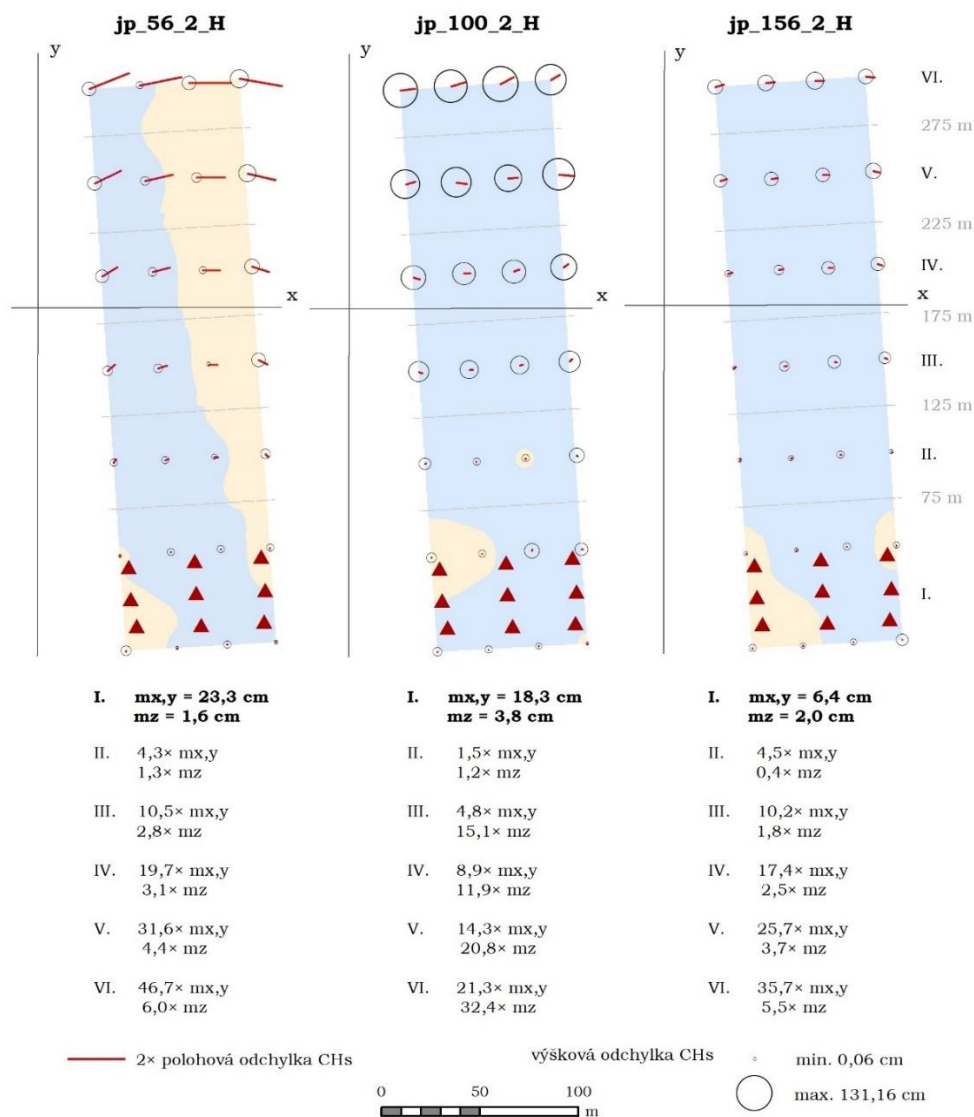
Vizualizace chybových úseček byla vytvořena pro variantu uprostřed (Obr. 6.21). Kontrolní body byly rozděleny do 7 skupin značených I. až VII., skupina IV. se nachází uprostřed území a dochází zde ke spojení snímků ze sad jp_56 a jp_100. Současně je v této skupině umístěna většina vlicovacích bodů, a proto se stává výchozí skupinou oproti které budou hodnoceny skupiny zbývající. Území, ve kterém jsou obsaženy skupiny I. až III., je vytvořeno ze sady jp_100 s nižším prostorovým rozlišením a území se skupinami V. až VII., je vytvořeno ze sady jp_56 s vyšším prostorovým rozlišením. Lze tedy snadno porovnat vývoj chyb v těchto dvou částech. Na první pohled je zřetelné, že menší nepřesnosti jsou vykázány ve skupinách I. až III. Hodnoty $m_{x,y}$ nabývají maximálně 5,2násobku ve skupině III. oproti výchozí skupině I., směr odchylek je výraznější v ose X a je znatelný jednotný směr. Hodnota m_z vykázala ve skupině III. zhoršení o 3,3násobek výchozí chyby. Výrazněji horší přesnosti vykazují skupiny V. až VII., maximální hodnota $m_{x,y}$ dosahuje 14,7 násobku a m_z 11,5násobku ve skupině VII. oproti skupině IV. Směr polohových odchylek je také výraznější v ose X, ale směřují opačným směrem než u skupin I. až III.



Obr. 6.21 Vizualizace přesností varianty jp_156_2_U.

Dále byly zhodnoceny sady vzájemně. Varianta rovnoměrného rozmístění potvrdila výsledky ze skupiny strategií 1 zabývající se počtem vřícovacích bodů, tedy že sada jp_56 vykazuje nejlepší výsledky $m_{x,y}$, poté následuje sada jp_156 a největší polohovou nepřesnost má sada jp_100 s nejmenším prostorovým rozlišením. I hodnoty m_z korespondují s výsledky strategie 1, tedy nejmenších hodnot dosáhla sada jp_56, následuje jp_100 a nejméně přesná je sada jp_156. Tento trend nebyl prokázán pro varianty s nerovnoměrným rozmístěním bodů. V těchto případech obecně nejlepších výsledků dosahovala sada jp_156, následovala sada jp_100 a jako poslední sada jp_56.

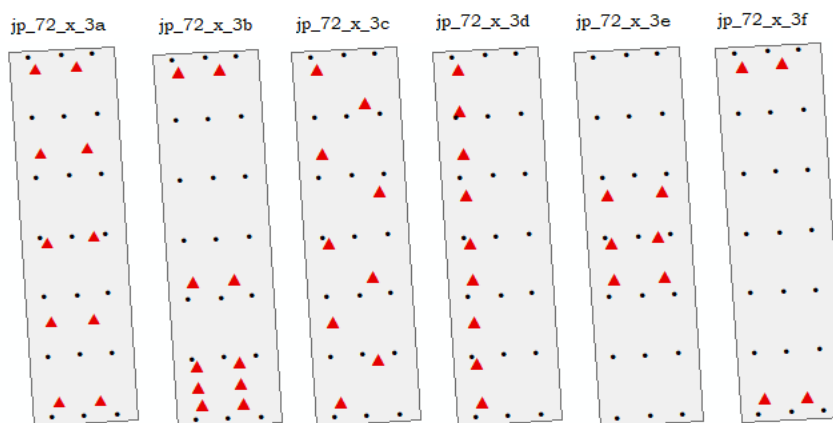
Z výsledků nelze obecně určit míru nepřesností pro jednotlivé varianty, protože přesnosti se měnily napříč sadami. Obecně nejlepších výsledků bylo dosaženo při variantách vertikálně uprostřed a diagonálně. Nutno však dodat, že nikdy nebylo dosaženo lepších výsledků než při užití pouhých pěti vřícovacích bodů s rovnoměrným rozmístěním. Nejhorší výsledky jsou zaznamenány pro variantu horizontální rozmístění nebo jejich obdoby se shlukovanými body. Varianta horizontálního rozmístění byla vizualizována chybovými úsečkami (Obr. 6.22). Zájmové území bylo rozděleno do sedmi skupin I. až VII., přičemž skupina I. udává výchozí hodnoty chyb. Největší chyby $m_{x,y}$ jsou zaznamenány v sadě jp_56, jejich hodnota se v nejdlejších částech zvětšila 46,7násobně. V sadě jp_100 je zase zaznamenáno největší zhoršení m_z o 32,4násobek.



Obr. 6.22 Vizualizace přesností varianty jp_xx_2_H.

Strategie 3

Strategie zabývající se problematikou snímkování liniových objektů byla testována sadami jp_72_3 a jp_72_1. Celkem bylo pro každou sadu testováno šest variant, ve kterých se počet použitých GCPs pohyboval od 4 do 10 bodů (Obr. 6. 23). Hodnocení proběhlo prostřednictvím fixní sady 21 kontrolních bodů. Výsledky lze dohledat v Příloze 1 pod označením strategií jp_72_x_3y, kde x značí sadu se třemi nebo s jednou řadou snímků a y variantu rozmístění GCPs značenou písmenem a až f.



Obr. 6.23 Rozmístění bodů ve variantách strategií jp_72.

Výsledky jsou uvedeny v Tab. 6.8. Nejlepším řešením s nejnižší $m_{x,y}$ je varianta 3a v sadě jp_72_3 s rovnoměrným rozmístěním bodů po obou stranách, $m_{x,y}$ dosáhla hodnoty 1,95 cm ($m_{x,y}$ pro sadu jp_72_1_3a je o 1,91 cm větší). V sadě jp_72_1 dosáhla nejlepší $m_{x,y}$ hodnoty (2,53 cm) varianta 3d, současně je to jediný případ, kdy sada s jednou řadou vykázala lepší výsledky $m_{x,y}$ než sada se třemi řadami. Varianta 3d má GCPs umístěny pouze na jedné straně podél liniové objektu. Autor se domnívá, že lepší výsledek varianty 3d v sadě s jednou řadou zapříčinila absence příčných překryvů, vyrovnání v tomto směru probíhalo pouze na úrovni jednoho snímku, nikoliv třech jak tomu je u sady jp_72_3, a tím nevznikaly tak velké nepřesnosti v místech odlehlých od vlíčovacích bodů. Nejlepším výsledkem m_z je 1,05 cm ve variantě jp_72_3_3b, pro sadu jp_72_1 je nejnižší m_z vykázána pro variantu 3a v hodnotě 3,72 cm.

Nejhorších výsledků $m_{x,y}$ bylo dosaženo ve variantě jp_71_1_3e a pro m_z ve variantě jp_72_1_3f. V těchto dvou variantách byly obecně horší přesnosti než v ostatních variantách. Příčinou pro sadu 3e je nerovnoměrné rozmístění s absencí GCPs v krajích území, naopak v sadě 3f jsou sice GCPs umístěny ve všech čtyřech rozích, ale v jiných částech nejsou body žádné. Zajímavé je, že varianta 3f dosáhla lepších $m_{x,y}$ výsledků v sadě lp_72_3 než již zmíněná varianta 3d. Z toho vyplývá, že nerovnoměrné rozmístění vlíčovacích bodů má větší vliv na zhoršení výsledků než užití nízkého počtu bodů s rovnoměrným rozmístěním.

Tab. 6.8 Výsledky variant strategií jp_72

Strategie	GCPs [počet]	CHs [počet]	$m_{x,y}$ [cm]	m_z [cm]	s_x [cm]	s_y [cm]	s_z [cm]
jp_72_3_3a	10	21	1.9516	1.0676	1.7534	2.6784	2.2492
jp_72_1_3a	10	21	3.8659	3.7218	1.7178	2.4525	2.5060
jp_72_3_3b	10	21	2.2575	1.0508	1.1368	1.9432	0.9058
jp_72_1_3b	10	21	4.1322	3.7234	2.3257	3.2351	2.7095
jp_72_3_3c	9	21	2.4632	1.1091	0.9074	2.2359	1.0002
jp_72_1_3c	9	21	4.4618	4.0132	2.9791	3.1532	3.1511
jp_72_3_3d	9	21	9.1210	62.9297	2.0138	6.4745	44.0718
jp_72_1_3d	9	21	2.5268	11.8526	1.6317	0.7780	8.4306
jp_72_3_3e	6	21	11.3595	35.7740	5.1898	6.9826	24.6206
jp_72_1_3e	6	21	16.3532	81.9220	9.5992	8.7896	55.4935
jp_72_3_3f	4	21	5.2968	185.0790	2.0467	4.2191	128.1138
jp_72_1_3f	4	21	11.9238	147.0180	4.1646	8.4724	99.5512

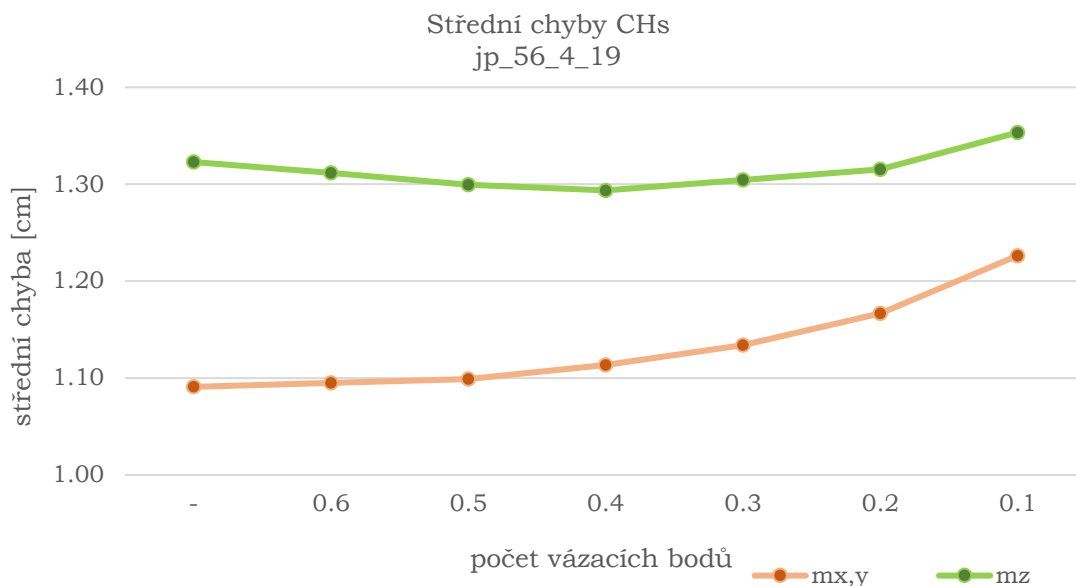
Strategie 4

Sady jp_56, jp_100 a jp_156 byly podrobeny testování hodnotící vliv počtu vázacích bodů na přesnost výsledného svazkového vyrovnání bloku. Byly vybrány varianty s 19 GCPs a postupně byly filtrovány vázací body na základě velikosti chyby reprojekce jednotlivých vázacích bodů, následně byly vypočítány střední chyby pro každou úroveň a výsledky úrovní byly vzájemně porovnávány. Celkem bylo testováno 6 úrovní filtrace s postupným snižováním vázacích bodů. Hodnoty výsledných středních chyb a další parametry lze nalézt v Příloze 2 prostřednictvím označení strategií jp_xx_4_18_yy, kde xx odpovídá sadě (56, 100 nebo 156) a yy levelu filtrace, pokud se jedná o výchozí sadu, tento údaj uveden není.

Přehledová Tab. 6.9 uvádí počty vázacích bodů v levelech pro sadu jp_56 a Obr. 6.24 znázorňuje vývoj $m_{x,y}$ a m_z . Filtrace vázacích bodů nepřinesla žádné polohové zlepšení přesnosti, i přestože pro osu X se level 0.5 vyznačil jako nejlepším řešením. Přesnost výškové souřadnice stoupala až do levelu 0.4, ve kterém je ponecháno 87 % původních bodů. Nejnižší celková střední chyba je dosažena v levelu 0.5, ve kterém je obsaženo 94 % původních bodů a na jeden snímek připadá průměrně 1 375 bodů.

Tab. 6.9 Počet vázacích bodů ve variantách jp_56_4_19

Level filtrace TS	-	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
Počet TS	189 417	184 814	177 352	164 402	142 580	108 503	59 014
Počet TS/snímek	1 468	1 433	1 375	1 274	1 105	841	457
% původních TS	100	98	94	87	75	57	31

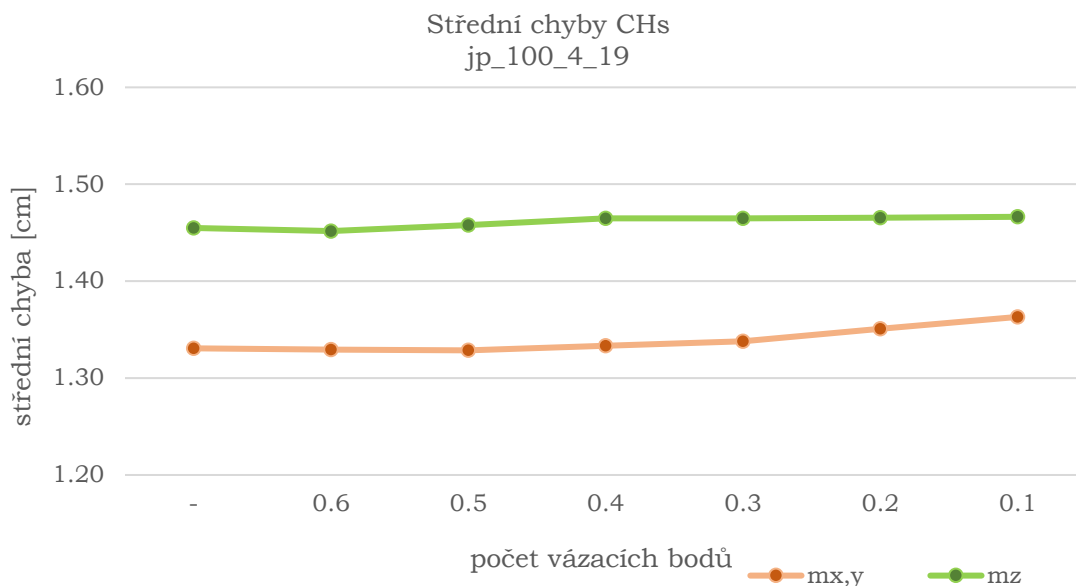


Obr. 6.26 Střední chyby variant strategií jp_56_4_19.

Další testovanou sadou je jp_100, výsledky jsou opět představeny v Tab. 6.10 a Obr. 6.25. Nejnižší $m_{x,y}$ je zaznamenána v levelu 0.5, ve kterém je odfiltrováno 90 % bodů, přičemž k tomuto výsledku přispělo zlepšení přesnosti v ose Y, pro souřadnici X nebylo zaznamenáno žádné zlepšení při snížení počtu vázacích bodů. Nejlepším výsledkem m_z a současně m_t bylo dosaženo filtrací levelu 0.6, při které je ponecháno 96 % bodů a na jeden snímek připadá celkem 1 460 bodů.

Tab. 6.10 Počet vázacích bodů ve variantách jp_100_4_19

Level filtrace TS	-	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
Počet TS	65 454	62 984	59 867	54 668	46 512	34 495	18 307
Počet TS/snímek	1 596	1 536	1 460	1 333	1 134	841	447
% původních TS	100	96	91	84	71	53	28

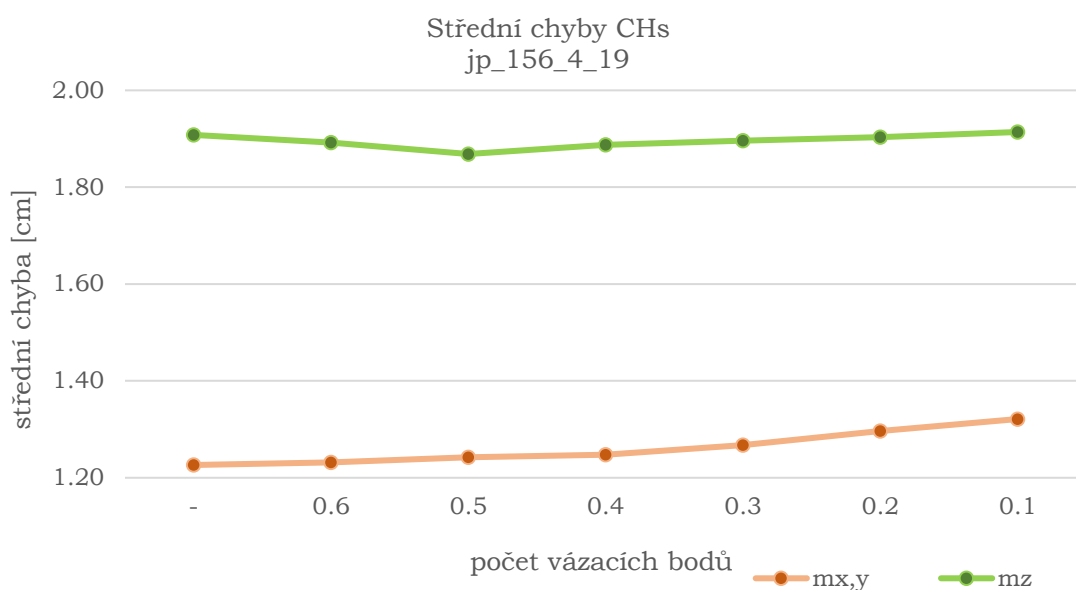


Obr. 6.25 Střední chyby variant strategií jp_100_4_19.

Poslední testovanou sadou je jp_156. Výsledky jsou zobrazeny v Tab. 6.11 a Obr. 6.26. Nejnižší Zlepšení přesnosti v poloze nenastalo v žádné úrovni filtrace, ve výškové souřadnici bylo dosaženo největší přesnosti v levelu 0.5, při kterém zůstalo 93 % původních bodů, přičemž na jednom snímku je průměrně 1 424 bodů. Současně tato úroveň filtrace vykazala nejlepší hodnoty m_t .

Tab. 6.11 Počet vázacích bodů ve variantách jp_156_4_19

Level filtrace TS	-	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
Počet TS	131 570	128 006	122 485	113 198	97 982	74 353	40 198
Počet TS/snímek	1 530	1 488	1 424	1 316	1 139	865	467
% původních TS	100	97	93	86	74	57	31



Obr. 6.26 Střední chyby variant strategií jp_156_4_19.

7 VÝSLEDKY

7.1 Strategie 1

Vliv počtu vřícovacích bodů na výsledek svazkového vyrovnání bloku byl hodnocen na základě testování šesti datových sad, z toho jedna byla experimentální. V rámci experimentální sady bylo hodnoceno osm strategií, ve kterých se počet GCPs pohyboval od 3 do 24, prostřednictvím fixní sady 44 kontrolních bodů. Nejlepších přesností $m_{x,y}$ bylo dosaženo při užití 18 bodů a m_z při 9 bodech.

Následovalo testování terénních dat. Nejdříve proběhlo hodnocení dvou sad lp_49 a lp_81 s různými prostorovými rozlišeními získaných UAV snímkováním na louce v Litovelském Pomoraví. V rámci každé sady bylo zkoumáno osm variant s minimálně 4 a maximálně s 32 GCPs. Hodnocení proběhlo proměnlivou sadou kontrolních bodů, jejichž počet se pohyboval mezi 10 a 38. Z výsledků vyplynulo, že v obou sadách je znatelný trend zlepšování se hodnot $m_{x,y}$ do varianty s 18 body a poté nastává zhoršení. Současně je zaznamenán trend neustále zlepšující se přesnosti m_z s přibývajícimi vřícovacími body. Obecně lepších výsledků dosahovala sada lp_49 s větším prostorovým rozlišením. Nejnižší dosaženou hodnotou $m_{x,y}$ je 1,12 cm a v sadě lp_81 1,17 cm. Výraznější rozdíly jsou patrné v parametru m_z , nejlepší pro sadu lp_49 je výsledek 1,42 cm a pro sadu lp_81 výsledek 2,46 cm.

Dále byly testovány tři sady s různými prostorovými rozlišeními, které byly získány UAV snímkováním na louce v blízkosti jezera Poděbrady. Jedná se o sady jp_56, jp_100 a sadu jp_156, která je vytvořená kombinací dvou předchozích. V rámci každé sady bylo hodnoceno 10 variant rovnoměrného rozmístění 4 až 27 GCPs prostřednictvím fixní sady 28 CHs. Nejlepších výsledků $m_{x,y}$ bylo dosaženo při 23 GCPs (pro jp_56) a při 19 (pro jp_100 a jp_156), obdobně pro m_z při 27 bodech (pro jp_56) a při 23 (pro jp_100 a jp_156). Srovnáním sad mezi sebou lze určit, že sada s největším prostorovým rozlišením jp_56 dosahovala obecně nejlepších výsledků. V hodnotách $m_{x,y}$ druhými nejlepšími výsledky disponovala sada jp_156, naopak v parametru m_z byla přesnější datová sada jp_100. Pro srovnání lze uvést, že nejnižší $m_{x,y}$ chybě (1,33 cm) sady jp_100 s 19 body odpovídá v sadě jp_56 varianta s 8 body (1,33 cm) a v sadě jp_156 varianta s 11 body (1,31 cm). Obdobně lze říci, že nejlepší m_z v sadě jp_156 ve variantě s 23 body (1,84 cm) odpovídá v sadě jp_100 varianta s 6 body (1,85 cm) a v sadě jp_56 byla nejhorsí m_z o velikosti 1,62 cm pro strategii s 5 body.

Závěrem lze konstatovat, že hypotézy založené na hodnocení experimentálních dat ne zcela odpovídají výsledkům testování terénních dat. Hypotézu vyvrací výsledky přesností pro souřadnici Z, nicméně nejlepší přesnost $m_{x,y}$ při užití 18 vřícovacích bodů byla víceméně potvrzena. Na základě výsledků, autor stanovuje minimální počet GCPs na 5 bodů pro vznik kvalitních fotogrammetrických řešení. Využití nižšího počtu bodů vykazovalo vysoké chyby ve výškové souřadnici. Nejlepších m_z hodnot bylo dosaženo přibližně při využití zhruba 25 GCPs. Průměrný rozdíl zlepšení m_z přesností mezi variantami s 5 a 18 GCPs je 0,65 cm, pro $m_{x,y}$ platí zlepšení zhruba 0,35 cm. Obecně lepších přesností dosahují sady s větším prostorovým rozlišením, i přestože v dané sadě jsou nejlepší přesnosti vykážány pro varianty s vyšším počtem GCPs oproti sadě s nižším prostorovým rozlišením.

7.2 Strategie 2

Vliv nerovnoměrného rozmístění vřícovacích bodů byl testován totožnými sadami jako u předchozí strategie. Experimentální sada byla podrobena testování čtyřmi variantami rozmístění čtyřech vřícovacích bodů, a to uprostřed, horizontálně na straně, vertikálně uprostřed a diagonálně. Výsledky ukázaly, že nejvíce je ovlivněna varianta s diagonálním rozmístěním a nejméně s vřícovacími body pouze uprostřed.

Nicméně již první výsledky terénních dat, které byly pořízeny na louce v Litovelském Pomoraví, vyvrátily tyto hypotézy. Ke zkoumaným variantám přibýlo rozmístění vertikálně na straně. V obou datových sadách dosahovala varianta vertikálně uprostřed nejnižších $m_{x,y}$ chyb. Při srovnání výsledků s variantami s rovnoměrným rozmístěním a souhlasným počtem GCPs sada s větším prostorovým rozlišením lp_49 vykazovala zhoršení o 1,13násobek a sada s nižším prostorovým rozlišením lp_81 o 2,75násobek. Ve výškové ose byly nejméně výsledky ovlivněny ve variantě vertikálně na straně pro sadu lp_49 a její hodnota byla zvětšena 1,95násobně. Obecně horších přesností m_z dosahovala sada lp_81, její nejnižší hodnota byla dosažena u varianty diagonálně se zhoršením o 2,56násobek. Nejhorší výsledky jednoznačně představuje varianta s horizontálním umístěním, kde chyby dosahují řádů desítek centimetrů.

Zkoumané varianty byly rozšířeny o dalších pět v podobě shlukovaných skupin bodů po třech rozmístěných dle výše zmíněných variant. Celkem byly testovány tři datové sady, které vznikly UAV snímáním na louce u jezera Poděbrady, a to sada jp_56 s největším prostorovým rozlišením, sada jp_100 s nejmenším prostorovým rozlišením a sada jp_156, která byla složena kombinací poloviny snímků sady jp_56 s polovinou snímků ze sady jp_100. Obecně nejlepších výsledků dosáhly varianty vertikálně uprostřed a diagonálně. Například v sadě jp_156 bylo dosaženo m_t 3,27 u varianty vertikálně uprostřed (to je pouze o 0,83 cm horší výsledek oproti rovnoměrnému rozmístění). Naopak jednoznačně nejhorší výsledky vykazovala varianta horizontálního rozmístění nebo její obdoba se shlukovanými body. Ve všech případech nepřesnosti dosahovaly stovek cm. Většina variant přinesla výrazně zhoršené přesnosti především pro výškovou souřadnici, pouze v sadě jp_156 bylo dosahováno ve více případech přesnosti okolo 3 cm, v ostatních sadách se jednalo spíše o desítky cm. Vyplývalo také, že varianty se shlukovanými body v drtivé většině přinášejí zhoršení přesností.

Z výsledků sad nelze jednoznačně určit obecnou míru zhoršení přesnosti u jednotlivých variant, protože výsledky napříč testovanými sadami se v některých případech razantně měnily. Například varianta vertikálně na straně vykazovala v sadě jp_56 enormní chyby $m_{x,y}$ v řádech desítek cm, nicméně ve zbývajících dvou sadách nepřesáhla 3 cm. Nicméně z výsledků vyplynulo, že obecně nejlepších výsledků je dosaženo v sadě jp_156, přestože je tato sada tvořena snímky o dvou různých hodnotách GSD. Autor se domnívá, že zde mohlo dojít ke kombinaci výhod obou sad – sada jp_56 umožnila přesněji určit střed bodů při jejich identifikaci a následně větší záběr snímků sady jp_100 a tedy jejich nižší celkový počet přispěl k tomu, že v odlehklých částech nenabývaly chyby tak enormních chyb.

Pro vybrané varianty byly vytvořeny vizualizace, které podávaly informace o velikosti a směrech odchylek. Kontrolní body byly řazeny do skupin podle vzdálenosti od vřícovacích bodů a byly pro ně počítány parametry hodnotící přesnosti. Tímto způsobem byl zaznamenán vývoj růstu nebo poklesu chyb. Například vizualizací varianty umístění bodů pouze uprostřed sady jp_156 bylo zjištěno, že v části, která je tvořena snímky jp_56 dosahují maximální $m_{x,y}$ chyby 14,7násobku a m_z chyby 11,5násobku, naopak na opačné straně, která je vytvořena ze snímků sady jp_156 jsou $m_{x,y}$ 5,2násobně

a m_z 3,3násobné. Výchozími hodnotami pro určení násobků byly zvoleny chyby $m_{x,y}$ a m_z kontrolních bodů, které byly v bezprostřední blízkosti vřícovacích bodů, v tomto případě se jednalo o $m_{x,y}$ 2,3 cm a m_z 1,4 cm.

Důležitým zjištěním je, že žádná z variant nerovnoměrného rozmístění nedosáhla vyšší přesnosti než při užití pouze 5 GCPs s rovnoměrným rozmístěním, proto autor doporučuje raději snížit počet vřícovacích bodů oproti umístění většího počtu bodů s nerovnoměrným rozmístěním.

7.3 Strategie 3

Strategie zabývající se problematikou snímkování liniových objektů byla testována čtyřmi sadami. Dvě sady byly složeny ze třech řad snímků, zbylé dvě sady byly složeny pouze z jedné řady snímků, přičemž tato jedna řada byla zároveň prostřední řadou v sadě složené ze třech řad. Hodnocení probíhalo po dvojicích, kterou vždy tvořila sada se třemi řadami a sada s jednou řadou. Jedna dvojice sad byla získána při simulovaném letu a druhá sada UAV snímkováním na louce v blízkosti jezera Poděbrady. Experimentální datové sady byly testovány čtyřmi variantami rozmístění vřícovacích bodů. Z výsledků vyplynulo, že je dosaženo přesnějších fotogrammetrických řešení při využití sad se třemi řadami oproti jedné řadě.

Datové sady pořízené v terénu byly testovány šesti variantami. Výsledky potvrdily, že je obecně dosahováno lepších výsledků při využití tří řad. Autor se domnívá, že k tomu přispívají příčné překryvy, ve kterých jsou umístěny vřícovací body. Ty jsou vstupními parametry do výpočtu svazkového vyrovnání bloku a ovlivňují výslednou kvalitu modelu. v jednom případě byla sada s jednou řadou přesnější, jednalo se o variantu s rozmístěním vřícovacích bodů pouze na jedné straně od liniového objektu. Obecně nejlepších přesností bylo dosaženo při rovnoměrném rozmístění bodů. Zároveň vyplynulo, že nerovnoměrné rozmístění vřícovacích bodů má větší vliv na zhoršení přesností výsledků než užití nízkého počtu bodů s rovnoměrným rozmístěním.

7.4 Strategie 4

Pro posouzení vlivu počtu vázacích bodů na přesnost svazkového vyrovnání bloku bylo testováno šest datových sad, z toho jedna experimentální, která vykazala nejlepší výsledek $m_{x,y}$ při neprovedení žádné filtrace, naopak hodnota m_z dosáhla nejnižší hodnoty při zachování 67 % původních bodů.

Poté bylo testováno pět sad získaných snímáním UAV modelem v terénu. Zde byly částečně potvrzeny výsledky vyplývající z testování experimentálních dat. Dle výsledků $m_{x,y}$ vyplynulo, že téměř v polovině případů nedocházelo vůbec k žádnému zlepšování přesností vlivem filtrace vázacích bodů s největšími chybami reprojekce. Často docházelo k tomu, že jedna ze souřadnic X a Y se mírně zlepšila, avšak současně ta druhá se při stejné úrovni filtrace zhoršila. Chyba $m_{x,y}$ vykazala větší přesnosti ve třech případech, a to při zachování 81 %, 91 % a 95 % původních bodů. Výrazněji kladný vliv filtrace vázacích bodů byl zaznamenán pro výškovou souřadnici Z. Téměř ve všech případech došlo ke zlepšení přesností, při kterých bylo zanecháno 80 až 96 % původních dat. Nejčastěji bylo lepších přesností dosaženo při filtraci levelu 0.5, která je i obecně doporučována. Od levelu 0.3 již nemělo žádný význam filtraci provádět.

Na základě výsledků této diplomové práce autor doporučuje využívat filtraci vázacích bodů, avšak je potřeba se ujistit, že chyby nabývají menších hodnot, v ideálním případě je provést postupnou filtraci do levelu 0.4 a poté porovnat výsledky a vybrat variantu s nejoptimálnějšími hodnotami přesností.

8 DISKUZE

Výsledky diplomové práce jsou založeny na terénním sběru dat, který má významný vliv na další postupy zpracování a výslednou kvalitu fotogrammetrických řešení. V průběhu získávání dat docházelo k běžným neduhům způsobených většinou praktickou nezkušeností autora práce, tyto obtíže byly vždy řešeny operativně. Nicméně nastala jedna významná překážka, která neumožnila sběr dat v jedné z lokalit, tento problém bude popsán níže. Při následném zpracovávání dat byly zjištěny pouze minimální neduhy, které byly při dalších zpracovatelských pokusech eliminovány a často vedly k novým námětům pro rozšíření testovaných strategií.

Tvorbu diplomové práce provázely i neúspěšné pokusy o získání dat. Vzhledem k požadavku na velikost, povrch a bezpečnost lokalit, na nichž bude prováděn let, byl po domluvě se zaměstnanci letiště Olomouc umožněn přístup do areálu letiště s možností využít volnou plochu pro provedení snímkového letu za účelem získání dat pro tvorbu této diplomové práce. Tato lokalita přinášela hned několik výhod. První z nich byla bezpečnost, neboť let byl korigován s ohledem na letecký provoz přímo na letišti, a tak před každým startem byl hlášen požadavek na řídicího letového provozu pro povolení k vzletu. Další výhodou byl povrch snímané plochy, který byl pokryt nízkou trávou, tudíž nedocházelo s problémy se zakrytím signalizovaných bodů porostem. Při prvním pokusu o vzlet po provedené stabilizaci a signalizaci bodů bylo zjištěno, že UAV model nemá povolení vzlétnout, bránila tomu databáze implementována do aplikace pro navigování a řízení letu, která zabráňuje užívat UAV modely na zakázaných místech. V této databázi bylo i letiště Olomouc označeno jako tzv. no flight zone. Pro umožnění letu bylo potřeba zaslat výrobci dokument od správce letiště opravňující provést snímkový let. Tento krok byl proveden vedoucím diplomové práce a lokalita byla zpřístupněna. Ve druhém pokusu o získání dat byly body znovu signalizovány, stabilizovány a zaměřeny totální stanicí a následně byl proveden snímkový let. Bohužel posléze bylo zjištěno, že exponované snímky nebyly ukládány, důvodem byla zřejmě nekompatibilita mezi dvěma aplikacemi, které byly využívány pro obsluhu dronu. Náhradní let byl realizován na louce v blízkosti jezera Poděbrady u Olomouce.

Slabinou v hodnocení přesnosti datových sad pořízených v CHKO Litovelské Pomoraví byla konfigurace bodů v terénu. Jejich signalizace, stabilizace a určení souřadnic přesnými geodetickými metodami a následná identifikace na jednotlivých snímcích byla provedena správně a lze je označit jako kvalitní podklad pro vznik přesného fotogrammetrického řešení. Nedostatek se projevil při hodnocení přesnosti fotogrammetrického řešení prostřednictvím kontrolních bodů. Nepravidelné rozmístění bodů v terénu způsobilo, že některé části území nemohly být dostatečně posouzeny. Nicméně jako větší slabinu autor vnímá, že počet kontrolních bodů nebyl fixní napříč variantami v testované strategii a hodnocení tedy nebylo v rámci strategie jednotné. Při snímkování na další lokalitě byla již zavedena fixní sada kontrolních bodů, při které navíc byly body rozmístěny pomocí GNSS přijímače. Tím byla zajištěna jejich pravidelnost a rovnoměrnost po celé ploše zájmu.

Nápadů na další náměty navazující na tuto práci má autor několik. V rámci práce byla posuzována problematika snímkování liniových objektů a výsledky vypovídají především o tom, jaký je rozdíl v přesnostech řešení při užití datových sad složených jen z jedné nebo ze tří řad. Autor považuje snímanou lokalitu v délce 300 m za nedostatečně velkou pro posuzování vlivu rozmístění a počtu vřícovacích bodů podél liniových objektů. Nicméně podrobnější testování, než které je provedeno, by již bylo nad rámec této diplomové práce.

Dalším autorovým námětem je posuzovat redukci vázacích bodů nad datovými sadami, které zachycující odlišné povrchy snímaných lokalit. V této práci obě snímané lokality byly pokryty vegetačním porostem bez dalších významných prvků v okolí. Přínosné by bylo porovnat tyto výsledky s výsledky zpracování snímků, které zaznamenávají scénérii jiného rázu (například průmyslového areálu).

Veškeré fotogrammetrické zpracování dat proběhlo v softwaru Agisoft PhotoScan Pro, který je komerčním produktem a do určité míry se tváří jako tzv. black box. Pro větší možnost zásahů do probíhajících výpočtů ze strany operátora by bylo přínosné zpracovat data i v jiném fotogrammetrickém softwaru, který umožňuje pokročilejší nastavení parametrů, a následně porovnat jejich výsledky. V případě, že by se jednalo o opensourcový software, by mohlo dojít ke snížení finančních nákladů, v případě že by tento software obstál při porovnávání přesností fotogrammetrických produktů se softwarem komerčním.

Navzdory určitým překážkám a nedostatkům provázející tvorbu této práce, které ale byly úspěšně řešeny, byly stanovené cíle diplomové práce naplněny. Autor si během tvorby osvojil řadu nových praktických dovedností, ať už při sběru dat, tak i při jejich zpracování. Výsledky pojednávají o problematice počtu vřícovacích bodů a jejich rozmístění na dané ploše, také je zkoumán vliv redukce vázacích bodů na výslednou přesnost fotogrammetrického zpracování. Vzhledem k současné intenzivní implementaci UAV technologií do rozličných aplikací, považuje autor tuto práci za přínosnou a současně předpokládá, že vzhledem k neustálému vývoji UAV technologií společně s vývojem nových algoritmů pro zpracování snímků, budou obdobná témata v budoucnosti intenzivně zkoumána.

9 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo matematicky a statisticky testovat strategie při různém rozmístění vličovacích bodů v zájmovém území s hlavním důrazem na přesnost výsledného svazkového vyrovnání. Práce byla rozdělena na dvě základní praktické části – první část probíhala nad experimentálními daty a druhá část byla aplikována na terénních datech získaných UAV snímkováním.

Celkem byly stanoveny čtyři základní strategie zabývající se počtem vličovacích bodů, rozmístěním vličovacích bodů, snímáním liniových objektů a počtem vázacích bodů. V rámci těchto strategií byly hodnoceny přesnosti výsledných fotogrammetrických řešení při snižování počtu vličovacích a vázacích bodů a při nerovnoměrném rozmístění vličovacích bodů, při kterých byl zkoumán vliv singularity a přesnosti v odlehlých částech snímků, kde není dostatečné množství vličovacích bodů.

První praktická část práce zahrnovala realizaci experimentu pro získání experimentálních dat při manuální simulaci letu. Datová sada s 25 snímky v pěti řadách byla pořízena neměřickou kamerou CANON EOS 500D s objektivem Voightländer 40 mm. Snímkovanou plochou byl milimetrový papír velikosti A3 pro jednoduché určení souřadnic vličovacích a kontrolních bodů odečítáním z pravidelné mřížky. Data byla následně fotogrammetricky zpracována v softwaru Agisoft PhotoScan, který pro výpočet prvků vnější a vnitřní orientace využívá algoritmy založené na metodě Semi-Global Matching. Pro hodnocení přesností výsledků bylo vybráno několik matematicko-statistických parametrů popisující přesnosti určení souřadnic kontrolních bodů ve výsledném modelu. Hodnotícími parametry byly odchylky (d), střední výběrové chyby (m) a směrodatné odchylky (s). Pro vybrané varianty byly vytvořeny vizualizace zobrazující chybové úsečky, které znázorňují velikost a směr polohových odchylek. Pro popis povahy výškových odchylek byl využit gradovaný znak a dvoubarevná plošná symbologie. Pro určení přesností v odlehlých částech snímků byly kontrolní body agregovány do skupin podle vzdálenosti od vličovacích bodů a pro tyto skupiny byly počítány hodnoty $m_{x,y}$ a m_z . Na základě výsledků testování experimentálních dat byly vysloveny základní hypotézy, které byly dále testovány na datech z UAV snímkování.

Druhá část práce byla rozsáhlejší a významnější, jejím účelem bylo testovat jednotlivé varianty strategií na terénních datech. Pro jejich sběr byly dodrženy postupy letecké fotogrammetrie, které zahrnují několik dílčích kroků. Prvním z nich byl výběr lokalit pro snímkování s ohledem na legislativu provozu UAV modelu, účel a s ohledem na bezpečnost v dané lokalitě. Vybranými lokalitami byla louka v CHKO Litovelské Pomoraví a louka v blízkosti jezera Poděbrady u Olomouce. Další krok zahrnoval kontrolu lokalit, zajištění potřebných povolení k letu, určení parametrů snímkování a tvorbu plánu letů, která byla provedena v softwaru Ground Station Pro. Následovalo provedení terénních prací, bylo potřeba signalizovat, stabilizovat a určit souřadnice vličovacích a kontrolních bodů v terénu. Signalizace byla provedena terčíky s bílo-černými segmenty pro snadné určení jejich středů, stabilizace byla zajištěna zatlučením hřebíků do středů terčíků, ke kterým se vztahovaly souřadnice určené tachymetrickou metodou pomocí totální robotické stanice Trimble S3. Celkem na obou lokalitách bylo umístěno v terénu 122 bodů. Provedení letu bylo realizováno prostřednictvím kvadrokoptéry Phantom 4 Pro od výrobce DJI a provedl jej vedoucí diplomové práce. Celkem bylo získáno 369 snímků o velikosti 5,5 GB v rámci pěti snímkových letů prováděných ve výšce v rozmezí 50 až 100 m a hodnotou GSD 1,5 cm až 3 cm. Podélné překryvy byly 80% a příčné v rozmezí od 65 do 70 %. Fotogrammetrickým zpracováním vzniklo celkem šest sad, které byly následně testovány 136 variantami ve čtyřech strategiích.

Vliv počtu vřícovacích bodů na výsledek svazkového vyrovnání bloku byl hodnocen na základě 54 variant testovaných v šesti datových sadách, ve kterých se počet vřícovacích bodů pohyboval od 3 do 32. Na základě výsledků, autor stanovuje minimální počet GCPs na 5 bodů pro vznik kvalitních fotogrammetrických řešení. Využití nižšího počtu bodů vykazovalo vysoké chyby ve výškové souřadnici. Z výsledků vyplývá, že nejčastěji $m_{x,y}$ chyby klesaly do zhruba 18 bodů a poté docházelo opět ke zhoršení přesnosti. Průměrný rozdíl zlepšení přesnosti mezi variantami s 5 a 18 GCPs je 0,35 cm. Nejlepších m_z hodnot bylo dosaženo přibližně při využití zhruba 25 GCPs. Průměrný rozdíl zlepšení přesnosti mezi variantami s 5 a 18 GCPs je 0,65 cm. Obecně lepších přesností dosahují sady s větším prostorovým rozlišením.

Vliv nerovnoměrného rozmístění vřícovacích bodů byl testován šesti datovými sadami s celkovým počtem 45 variant, ve kterých bylo využito 9 GCPs. Byly testovány sady s rozmístěním uprostřed, vertikálně na straně, vertikálně uprostřed, horizontálně na straně a diagonálně, navíc pro tři sady byly varianty rozšířeny o dalších pět v podobě shlukovaných skupin bodů po třech rozmístěných dle výše zmíněných variant. Obecně nejméně zhoršené přesnosti vlivem nerovnoměrného rozmístění GCPs vykazaly varianty vertikálně uprostřed a diagonálně, naopak největších nepřesností dosahovala varianta s horizontálním umístěním. Nicméně z výsledků jednotlivých sad nelze jednoznačně určit obecnou míru zhoršení přesnosti u jednotlivých variant, protože výsledky napříč testovanými sadami se měnily. Důležitým zjištěním je, že žádná z variant nerovnoměrného rozmístění nedosáhla vyšší přesnosti než při užití pouze 5 GCPs s rovnoměrným rozmístěním.

Strategie zabývající se problematikou snímkování liniových objektů byla testována 20 variantami ve čtyřech sadách. Dvě z nich byly složeny ze třech řad snímků, zbylé dvě sady byly složeny pouze z jedné řady snímků, přičemž tato jedna řada byla zároveň prostřední řadou v sadě složené ze třech řad. Výsledky ukázaly, že je obecně dosahováno lepších výsledků při využití tří řad. Autor se domnívá, že k tomu přispívají příčné překryvy, ve kterých jsou umístěny vřícovací body. Ty jsou vstupními parametry do výpočtu svazkového vyrovnání bloku a ovlivňují výslednou kvalitu modelu. Zároveň bylo potvrzeno tvrzení z testování předchozích strategií, že nerovnoměrné rozmístění vřícovacích bodů má větší vliv na zhoršení přesností výsledků než užití nízkého počtu bodů s rovnoměrným rozmístěním.

Pro posouzení vlivu počtu vázacích bodů na přesnost svazkového vyrovnání bloku bylo testováno šest datových sad, ve kterých byly postupně snižovány počty vázacích bodů, které byly vytvořeny při zarovnání snímků. Filtrace probíhala na základě určení chyb reprojekce pro každý vázací bod. Kladný vliv redukce vázacích bodů na přesnost byl zaznamenán pro výškovou souřadnici Z ve všech případech, a to při zachování 80 až 96 % původních bodů. Tento trend pro $m_{x,y}$ byl zaznamenán pouze v polovině testovaných variant. Nejčastěji bylo lepších přesností dosaženo při filtraci levelu 0.5. Na základě výsledků autor doporučuje provést filtraci do levelu 0.4 a poté vybrat variantu s neoptimálnějšími hodnotami přesností.

Stanovené cíle diplomové práce byly naplněny. Výsledkem je hodnocení popisující přesnost fotogrammetrických řešení při užití různého počtu a rozmístění vřícovacích bodů, dále také pojednává o možnostech zlepšení přesností modelovaných mračen prostřednictvím redukce vázacích bodů. Uvedené výsledky mohou být užitečnými pro subjekty, které se zabývají tvorbou fotogrammetrických produktů na základě UAV snímkování, při rozhodování o parametrech snímkování, počtech signalizovaných bodů v terénu a v neposlední řadě při zpracování dat.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

ABER, J. S. *Small-Format Aerial Photography: Principles, techniques and geoscience applications*. 1. Elsevier Science, 2010.

Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1.3 [online]. 2017 [cit. 2018-08-08]. Dostupné z: http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_3_en.pdf

Česká Republika. (2013). Doplněk X – Bezpilotní systémy. In: Hlava 3, ust. 3.1.9. předpisu. Dostupné z <https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>

DALL'ASTA, E. a R. RONCELLA. *A Comparison of Semiglobal and Local Dense Matching Algorithms for Surface Reconstruction* [online]. 2014 [cit. 2018-08-10]. Dostupné z: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-5/187/2014/isprsarchives-XL-5-187-2014.pdf>

DLESK, A. *Zpracování dat z RPAS* [online]. Praha, 2014 [cit. 2018-08-10]. Dostupné z: <http://gama.fsv.cvut.cz/~cepek/proj/bp/2014/adam-dlesk-bp-2014.pdf>. Bakalářská práce. ČVUT.

EISENBEISS, H. *UAV Photogrammetry*. Zürich: Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, 2009.

HAALA, N. a S. *High Density Aerial Image Matching* [online]. 2016 [cit. 2018-08-10]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.88.8897&rep=rep1&type=pdf>

HIRSCHMÜLLER, H. *Accurate and Efficient Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information* [online]. 2005 [cit. 2018-08-10]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.88.8897&rep=rep1&type=pdf>

HIRSCHMÜLLER, H. *Stereo processing by semiglobal matching and mutual information* [online]. 2008 [cit. 2018-08-10]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/phor.12063>

IRSCHARA, A., M. RUMPLER a kol. *Efficient and Globally Optimal Multi View Dense Matching for Aerial Images* [online]. 2012 [cit. 2018-08-10]. Dostupné z: https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/Institute/ICG/Images/team_fraundorfer/personal_pages/markus_rumpler/dense_isprs2012.pdf

KERNER, S., I. KAUFMAN a Y. RAIZMAN. *Role of tie-points distribution in aerial photography* [online]. 2016 [cit. 2018-08-10]. Dostupné z: http://www.visionmap.com/prdPics/files/485_ar_file.pdf

KOSKA, Brnonislav. *Cvičení č. 4 : Tachymetrie s TS – postup, výpočet, zpracování, podklad* [online]2003 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://k154.fsv.cvut.cz/~koska/publikace/soubory/Tachymetrie.pdf>

LIEW, Lee Hung, Yin Chai WANG a Wai Shiang CHEAH. *Evaluation of Control Points' Distribution on Distortions and Geometric Transformations for Aerial Images Rectification* [online]. 2012 [cit. 2018-08-01]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812026756>

MING, D. a Ch. HAIPENG. *Research on the Layout of Ground Control Points in Plain area 1:10000 DLG Production Using POS Technique* [online]. 2010 [cit. 2018-08-08]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5697386/>

MIRĀJOVSKÝ, J. *Bezpilotní systémy: Sběr dat a využití ve fotogrametrii*. UP. Olomouc, 2013. ISBN 978-80-244-3923-5.

MIRĀJOVSKÝ, J. *Fotogrammetrický přístup při sběru geodat pomocí bezpilotních leteckých zařízení*[online]. Olomouc, 2013 [cit. 2018-08-04]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/xnw5oj>. Disertační práce. Univerzita Palackého v Olomouci.

MUTLUOGLU, O., H. M. YILMAZ a M. YAKAR. *Investigation of effect of the number of ground control points and distribution on adjustment at WorldView-2 Stereo...* [online]. 2015 [cit. 2018-08-02]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/272148825_Investigation_of_effect_of_the_number_of_ground_control_points_and_distribution_on_adjustment_at_WorldView-2_Stereo_images

ONIGA, V. E., A. I. BREABAN a F. STATESCU. *Determining the Optimum Number of Ground Control Points for Obtaining High Precision Results Based on UAS Images* [online]. 2018 [cit. 2018-08-08]. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2504-3900/2/7/352/pdf>

PAVELKA, K. *Fotogrammetrie 1*. Praha: ČVUT, 2009. ISBN 978-80-01-04249-6.

PAVELKA, K. *Fotogrammetrie 2*. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04719-4.

PAVELKA, K. a J. HODAČ. *Fotogrammetrie 3: Digitální metody a laserové skenování*. Praha: ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03978-6.

PHANTOM 4 PRO/PRO+: User Manual [online]. 2016 [cit. 2018-08-08]. Dostupné z: https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_pro/Phantom+4+Pro+Pro+Plus+User+Manual+v1.0.pdf

PLZÁK, J. Moderní dokumentační metody archeologických faktů [online]. Plzeň, 2016 [cit. 2018-08-10]. Dostupné z: https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/28419/1/DP_J.Plzak_2016.pdf. Disertační práce. Západočeská univerzita.

REMONDINO, F., M. G. SPERA a E. NOCERINO. *State of the art in high density image matching* [online]. 2014 [cit. 2018-08-13]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/phor.12063>

SHAO, Z., N. YANG a kol. *A Multi-View Dense Point Cloud Generation Algorithm Based on Low-Altitude Remote Sensing Images* [online]. 2016 [cit. 2018-08-10]. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2072-4292/8/5/381/pdf>

ŠAFÁŘ, Václav. *Technologické postupy pro vybrané technologie mapování* [online]. Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, 2016 [cit. 2018-07-27]. Dostupné z: http://www.vugtk.cz/euradin/TB02CUZK002/DOC/Z-OT_TB02CUZK002_Technologicke_postupy.pdf. Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický.

ŠIMÍČEK, M. *Implementace metody Structure from Motion do UAV fotogrammetrie* [online]. Olomouc, 2014 [cit. 2018-08-10]. Dostupné z: https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/28419/1/DP_J.Plzak_2016.pdf. Diplomová práce. Univerzita Palackého.

TAHAR, K. N. *An Evaluation on Different Number of Ground Control Points in Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetric Block* [online]. 2013 [cit. 2018-08-04]. Dostupné z: <https://uitm.pure.elsevier.com/en/publications/an-evaluation-on-different-number-of-ground-control-points-in-unm>

Totální stanice Trimble S3: Technický popis [online]. 2010 [cit. 2018-08-08]. Dostupné z: <http://www.profigeo.info/down/trimble-s3.pdf>

WANG, J., Y. RAIZMAN, G. B. M. HEUVELINK, Ch. ZHOU a D. BRUS. *Effect of the sampling design of ground control points on the geometric correction of remotely sensed imagery* [online]. 2012 [cit. 2018-08-04]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243412000025>

WENTING, M., Y. RAIZMAN a W. GAO. *A Quantitative Evaluation Method of Ground Control Points for Remote Sensing Image Registration* [online]. 2014 [cit. 2018-08-02].

Dostupné z:

<https://pdfs.semanticscholar.org/f83c/4896a805f9d79a4ee95954b8109e51e6538a.pdf>

WESTOBY, M. J., J. BRASINGTON, N.F. GLASSER, M. J. HAMBREY a J. M. REYNOLDS. *'Structure-from-Motion' photogrammetry: a low-cost effective tool for geoscience applications* [online]. London, 2012 [cit. 2018-08-01]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/10184804.pdf>

ZACHARIÁŠ, J. [online]. Praha, 2015 [cit. 2018-08-10]. Dostupné z: <http://gama.fsv.cvut.cz/~cepek/proj/bp/2015/jan-zacharias-bp-2015.pdf>. Bakalářská práce. ČVUT.

ZHAO, W., L. YAN a Y. ZHANG. *Geometric-constrained multi-view image matching method based on semi-global optimization* [online]. 2017 [cit. 2018-08-10]. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10095020.2018.1441754>

ZIOBRO, J. *Integrated Sensor Orientation – Ground Control Points for a large-block aerotriangulation* [online]. 2012 [cit. 2018-08-10]. Dostupné z: http://bc.igik.edu.pl/Content/247/GI_2012_4.pdf

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Vázané přílohy:

- Příloha 1 Výsledky strategií 1, 2 a 3
Příloha 2 Výsledky strategie 4

Volné přílohy

- Příloha 3 Poster
Příloha 4 CD

Popis struktury CD

Adresář	Podadresář
Magisterske_Dny	-
Metadata	-
Text_Prace	-
Vstupni_Data	e
	jp
	lp
Vystupni_Data	excel
	reporty
Web	files
	img

Příloha 1

Strategie	GCPs [počet]	CHs [počet]	Střední chyby CHs [cm]					Směrodatné odchylky CHs [cm]			Popis
			X	Y	X,Y	Z	Total	X	Y	Z	
e_1_3	3	44	0.0213	0.0216	0.0303	0.0593	0.0666	0.0045	0.0047	0.0343	
e_1_4	4	44	0.0209	0.0208	0.0295	0.0579	0.0650	0.0043	0.0041	0.0319	
e_1_5	5	44	0.0208	0.0210	0.0296	0.0571	0.0643	0.0042	0.0042	0.0324	
e_1_6	6	44	0.0207	0.0215	0.0299	0.0566	0.0640	0.0043	0.0044	0.0316	
e_1_9	9	44	0.0207	0.0209	0.0295	0.0563	0.0635	0.0042	0.0042	0.0314	
e_1_12	12	44	0.0205	0.0201	0.0292	0.0572	0.0642	0.0042	0.0040	0.0340	
e_1_18	18	44	0.0202	0.0203	0.0286	0.0574	0.0641	0.0041	0.0041	0.0329	
e_1_24	24	44	0.0204	0.0202	0.0287	0.0588	0.0654	0.0038	0.0040	0.0319	
e_2_U	4	44	0.0209	0.0204	0.0292	0.0753	0.0808	0.0041	0.0041	0.0552	Uprostřed
e_2_Hs	4	44	0.0359	0.0502	0.0617	0.1858	0.1958	0.0113	0.0178	0.2003	Horizontálně na straně
e_2_Vu	4	44	0.0259	0.0252	0.0361	0.2708	0.2732	0.0066	0.0056	0.7277	Vertikálně uprostřed
e_2_D	4	44	0.0472	0.0717	0.0858	1.1546	1.1578	0.0194	0.0500	13.3305	Diagonálně
e_3_3a	4	20	0.0163	0.0121	0.0203	0.0454	0.0498	0.0019	0.0015	0.0199	uprostřed 3 řady
e_3_1a	4	20	0.0321	0.0203	0.0380	0.3946	0.3965	0.0072	0.0038	0.7031	uprostřed 1 řada
e_3_3b	4	20	0.0191	0.0189	0.0268	0.0554	0.0615	0.0031	0.0026	0.0289	na straně 3 řady
e_3_1b	4	20	0.0281	0.0746	0.0797	0.9469	0.9502	0.0065	0.0288	4.5071	na straně 1 řada
e_3_3c	4	20	0.0162	0.0155	0.0224	0.0255	0.0339	0.0020	0.0013	0.0051	střídavě 3 řady
e_3_1c	4	20	1.0592	1.0196	1.4702	0.1994	1.4837	0.6302	0.1546	0.3256	střídavě 1 řada
e_3_3d	4	20	0.0142	0.0134	0.0196	0.0306	0.0364	0.0020	0.0013	0.0073	v rozích 3 řady
e_3_1d	4	20	0.0251	0.0183	0.0311	0.2268	0.2289	0.0049	0.0027	0.4157	v rozích 1 řada
lp_49_1_4	4	38	1.1424	1.3067	1.7357	2.1273	2.7456	1.1034	1.1036	1.9882	
lp_49_1_5	5	37	1.1062	1.2251	1.6506	1.5015	2.2314	1.0546	0.9254	1.4271	
lp_49_1_6	6	36	0.9742	1.0009	1.3967	1.1881	1.8337	0.9719	0.9477	1.1840	
lp_49_1_9	9	33	0.8632	1.0191	1.3356	0.9424	1.6346	0.8486	0.9857	0.9417	
lp_49_1_12	12	30	0.8151	1.0208	1.3063	1.0689	1.6879	0.7723	0.9084	1.0831	
lp_49_1_18	18	24	0.7748	0.8087	1.1200	1.0436	1.5308	0.7558	0.7720	1.0435	
lp_49_1_24	24	18	0.8120	0.8741	1.1931	0.8898	1.4883	0.7433	0.8380	0.8757	
lp_49_1_32	32	10	0.7973	0.8797	1.1872	0.7902	1.4262	0.7415	0.8702	0.7900	
lp_81_1_4	4	38	2.4334	3.2932	4.0947	9.9582	10.7672	2.1556	2.8826	8.2860	

Strategie	GCPs [počet]	CHs [počet]	Střední chyby CHs [cm]					Směrodatné odchylky CHs [cm]			Popis
			X	Y	X,Y	Z	Total	X	Y	Z	
lp_81_1_5	5	37	1.1085	0.8719	1.4103	8.3320	8.4505	1.0898	0.8656	7.7522	
lp_81_1_6	6	36	1.1847	0.9522	1.5199	4.1326	4.4033	1.1289	0.9240	5.0144	
lp_81_1_9	9	33	0.9554	0.8947	1.3089	3.3764	3.6212	0.9270	0.8486	4.1457	
lp_81_1_12	12	30	0.8461	0.9488	1.2713	2.7504	3.0300	0.8281	0.7530	3.1948	
lp_81_1_18	18	24	0.8124	0.8441	1.1716	2.7180	2.9598	0.8106	0.8252	3.0607	
lp_81_1_24	24	18	0.8207	0.8910	1.2114	2.1381	2.4575	0.7977	0.8557	2.1333	
lp_81_1_32	32	10	1.0341	0.9235	1.3864	2.0349	2.4623	0.9975	0.8616	1.7720	
lp_49_2_U	9	33	6.5779	5.0031	8.2643	16.3821	18.3486	4.9403	3.5422	10.0289	Uprostřed
lp_49_2_Hs	9	33	25.4152	46.3008	52.8176	38.6363	65.4405	18.9013	32.2839	26.9262	Horizontálně na straně
lp_49_2_Vu	9	33	0.9077	1.2115	1.5138	2.3497	2.7951	0.8712	1.2114	2.3283	Vertikálně uprostřed
lp_49_2_D	9	33	1.4364	1.6455	2.1842	7.5643	7.8733	1.4316	1.6408	7.4682	Diagonálně
lp_49_2_Vs	9	33	1.0514	1.6179	1.9296	1.8421	2.6677	0.7846	1.1439	1.5812	Vertikálně na straně
lp_81_2_U	9	33	5.5463	9.0205	10.5891	35.8073	37.3402	4.8601	5.8823	21.7474	Uprostřed
lp_81_2_Hs	9	33	10.2856	29.7867	31.5126	86.5117	92.0724	9.4634	20.8096	59.1952	Horizontálně na straně
lp_81_2_Vu	9	33	2.3654	2.7083	3.5959	23.8521	24.1216	2.2011	2.6863	23.6223	Vertikálně uprostřed
lp_81_2_D	9	33	2.7553	3.0956	4.1442	8.7067	9.6427	1.9773	3.0946	8.6733	Diagonálně
lp_81_2_Vs	9	33	4.3082	3.5753	5.5985	28.9808	29.5166	4.2733	3.5043	14.7640	Vertikálně na straně
jp_56_1_4	4	28	1.1914	1.8203	2.1756	218.9540	218.9640	1.1376	1.7357	147.6449	
jp_56_1_5	5	28	1.1112	1.0400	1.5219	1.6154	2.2194	1.0677	1.0260	1.6032	
jp_56_1_6	6	28	0.9920	1.0459	1.4415	1.5977	2.1519	0.9891	1.0350	1.5960	
jp_56_1_8	8	28	0.9465	0.9360	1.3311	1.5547	2.0467	0.9464	0.9359	1.5443	
jp_56_1_11	11	28	0.9167	0.8484	1.2491	1.5293	1.9745	0.9119	0.8284	1.4467	
jp_56_1_14	14	28	0.7749	0.9996	1.2648	1.3212	1.8291	0.7334	0.9304	1.3070	
jp_56_1_17	17	28	0.8041	0.7409	1.0934	1.4120	1.7859	0.7981	0.7405	1.3846	
jp_56_1_19	19	28	0.7934	0.7488	1.0910	1.3231	1.7149	0.7891	0.7487	1.3156	
jp_56_1_23	23	28	0.6940	0.7869	1.0492	1.2604	1.6400	0.6927	0.7799	1.2484	
jp_56_1_27	27	28	0.6837	0.8192	1.0670	1.2115	1.6144	0.6798	0.7924	1.1957	
jp_100_1_4	4	28	1.0375	1.3735	1.7213	87.4080	87.4249	1.0307	1.2095	58.1567	
jp_100_1_5	5	28	0.9928	1.2326	1.5827	2.0603	2.5980	0.8130	1.2198	1.4715	
jp_100_1_6	6	28	0.8748	1.1885	1.4758	1.8528	2.3687	0.8676	1.1786	1.6386	
jp_100_1_8	8	28	0.9023	1.0724	1.4014	2.0562	2.4884	0.8897	1.0646	1.4961	

Strategie	GCPs [počet]	CHs [počet]	Střední chyby CHs [cm]					Směrodatné odchylky CHs [cm]			Popis
			X	Y	X,Y	Z	Total	X	Y	Z	
jp_100_1_11	11	28	0.8702	1.0827	1.3890	1.8363	2.3025	0.8314	1.0571	1.6664	
jp_100_1_14	14	28	0.8512	1.0398	1.3438	1.6921	2.1608	0.7860	1.0287	1.5120	
jp_100_1_17	17	28	0.8327	1.1116	1.3888	1.4807	2.0301	0.8121	1.1088	1.4692	
jp_100_1_19	19	28	0.8467	1.0267	1.3307	1.4550	1.9717	0.8209	1.0256	1.3992	
jp_100_1_23	23	28	0.8344	1.0831	1.3673	1.4224	1.9730	0.7813	1.0808	1.4144	
jp_100_1_27	27	28	0.8409	1.1091	1.3918	1.4753	2.0283	0.7959	1.1049	1.4456	
jp_156_1_4	4	28	1.2965	1.5557	2.0252	25.4639	25.5443	1.0365	1.2819	16.7288	
jp_156_1_5	5	28	0.7910	1.3153	1.5348	2.3344	2.7938	0.7908	1.1938	2.3229	
jp_156_1_6	6	28	0.9019	1.2148	1.5130	2.2493	2.7108	0.8733	1.2045	1.9709	
jp_156_1_8	8	28	0.8055	1.1032	1.3660	2.1386	2.5376	0.8040	1.0756	2.0561	
jp_156_1_11	11	28	0.8283	1.0092	1.3056	2.2575	2.6078	0.8144	0.9896	2.2572	
jp_156_1_14	14	28	0.7912	1.0142	1.2863	1.9336	2.3223	0.7659	1.0134	1.9270	
jp_156_1_17	17	28	0.7508	1.0260	1.2714	1.9133	2.2972	0.7416	1.0036	1.9131	
jp_156_1_19	19	28	0.7337	0.9827	1.2264	1.9080	2.2682	0.7233	0.9499	1.9080	
jp_156_1_23	23	28	0.7392	1.0094	1.2511	1.8396	2.2247	0.7133	0.9998	1.8395	
jp_156_1_27	27	28	0.7463	1.0085	1.2546	1.8402	2.2272	0.7229	1.0035	1.8397	
jp_56_2_R	9	28	0.9156	1.0529	1.3953	1.5520	2.0870	0.8228	1.0194	1.5257	Rovnoměrně
jp_56_2_U	9	28	26.6865	8.3341	27.9576	16.6417	32.5357	24.0414	8.3234	11.2924	Uprostřed
jp_56_2_H	9	28	515.8510	143.5660	535.4570	5.3149	535.4830	371.5922	137.4776	5.2392	Horizontálně na straně
jp_56_2_H2	9	28	725.6230	180.9830	747.8530	190.3090	771.6870	525.8485	180.9409	134.0950	Horizontálně na straně (shlukované)
jp_56_2_Vu	9	28	1.6281	1.2438	2.0488	16.1976	16.3267	1.6261	1.2352	16.1908	Vertikálně uprostřed
jp_56_2_Vu2	9	28	5.7563	7.3391	9.3272	100.7510	101.1820	5.7072	7.2567	100.3933	Vertikálně uprostřed (shlukované)
jp_56_2_D	9	28	2.7694	1.1371	2.9937	2.6602	4.0049	2.7507	1.1370	2.4589	Diagonálně
jp_56_2_D2	9	28	4.6909	2.5070	5.3188	6.7626	8.6036	4.6909	2.0824	6.6949	Diagonálně (shlukované)
jp_56_2_Vs	9	28	73.3753	23.3206	76.9921	771.3940	775.2270	53.4090	22.5955	501.5605	Vertikálně na straně
jp_56_2_Vs_v	9	28	2.5233	1.9535	3.1911	2.6647	4.1574				Vertikálně na straně
jp_56_2_Vs2	9	28	8.9703	8.5519	12.3936	118.4680	119.1150	8.8946	8.5441	76.6994	Vertikálně na straně (shlukované)
jp_100_2_R	9	28	0.9403	1.3110	1.6133	1.7292	2.3649	0.7404	1.2880	1.7155	Rovnoměrně
jp_100_2_U	9	28	62.8415	87.2858	107.5540	10.3928	108.0550	45.9514	88.8531	6.8612	Uprostřed
jp_100_2_H	9	28	182.0290	59.5605	191.5250	59.1703	200.4570	131.4363	54.3609	43.9496	Horizontálně na straně
jp_100_2_H2	9	28	181.5450	47.8589	187.7470	158.0870	245.4400	132.0287	47.8059	112.0175	Horizontálně na straně (shlukované)

Strategie	GCPs [počet]	CHs [počet]	Střední chyby CHs [cm]					Směrodatné odchylky CHs [cm]			Popis
			X	Y	X,Y	Z	Total	X	Y	Z	
jp_100_2_Vu	9	28	1.5172	1.7840	2.3419	21.2896	21.4181	1.5125	1.7775	21.2715	Vertikálně uprostřed
jp_100_2_Vu2	9	28	90.6307	170.1170	192.7530	16.0295	193.4180	90.6273	165.3977	16.0031	Vertikálně uprostřed (shlukované)
jp_100_2_D	9	28	1.7521	1.3034	2.1838	11.6467	11.8497	1.6466	1.2842	11.6465	Diagonálně
jp_100_2_D2	9	28	126.7640	153.9390	199.4150	8.5385	199.5980	100.2797	133.8554	8.0266	Diagonálně (shlukované)
jp_100_2_Vs	9	28	2.2228	1.8170	2.8709	53.2435	53.3208	1.9152	1.7496	34.4203	Vertikálně na straně
jp_100_2_Vs2	9	28	3.0205	2.7672	4.0965	8.5740	9.5023	2.6904	2.7427	5.8550	Vertikálně na straně (shlukované)
jp_156_2_R	9	28	0.8463	1.1683	1.4427	1.9593	2.4332	0.7870	1.1681	1.9588	Rovnoměrně
jp_156_2_U	9	28	15.8393	4.1189	16.3660	7.6248	18.0550	15.0557	3.9077	5.9348	Uprostřed
jp_156_2_H	9	28	114.6320	25.3436	117.4010	5.6062	117.5340	79.3856	24.6157	4.0739	Horizontálně na straně
jp_156_2_H2	9	28	143.6110	31.6160	147.0500	160.9870	218.0370	103.0380	30.6838	111.3797	Horizontálně na straně (shlukované)
jp_156_2_Vu	9	28	1.3185	1.8474	2.2697	2.3478	3.2655	1.3042	1.8440	2.3200	Vertikálně uprostřed
jp_156_2_Vu2	9	28	1.3320	1.7493	2.1987	2.9380	3.6696	1.0406	1.6794	2.9379	Vertikálně uprostřed (shlukované)
jp_156_2_D	9	28	2.1096	1.4625	2.5670	2.4712	3.5631	2.0374	1.4483	2.4475	Diagonálně
jp_156_2_D2	9	28	3.2213	1.7230	3.6532	4.0402	5.4469	3.1379	1.5806	4.0298	Diagonálně (shlukované)
jp_156_2_Vs	9	28	1.6690	2.2375	2.7914	19.7353	19.9317	1.6990	2.0525	13.3780	Vertikálně na straně
jp_156_2_Vs2	9	28	2.7508	2.6973	3.8526	3.7404	5.3696	2.6070	2.4876	3.1884	Vertikálně na straně (shlukované)
jp_72_3_3a	10	21	0.7864	1.7862	1.9516	1.0676	2.2245	1.7534	2.6784	2.2492	po stranách 3 řady
jp_72_1_3a	10	21	2.2986	3.1083	3.8659	3.7218	5.3663	1.7178	2.4525	2.5060	po stranách 1 řada
jp_72_3_3b	10	21	1.1491	1.9432	2.2575	1.0508	2.4901	1.1368	1.9432	0.9058	po stranách 3 řady
jp_72_1_3b	10	21	2.3672	3.3869	4.1322	3.7234	5.5622	2.3257	3.2351	2.7095	po stranách 1 řada
jp_72_3_3c	9	21	0.9735	2.2626	2.4632	1.1091	2.7013	0.9074	2.2359	1.0002	střídavě 3 řady
jp_72_1_3c	9	21	3.1258	3.1839	4.4618	4.0132	6.0011	2.9791	3.1532	3.1511	střídavě 1 řada
jp_72_3_3d	9	21	2.3683	8.8082	9.1210	62.9297	63.5873	2.0138	6.4745	44.0718	na straně 3 řady
jp_72_1_3d	9	21	2.2894	1.0692	2.5268	11.8526	12.1189	1.6317	0.7780	8.4306	na straně 1 řady
jp_72_3_3e	6	21	5.5465	9.9134	11.3595	35.7740	37.5343	5.1898	6.9826	24.6206	uprostřed 3 řady
jp_72_1_3e	6	21	13.7514	8.8502	16.3532	81.9220	83.5383	9.5992	8.7896	55.4935	uprostřed 1 řada
jp_72_3_3f	4	21	2.7990	4.4968	5.2968	185.0790	185.1550	2.0467	4.2191	128.1138	v rozích 3 řady
jp_72_1_3f	4	21	4.6221	10.9915	11.9238	147.0180	147.5000	4.1646	8.4724	99.5512	v rozích 1 řada

Příloha 2

Strategie	GCPs [počet]	CHs [počet]	Celkem snímků [počet]	Vázací body				Střední chyby CHs [cm]					Reprojection error [pix]	
				Celkem [počet]	Snímek [počet]	% původních	Filtrace [level]	X	Y	X,Y	Z	Total	RMS	Max.
e_1_18	18	44	25	10 616	425	100	-	0.0202	0.0203	0.0286	0.0574	0.0641	0.8213	26.8515
e_4_18_07	18	44	25	9 060	362	85	0.7	0.0250	0.0219	0.0332	0.0553	0.0645	0.5958	21.2550
e_4_18_06	18	44	25	9 013	361	99	0.6	0.0317	0.0231	0.0392	0.0465	0.0608	0.4492	8.6504
e_4_18_05	18	44	25	8 950	358	99	0.5	0.0314	0.0249	0.0400	0.0434	0.0590	0.3599	7.1860
e_4_18_04	18	44	25	8 818	353	99	0.4	0.0322	0.0250	0.0407	0.0410	0.0578	0.3363	4.9404
e_4_18_03	18	44	25	8 489	340	96	0.3	0.0333	0.0252	0.0417	0.0410	0.0585	0.3098	4.9776
e_4_18_02	18	44	25	7 462	298	88	0.2	0.0344	0.0255	0.0429	0.0399	0.0585	0.2731	4.9776
e_4_18_01	18	44	25	4 972	199	67	0.1	0.0349	0.0258	0.0434	0.0394	0.0586	0.1828	1.9685
lp_1_49_18	18	24	101	107 527	1 065	100	-	0.8120	0.8741	1.1931	0.8898	1.4883	0.3461	1.9800
lp_4_49_18_07	18	24	101	103 000	1 020	96	0.7	0.8055	0.8781	1.1915	0.8893	1.4868	0.3276	1.6558
lp_4_49_18_06	18	24	101	96 906	959	90	0.6	0.8019	0.8815	1.1916	0.8722	1.4767	0.3096	1.8891
lp_4_49_18_05	18	24	101	87 009	861	81	0.5	0.7912	0.8838	1.1862	0.8828	1.4787	0.2849	1.4691
lp_4_49_18_04	18	24	101	71 793	711	67	0.4	0.8095	0.8868	1.2007	0.8928	1.4963	0.2516	1.2659
lp_4_49_18_03	18	24	101	51 408	509	48	0.3	0.8130	0.8932	1.2078	0.8953	1.5034	0.2078	1.2610
lp_4_49_18_02	18	24	101	29 358	291	27	0.2	0.8182	0.9136	1.2264	0.8963	1.5190	0.1529	1.5562
lp_4_49_18_01	18	24	101	11 914	118	11	0.1	0.8284	0.9261	1.2425	0.9022	1.5355	0.1026	1.4554
lp_1_81_18	18	24	29	29 909	1 031	100	-	0.8207	0.8910	1.2114	2.1381	2.4575	0.3539	1.9898
lp_4_81_18_07	18	24	29	28 452	981	95	0.7	0.8124	0.8894	1.2045	2.1207	2.4389	0.3332	1.7602
lp_4_81_18_06	18	24	29	26 666	920	89	0.6	0.8100	0.8929	1.2056	2.0934	2.4158	0.3143	1.7593
lp_4_81_18_05	18	24	29	23 873	823	80	0.5	0.8123	0.8936	1.2076	2.0771	2.4026	0.2895	1.3829
lp_4_81_18_04	18	24	29	19 685	679	66	0.4	0.8133	0.8982	1.2117	2.0847	2.4113	0.2548	1.3027
lp_4_81_18_03	18	24	29	14 239	491	48	0.3	0.8207	0.9016	1.2192	2.0898	2.4195	0.2113	1.3214
lp_4_81_18_02	18	24	29	8 609	297	29	0.2	0.8223	0.9055	1.2231	2.1088	2.4378	0.1555	1.2515
lp_4_81_18_01	18	24	29	3 782	130	13	0.1	0.8239	0.9064	1.2249	2.1255	2.4531	0.1030	0.7775
jp_56_4_19	19	28	129	189 417	1 468	100	-	0.7934	0.7488	1.0910	1.3231	1.7149	0.2746	3.9245
jp_56_4_19_06	19	28	129	184 814	1 433	98	0.6	0.7891	0.7593	1.0951	1.3117	1.7088	0.2578	3.9426
jp_56_4_19_05	19	28	129	177 352	1 375	94	0.5	0.7826	0.7716	1.0990	1.2994	1.7019	0.2368	3.9272
jp_56_4_19_04	19	28	129	164 402	1 274	87	0.4	0.7829	0.7920	1.1136	1.2937	1.7070	0.2086	3.9112
jp_56_4_19_03	19	28	129	142 580	1 105	75	0.3	0.7853	0.8181	1.1340	1.3044	1.7284	0.1719	3.9028
jp_56_4_19_02	19	28	129	108 503	841	57	0.2	0.7879	0.8606	1.1668	1.3153	1.7582	0.1264	1.3022
jp_56_4_19_01	19	28	129	59 014	457	31	0.1	0.8038	0.9261	1.2263	1.3534	1.8264	0.0772	0.8428

Strategie	GCPs [počet]	CHs [počet]	Celkem snímků [počet]	Vázací body				Střední chyby CHs [cm]					Reprojection error [pix]	
				Celkem [počet]	Snímek [počet]	% původních	Filtrace [level]	X	Y	X,Y	Z	Total	RMS	Max.
jp_100_4_19	19	28	41	65 454	1 596	100	-	0.8467	1.0267	1.3307	1.4550	1.9717	0.2921	1.7693
jp_100_4_19_06	19	28	41	62 984	1 536	96	0.6	0.8460	1.0253	1.3293	1.4517	1.9684	0.2686	1.7570
jp_100_4_19_05	19	28	41	59 867	1 460	91	0.5	0.8475	1.0232	1.3286	1.4580	1.9725	0.2464	1.8013
jp_100_4_19_04	19	28	41	54 668	1 333	84	0.4	0.8526	1.0250	1.3332	1.4647	1.9806	0.2170	1.3220
jp_100_4_19_03	19	28	41	46 512	1 134	71	0.3	0.8581	1.0267	1.3381	1.4648	1.9839	0.1791	1.1867
jp_100_4_19_02	19	28	41	34 495	841	53	0.2	0.8629	1.0393	1.3508	1.4653	1.9929	0.1306	0.9748
jp_100_4_19_01	19	28	41	18 307	447	28	0.1	0.8694	1.0498	1.3631	1.4664	2.0021	0.0722	0.6914
jp_156_4_19	19	28	86	131 570	1 530	100	-	0.7337	0.9827	1.2264	1.9080	2.2681	0.2790	3.9031
jp_156_4_19_06	19	28	86	128 006	1 488	97	0.6	0.7429	0.9825	1.2318	1.8919	2.2575	0.2608	3.9085
jp_156_4_19_05	19	28	86	122 485	1 424	93	0.5	0.7514	0.9896	1.2425	1.8686	2.2440	0.2392	3.8844
jp_156_4_19_04	19	28	86	113 198	1 316	86	0.4	0.7573	0.9916	1.2477	1.8877	2.2628	0.2104	3.8904
jp_156_4_19_03	19	28	86	97 982	1 139	74	0.3	0.7666	1.0094	1.2675	1.8962	2.2808	0.1742	3.9400
jp_156_4_19_02	19	28	86	74 353	865	57	0.2	0.7762	1.0385	1.2965	1.9034	2.3030	0.1279	1.3818
jp_156_4_19_01	19	28	86	40 198	467	31	0.1	0.7830	1.0643	1.3213	1.9140	2.3257	0.0754	1.3251