

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra speciální geodézie



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Tvorba mračna bodů a ortomozaiky vybrané oblasti hnědóuhelného dolu Družba
Creation of a point cloud and orthomosaic of a selected area of the Družba lignite
mine

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Inženýrská geodézie

Vedoucí práce: prof. Ing. Martin Štroner, Ph.D.

Bc. David Juhár



2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE


Příjmení: <u>Juhár</u>	Jméno: <u>David</u>	Osobní číslo: <u>439234</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra speciální geodézie K154</u>		
Studijní program: <u>Geodézie a kartografie</u>		
Studijní obor: <u>Inženýrská geodézie</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Tvorba mračna bodů a ortomosaiky vybrané oblasti hnědouhelného dolu Družba</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Creation of a point cloud and orthomosaic of a selected area of the Družba lignite mine</u>	
Pokyny pro vypracování: Navrhnete a realizujete geodetické a UAV měření pro potřeby tvorby mračna bodů a ortofota vybrané oblasti hnědouhelného dolu Družba. Proveďte nezávislou kontrolu geodetickým měřením i nezávislým náletem jiným UAV.	
Seznam doporučené literatury: [1] Hampacher, M. - Štroner, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 2. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, ČVUT v Praze, 2015. 336 s. ISBN 978-80-01-05843-5. [2] Manuál k programu Agisoft Metashape.	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>prof. Ing. Martin Štroner, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>19.2.2021</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>16.5.2021</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

<u>19.2.2021</u> Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)
---	---

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Tvorba mračna bodů a ortomozaiky vybrané oblasti hnědoúhelného dolu Družba“ vypracoval samostatně a veškeré zdroje dat a informace jsem uvedl v seznamu zdrojů na konci práce.

Ve Svatavě, 7. 5. 2021

.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu této diplomové práce prof. Ing. Martinovi Štro-
nerovi, Ph.D. za odbornou pomoc, ochotu a trpělivost. Poděkování patří i Ing. Františku
Dudkovi za možnost spolupracovat s organizací Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s.,
firmě geodetické služby s.r.o. a Ing. Jaroslavem Braunem, Ph.D. za poskytnuté měření
pro vyhotovení práce, a největší dík patří rodičům za podporu během celého studia.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá vytvořením mračna bodů a ortofota. Pro vytvoření výstupů je navrženo a uskutečněno měření pomocí UAV eBee plus. Cílem práce je porovnat výsledky ze dvou UAV, pro tyto účely je na dvou místech uskutečněno nezávislé měření pomocí kvadrokoptéry DJI Phantom 4 Pro. Veškeré výsledky jsou připojeny do souřadnicového systému, pomocí vlícovacích bodů signalizovány fotogrammetrickými terči a zaměřeny GNSS stanicí.

Klíčová slova

bezpilotní letoun, fotogrammetrie, mračno bodů, 3D model, ortofoto, normální rozdělení

Abstract

The thesis is about the creation of a point cloud and orthomosaic. To create the output it is designed and realized measurement with UAV eBee plus. The point of the thesis is to compare results of two UAVs, for these purposes is realized independent measuring from two places with quadcopter DJI Phantom 4 Pro. All results are connected to the coordinate system with control points, signaled by photogrammetric targets and measurement with GNSS station.

Key words

unmanned aerial vehicle, photogrammetry, point cloud, 3D model, orthomosaic, normal distribution

Obsah

Seznam zkratk	8
1 Úvod	9
2 Legislativa pro létání bezpilotními letouny	10
2.1 Certified	10
2.2 Specific	10
2.3 Open	10
3 Lokalita	13
3.1 Hnědouhelný lom Družba	13
3.2 Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s.	14
4 Použité vybavení	15
4.1 GNSS ROVER SOUTH S82-V	15
4.2 DJI Phantom 4 Pro	15
4.3 Ebee plus	16
5 Použitý Software	17
5.1 Agisoft Metashape Professional 1.5.1.7618	17
5.2 Cloud Compare 2.11 beta	17
5.3 Easy Transform 2.3	17
6 Práce v terénu	18
6.1 Stabilizace a zaměření bodového pole	18
6.2 Snímkový let DJI Phantom 4 Pro	19
6.3 Snímkový let Ebee PLUS	20
7 Zpracování dat	21
7.1 Příprava dat (stažení a transformace)	21
7.2 Práce v Agisoft Metashape	21
7.2.1 Tvorba řídkého mračna (Align photos)	21
7.2.2 Připojení na vřícovací body	22
7.2.3 Tvorba hustého mračna bodů (Dense cloud)	22
7.2.4 Tvorba polygonové sítě (Mesh)	23
7.2.5 Tvorba digitálního výškového modelu	23
7.2.6 Tvorba ortofota	24
7.2.7 Export	24
7.3 Práce v programu CloudCompare	25
8 Výsledky	27
8.1 Agisoft Metashape	27
8.1.1 Kompletní území	27
8.1.2 Území 1	30
8.1.3 Území 2	34

8.2	<i>Porovnání metody výpočtu</i>	38
8.2.1	<i>Kompletní území</i>	38
8.2.2	<i>Území 1</i>	39
8.2.3	<i>Území 2</i>	40
8.3	<i>eBee plus vs Phantom 4 Pro</i>	41
8.3.1	<i>Území 1 High</i>	41
8.3.2	<i>Území 1 Medium</i>	42
8.3.3	<i>Území 2 High</i>	43
8.3.4	<i>Území 2 Medium</i>	44
8.4	<i>Přesnost připojení</i>	45
9	<i>Závěr</i>	46
	<i>Použitá literatura</i>	47
	<i>Seznam příloh</i>	48
	<i>Seznam obrázků</i>	49
	<i>Seznam tabulek</i>	51



Seznam zkratek

UAV – Unmanned aerial vehicle (bezpilotní letoun)

S-JTSK – Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální (polohový souřadnicový systém pro ČR)

Bpv – Balt po vyrovnání (výškový souřadnicový systém pro ČR)

ÚCL – Úřad pro civilní letectví

DEM – Digital elevation model (Digitální výškový model)

TIN – Triangulated irregular network (Nepravidelná trojúhelníková síť)

SW – Software (Program)

GSD – Groud sampling distance (Velikost pixelu měřená na zemi)

RTK – Real time kinematic (Kinematické určování polohy v reálném čase)

MSE – Mean square error (Střední kvadratická chyba)

VB – Vlícovací bod



1 Úvod

Obsahem diplomové práce je zmapování lomu Družba (západně od obce Nové Sedlo) pomocí UAV. Vytvoření ortofota a 3D výstupy pro aktualizaci důlní mapy společnosti SUAS.

Zájmové území o velikosti přibližně 1x2 km pro vyhotovení diplomové práce bylo domluveno s Ing. Františkem Dudkem, na základě obtížnosti přístupu do některých částí hnědouhelného lomu Družba, který se v dnešní době zasypává a v budoucnu bude zatopen.

Pro snímkování kompletního území byla poptána místní firma vlastníci UAV s pevným křídlem (eBee plus), která pomohla s naplánováním letu a poskytla snímky pro vyhotovení.

Pro kontrolní mračna bodů byla použita kvadrakoptéra DJI Phantom 4 Pro. Kontrolní lety byly uskutečněny na dvou územích, každé z nich o přibližné velikosti 100x200 m.

V kapitole číslo dva se popisuje legislativa pro let s UAV.

V další kapitole je popsáno zájmové území, jeho poloha, využití a vlastník (Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s.).

V dalších kapitolách jsou popsány přístroje, softwary a použité pracovní postupy pro vyhotovení práce.

V posledních kapitolách jsou uvedeny veškeré výstupy s jejich parametry a přesnostmi.

2 Legislativa pro létání bezpilotními letouny

Legislativa určuje kde, s čím a za jakých podmínek můžeme využívat létání s UAV. Základní rozdělení pro létání s UAV je rozděleno do třech základních kategorií (Certified, Specific a Open).

2.1 Certified

Nejrizikovější kategorie je s názvem Certified. Do které budou spadat lety s drony určené pro přepravu pasažérů a zboží.

2.2 Specific

Další kategorií je kategorie Specific. Je určena pro rizikovější lety, které zakazuje kategorie Open (nad shromážděním osob, v centru města, poblíž památek ...). Pro let v této kategorii je potřeba provozní povolení od úřadu pro civilní letectví.

2.3 Open

Nejrozšířenější kategorií je kategorie s názvem Open. Která je rozděluje UAV do pěti kategorií podle váhy.

Označení	C0	C1	C2	C3	C4
Omezení	< 250 g	< 900 g	< 4 kg	< 25 kg	< 25 kg (bez řízení)

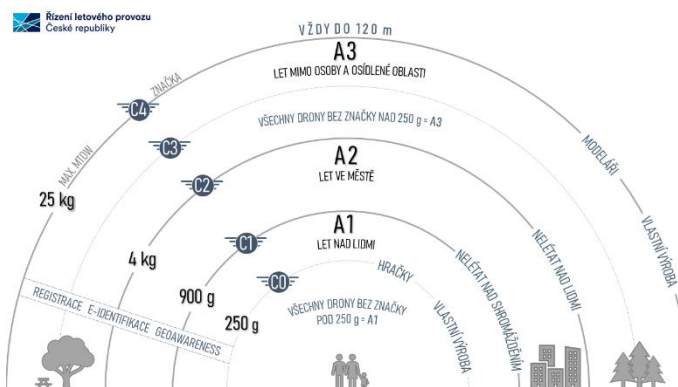
(Tab. 1) Váhové rozdělení UAV

Veškeré UAV s výjimkou C0 bez kamery, musí být registrovány na úřadě pro civilní letectví. Pilot musí absolvovat online výcvik a označit své letadla vlastním identifikačním číslem a obeznámit se s uživatelskou příručkou UAV.



(Obr. 1) Doklad o absolvování online výcviku

Dále je kategorie open kategorizována do kategorií A1, A2 a A3, které specifikují provozní omezení. Všechny podkategorie jsou omezeny maximální vzdáleností 120 m od terénu a během letu musí být s UAV vizuální kontakt.



(Obr. 2) Obecná pravidla Open

A1 platí pouze pro AUV z kategorie C0 a C1. V této kategorii je možný minimální přelet nad nezúčastněnými osobami s UAV z kategorie C0 a se souhlasem s UAV z kategorie C1. Je možné přelet nad budovou. Zákaz letu nad shromážděním osob a místy zakázány státem.



(Obr. 3) Kategorie letu A1(C0)



(Obr. 4) Kategorie letu A1(C1)

A2 platí pro kategorie UAV C2. Mimo základní internetový výcvik musí být pilot držitelem osvědčení o způsobilosti dálkově řídicího pilota, získaný kontaktním výcvikem. Minimální vzdálenost od nezapojených osob je rovna výšce letu nebo 30 metrů, při provozování letadla v nízkorychlostním režimu se může zkrátit až na 5 metrů. Zákaz letu nad shromážděním osob a místy zakázány státem.



(Obr. 5) Kategorie letu A2

A3 platí pro kategorie UAV C2, C3 a C4. Let je možný jen mimo dosah nezapojených osob. Minimální vzdálenost od urbanistického území je 150 metrů [1].



(Obr. 6) Kategorie letu A3

3 Lokalita

Zájmové území tvoří velká část (přibližně 1x2 km) hnědouhelného lomu Družba, který vlastní Sokolovská uhelná a.s. V lomu byly vybrány další dvě místa pro porovnání metod sběru a zpracování dat. První s částí sesuvu z roku 2009 a druhý zajímavý svojí členitostí.



(Obr. 7) Zájmové území

3.1 Hnědouhelný lom Družba

Lom se nachází v Sokolovské pánvi, západně od obce Nové Sedlo. Těžba byla zahájena v roce 1889 nejprve hlubinným způsobem a od roku 1907 byla zahájena těžba povrchovým způsobem. Důl během svého působení vystřídal několik jmen (Kaiser, Konkordie, Truman a Svornost), pod názvem Družba je znám od roku 1951.

Využíval se pro těžbu sloje Antonín, která má průměrnou mocnost 24 metrů a nachází se přibližně 200 metrů pod povrchem. V roce 2011 byla těžba přerušena, nyní je lom do určité výšky zasypáván a po vytěžení sousedního lomu Jiří, zde vznikne napuštěním z řeky Ohře jezero Jiří-Družba [2].



3.2 Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s.

Firma Sokolovská uhelná byla založena v roce 1994 fondem národního majetku. Privatizace proběhla o deset let později, kdy vznikla organizace Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s.

Organizace navazuje na bohatou tradici těžení a zušlechtování hnědého uhlí na Sokolovsku. Hlavním produktem společnosti je elektrická energie a teplo, energetické uhlí a karbomechanický produkt. Sokolovská uhelná je jedním z největších nezávislých výrobců elektrické energie a zároveň nejmenší hnědouhelná těžební společností v České republice, vytěží kolem 6,5 miliónů tun uhlí ročně v lomu Jiří. Přibližně 50 procent uhlí je prodáno tuzemským i zahraničním klientům, zbytek je zušlechtován v rámci vlastní potřeby. Vyrobí tak kolem 3500 GWh elektrické energie a zásobuje teplem města v regionu. Firma významně investuje do rekultivací dotčeného území (např. vznik jezer Medard a Boden), také podporuje výstavbu infrastruktury, díky čemuž vznikly na Sokolovsku objekty sloužící zdravotnictví, sportu a rekreaci [2].

4 Použité vybavení

Pro vyhotovení, bylo použito vybavení GNSS rover South S82-V, kvadrakoptéra DJI Phantom 4 Pro a dron Ebee plus. Gns bylo použito pro získání souřadnic vlícovacích a kontrolních bodů. UAV byly použity pro získání fotogrammetrických snímků.

4.1 GNSS ROVER SOUTH S82-V

S82-V je přijímač GNSS RTK od společnosti South Company, který přijímá signál z GPS, GLONAS a GALILEO. S možnostmi měření statické (přesnost 6mm + 1ppm) a RTK (přesnost 25mm + 1ppm) metody. Pro naše měření byla použita RTK metoda s průměrováním deseti odečtů.



(Obr. 8) GNSS ROVER S82-V

4.2 DJI Phantom 4 Pro

Kvadrakoptéra o hmotnosti 1 388 g (kategorie C2). Kamera s rozlišovací schopností 4K Ultra HD umístěna na tříosém stabilizačním závěsu, který je schopen kameru stabilizovat i v pohybu. Baterie s kapacitou 5870 mAh umožňuje let o délce 30 minut. Kvadrakoptéra určuje svou polohu z kódového měření GNSS (přesnost cca 3 m) [3].

Kamera FC6310S	
Senzor	1"
Clona	f/2.8 – f/11
Rozsah ISO	100 – 12800
Maximální rozlišení	5472 x 3648
GSD při letu ve 120 m	2.8 cm/pix
Podpora RTK	NE

(Tab. 2) Vlastnosti kamery FC6310S



(Obr. 9) Kvadrakoptéra DJI Phantom 4 Pro

4.3 Ebee plus

UAV o hmotnosti 1 100 g (kategorie C2), je tvořen z dvou oddělitelných polystyrenových křídel a těla, ve kterém je zabudovaná 20 megapixelová kamera S.O.D.A corridor od výrobce senseFly a pohonný motor s baterkou. Rozpětí křídel je 110 cm. Přibližná délka letu na jednu baterii je 59 minut. Díky upgradu RTK je možné vyhodnocovat data bez nutnosti vlíčovacích bodů [4].

Kamera S.O.D.A corridor	
Senzor	1“
Clona	f/2.8 – f/11
Rozsah ISO	100 – 12800
Maximální rozlišení	5472 x 3648
GSD při letu ve 120 m	2.8 cm/pix
Podpora RTK	ANO

(Tab. 3) Vlastnosti kamery S.O.D.A corridor



(Obr. 10) UAV Ebee plus



5 Použitý Software

Pro zpracování dat byl použit Easy Transform pro transformaci souřadnic vřícovacích a kontrolních bodů ze souřadnic WGS84 do S-JTSK. Fotogrammetrický software Agisoft Metashape Professional pro vyhotovení 3D dat a Cloud Compare pro porovnání mračen bodů.

5.1 Agisoft Metashape Professional 1.5.1.7618

Je komerční SW od společnosti Agisoft LLC pro tvorbu mračen modelů, 3D modelů, ortofot a DEM, ze snímků na základě obrazové korelace na více snímcích (metoda SfM). Pro vyhotovení byla použita verze 1.5.1.7618 [5].

5.2 Cloud Compare 2.11 beta

Volně dostupný Open-source SW pro zpracování a analýzu 3D modelů (mračno bodů, trojúhelníková síť). Porovnání mezi modely je znázorněno v barevné škále, výsledné odchylky lze porovnat s Gaussovo (Normálním) rozdělením s výpočtem střední hodnoty a směrodatné odchylky. Pro vyhotovení byla použita verze 2.11 beta [7].

5.3 Easy Transform 2.3.

Softwarová aplikace od společnosti Adjust Solution. Aplikace je veřejně poskytována pro vědecké a studijní účely (komerční využití zakázáno) na internetové stránce <http://adjustsolutions.cz/easytransform/>. Aplikace slouží pro transformaci prostorových souřadnic mezi vybranými SS (WGS84, Bessel a S-JTSK). Pro transformaci do S-JTSK je využita zpřesněná verze transformačních tabulek poskytnuty ČUZK od 1.7.2012. Pro vyhotovení byla použita verze 2.3 [6].

6 Práce v terénu

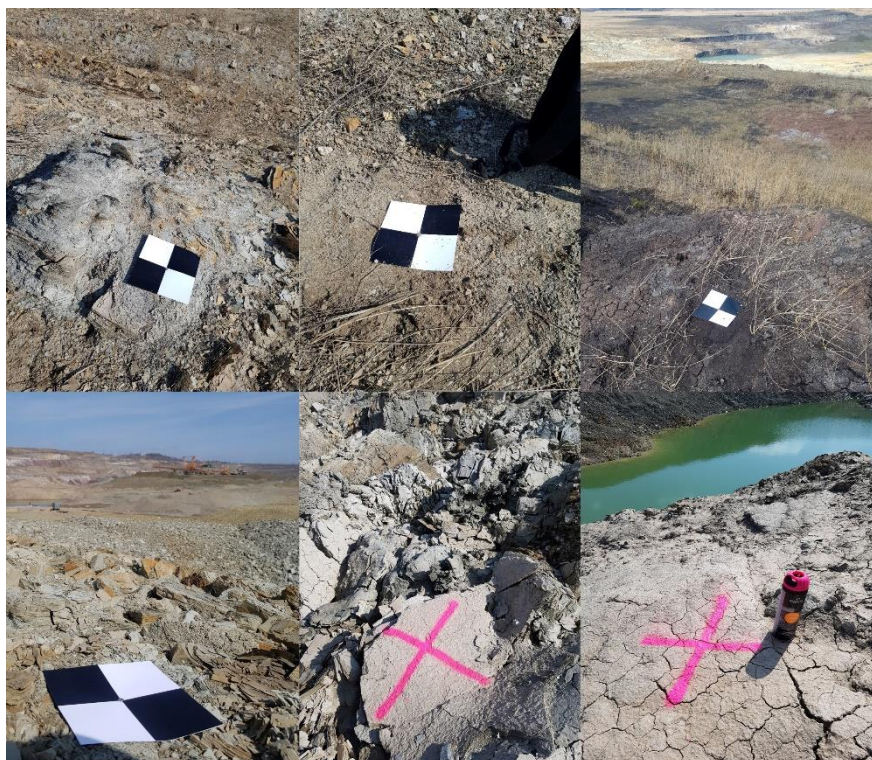
Práce v terénu sestávaly ze stabilizace a zaměření vlíčovacích a kontrolních bodů, dále ze snímkování kvadrakoptérou DJI Phantom 4 Pro a dronem Ebee plus.

6.1 Stabilizace a zaměření bodového pole

Vlíčovací body byly signalizovány v terénu čtvercovými černobílými fotogrammetrickými terči o velikosti 19x19 cm. Terče byly umístěny rovnoměrně uvnitř zájmového polygonu, ve čtvercové síti o stranách přibližně 350 metrů. Dvě místa zajímavá svou členitostí, byla zaplněna hustějším bodovým polem, které bylo signalizováno terči nebo značkovacím sprejem (vlíčovací i kontrolní body, viz. Obr. X). Signalizované body byly zaměřeny GNSS stanicí metodou RTK s deseti zprůměrovanými odečty.



(Obr. 11) Rozložení vlíčovacích bodů

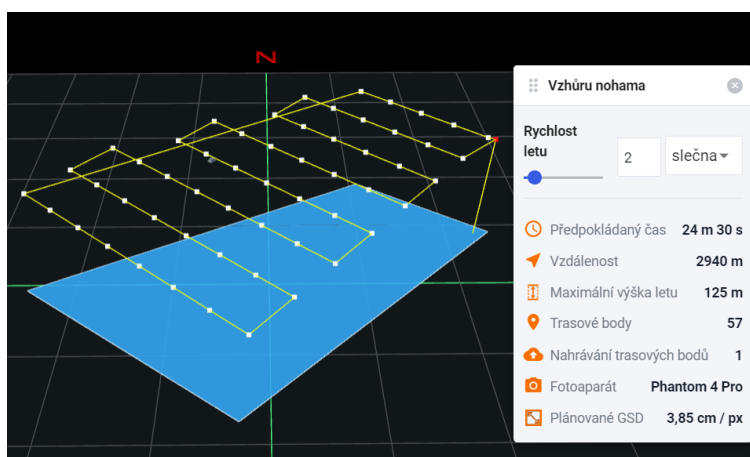


(Obr. 12) Signalizace bodů

6.2 Snímkový let DJI Phantom 4 Pro

Snímkový let kvadrakoptérou DJI Phantom 4 Pro byl vyhotoven Ing. Jaroslavem Braunem, Ph.D.

Do mobilní aplikace Drone Harmony byly navoleny rohové body zájmového území, místo vzletu a přistání, podélný a příčný překryt fotek a výška letu. Aplikace sama poté vyhodnotila ideální trasu letu a vypočetla čas, vzdálenost, trasové body a velikost pixelu (GSD).



(Obr. 13) Ukázka aplikace Drone Harmony

Samotný let potom probíhal automaticky dle navržené trasy a na každém trasovém bodě vyhotovil letecký snímek. Snímkování bylo zvoleno tak, aby překryt činil 70% jak příčným, tak podélným směru. Po dokončení letu se kvadrakoptéra vrátila zpět nad místo



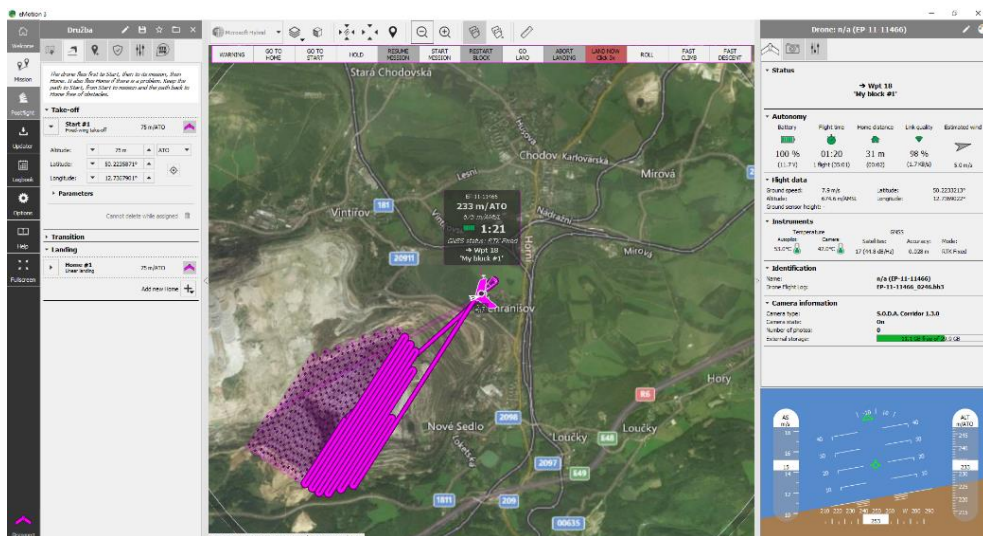
přistání a ručním ovládním byla dopravena na zem. Takto byla zmapována dvě nezávislá území o rozloze přibližně 100x200 metrů.

U jednoho území bylo zvoleno i snímkování s nakloněnou/vodorovnou osou objektu, které bylo provedeno celé v ručním ovládním kvadrokoptéry. Zmapována tak byla místa s odtrženým svahem, kde vznikaly stěny a převisy.

6.3 Snímkový let Ebee PLUS

Snímkový let dronem Ebee plus byl vyhotoven firmou GS – Geodetické služby, s.r.o., konkrétně Ing. Ondřejem Pinterem a Ing. Miroslavem Dvořákem.

V programu eMotion 3 byl zvolen typ komory a dronu, dále byla nastavena pracovní oblast. Místo vzletu a přistání bylo zvoleno nad úrovní pracovní oblasti (u obce Chránišov) od tohoto bodu byla i určena výška letu 75 metrů. Pro velkou členitost terénu nebyl brán důraz na dodržení velikosti pixelu (což výrazně ovlivnilo následné zpracování).



(Obr. 14) Ukázka programu eMotion 3

Let probíhal automaticky dle navržené trasy. Snímkování bylo zvoleno tak, aby překryt činil 70% jak v příčném, tak podélném směru. Během letu bylo hlídáno, aby kapacita baterie neklesla pod 20%. Po dokončení letu dron sám přistál na určeném místě.

7 Zpracování dat

7.1 Příprava dat (stažení a transformace)

Z GNSS přijímače byly vyexportovány souřadnice vlíčovací a kontrolních bodů v souřadnicovém systému WGS84, pro transformaci souřadnic do souřadnicového systému S-JTSK a Bpv, byl zvolen sw Easy Transform 2.3, který používá pro výpočet lokální transformační klíč.

7.2 Práce v Agisoft Metashape

Z obou UAV byly vyexportovány snímky a naimportovány do programu Agisoft Metashape Professional. Následně byly vyexportovány souřadnice projekčních center jednotlivých snímků v systému WGS84 a po transformaci do S-JTSK (opět v sw Easy Transform stejně jako v kapitole 7.1) naimportovány zpět do SW.

7.2.1 Tvorba řídkého mračna (Align photos)

Nejdříve byly nahrané fotky vyrovnány. Vyrovnání bylo provedeno pomocí funkce *Align* v menu *Workflow*, zde SW najde vzájemnou polohu a orientaci (prvky vnější orientace, řeší současně i vnitřní orientaci, pokud není nahrána známá kalibrace) mezi snímky a vytvoří řídké mračno bodů. Všechny modely byly vytvořeny na vysokou (high) a střední (medium) přesnost.

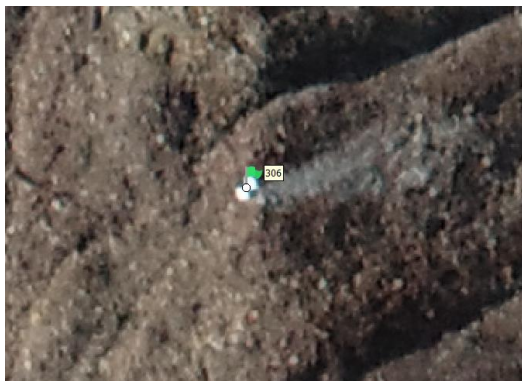
Pro vyrovnání používá SW fotogrammetrickou metodu IBMR, kdy jsou hledány identické body na snímcích na základě podobností blízkého okolí pixelů.



(Obr. 15) Ukázka řídkého mračna bodů

7.2.2 Připojení na vlíčovací body

Do SW byly naimportovány souřadnice vlíčovacích bodů. Nad otevřenými snímky byly nejdříve umístěny alespoň tři VB pro orientaci modelu, funkcí *Optimize Cameras* se model transformoval a ostatní VB byly v přibližné poloze. Následně byly snímky filtrovány pomocí funkce *Filter Photos by Markers* pro každý bod. Všem bodům byly pak přiděleny polohy na snímcích. Na závěr byla opět provedena celková optimalizace. Po výpočtu byly vyexportovány chyby v souřadnicích.



(Obr. 16) Označení VB

7.2.3 Tvorba hustého mračka bodů (Dense cloud)

Husté mračno bodů bylo vytvořeno funkcí *Build Dense Cloud* v menu *Workflow*, zde na základě polohy kamery vypočte informace o hloubce snímků, které jsou následně nakombinovány do hustého mračka bodů. Všechny modely byly vytvořeny ve vysoké a střední kvalitě.

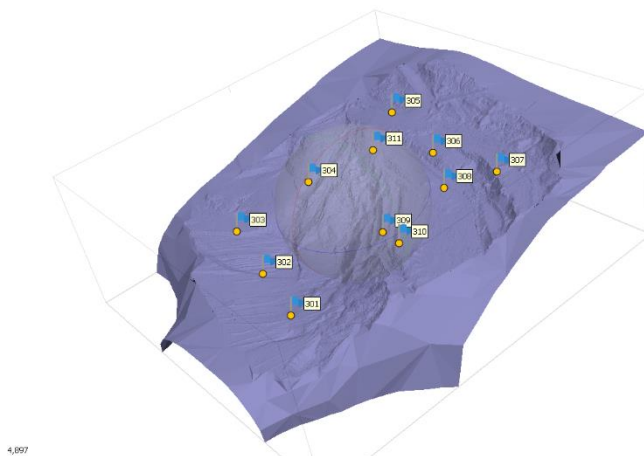


(Obr. 17) Ukázka hustého mračka bodů



7.2.4 Tvorba polygonové sítě (Mesh)

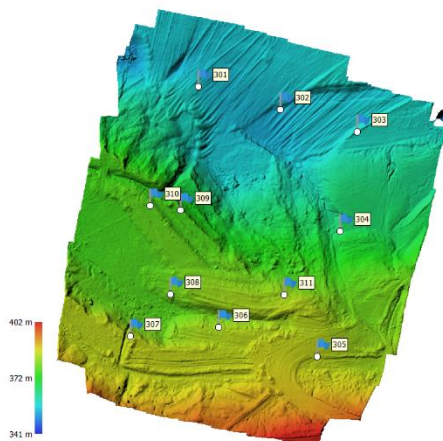
Polygonová síť byla vytvořena funkcí *Buil Mesh* v menu *Workflow*. Z hustého mračka bodů vytvoří 3D model ve tvaru trojúhelníkové sítě. Tento krok výpočtu je velmi náročný na operační paměť počítače, a proto jsou trojúhelníkové sítě tvořeny pouze ve střední kvalitě.



(Obr. 18) Ukázka TIN

7.2.5 Tvorba digitálního výškového modelu

Digitální výškový model byl vytvořen funkcí *Build DEM* (Digital Elevation Model) v menu *Workflow*. Model byl vytvořen z hustého mračka bodů.

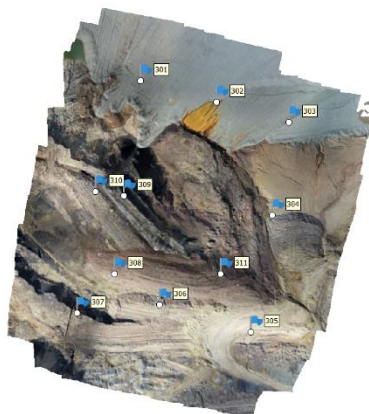


(Obr. 19) Ukázka DEM



7.2.6 Tvorba ortofota

Pro tvorbu ortofota byla zvolena funkce *Build Orthomosaic* v menu *Workflow*. Zde byla zvolena geografická projekce a velikost pixelu (pro měření kvadrakoptérou 2 cm a pro letadlem 10 cm).



(Obr. 20) Ukázka ortofota

7.2.7 Export

Možnosti exportu 3D objektů:

Mračno bodů	Polygonová síť
Wavefront OBJ (.obj)	Wavefront OBJ (.obj)
Stanford PLY (.ply)	3DS models (.3ds)
XYZ Point Cloud (.txt)	VRML models (.wrl)
ASPRS LAS (.las)	COLLADA (.dae)
LAZ (.laz)	Stanford PLY (.ply)
ASTM E57 (.e57)	X3D models (.x3d)
Topcon CL3 (.cl3)	STL models (.stl)
ASCII PTS (.pts)	Alembic (.abc)
Autodesk DXF (.dxf)	Autodesk DXF (.dxf)
U3D (.u3d)	OpenSceneGraph (.osgb)
Adobe PDF (.pdf)	Binary glTF (.glb)
Potree (.zip)	U3D models (.u3d)
Cesium 3D Tiles (.zip)	Adobe PDF (.pdf)
Agisoft OC3 (.oc3)	Google Earth (.kmz)

(Tab. 4) 3D export Agisoft Metashape

Export rastrových výstupů (ortofoto, DEM) je možné ve formátech JPEG, TIFF a PNG.

Prvky vnější orientace snímků a hodnoty elips chyb vřícovacích a kontrolních bodů lze vyexportovat ve formátech XML nebo TXT. Souhrnné informace o projektu je možné vyexportovat ve formátu PDF.

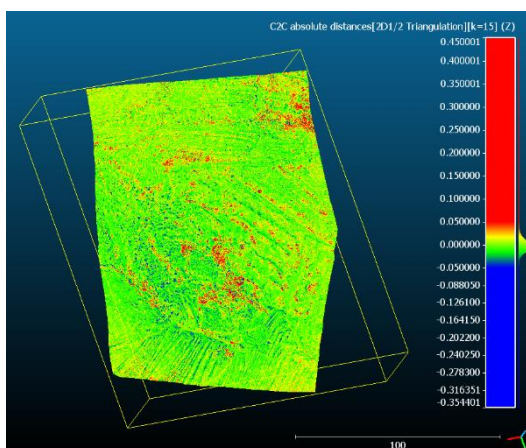
7.3 Práce v programu CloudCompare

Porovnání jednotlivých mračen bylo provedeno v softwaru CloudCompare (CC). Nejprve byla porovnána hustá mračna bodů z programu Agisoft Metashape (High vs Medium).

Do programu byla nahrána hustá mračna bodů ve formátu ASPRS LAS (*.las) a vličovací body. Mračna bodů byla oříznuta co nejbližší za vličovacími body.

Vzdálenost mračen byla vypočtena funkcí *Compute cloud/cloud distance*, kde se nastaví jako referenční mračno bodů hustější mračno bodů vypočtené v kvalitě výpočtu *high* a porovnávané mračno vypočtené v kvalitě výpočtu *medium*. Dále bylo nastaveno rozdělení výpočtu pro každou souřadnici zvlášť. Výpočet byl dále nastaven tak, aby pod každým porovnávaným bodem program vytvořil lokální TIN model z patnácti nejbližších referenčních bodů a vypočetl odchylku vůči této ploše.

Výsledky odchylek byly vyobrazeny přebarvením porovnávaného mračen bodů do barevné škály (modrá – zelené – žlutá – červená).

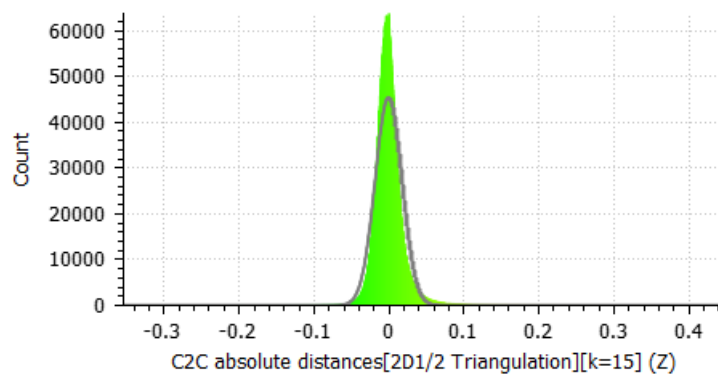


(Obr. 21) Znárodnění odchylek

V ideálním případě odchylky reprezentují výběr z náhodné veličiny odpovídající normálnímu rozdělení, se střední hodnotou odpovídající vzájemnému systematickému posunu mračen. V SW Cloud Compare byl vyhotoven histogram s Gausovou křivkou a vypočtena střední hodnota se směrodatnou odchylkou odchylek.



Gauss: mean = -0.000660 / std.dev. = 0.017851 [2530 classes]



(Obr. 22) Příklad histogramu

Pro lepší výsledky byla místa s vodní hladinou vymazána z porovnávaného mračna bodů.

Stejně jako porovnání kvality výpočtu, byly porovnány i metody sběru dat (kvadrakoptera, UAV eBee plus). Jako porovnávané mračno bylo určeno řidší mračno bodů, vytvořeno z fotek vytvořených dronem eBee plus a jako referenční hustější mračno bodů, vytvořené z fotek vyhotovených kvadrakopterou Phantom.

Celková přesnost mračen bodů byla také určena porovnáním se souřadnicemi určenými GNSS stanicí.

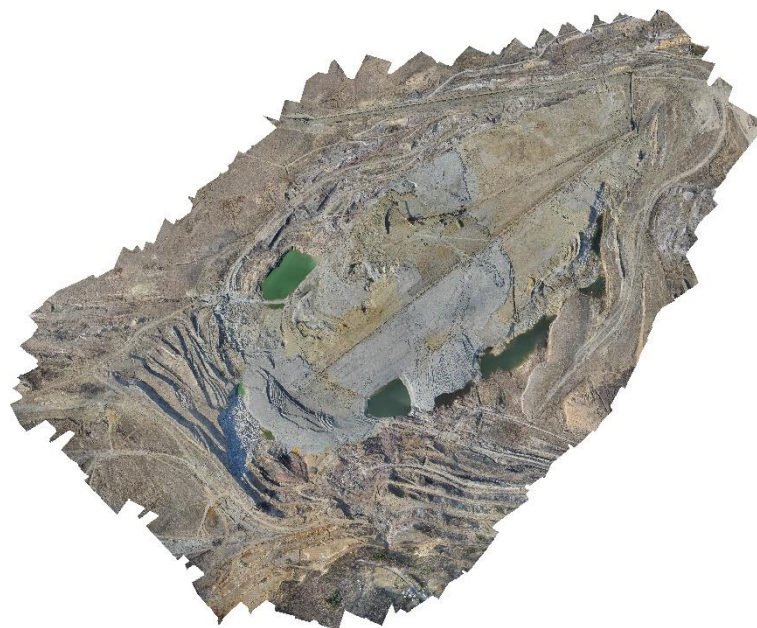
8 Výsledky

8.1 Agisoft Metashape

8.1.1 Kompletní území

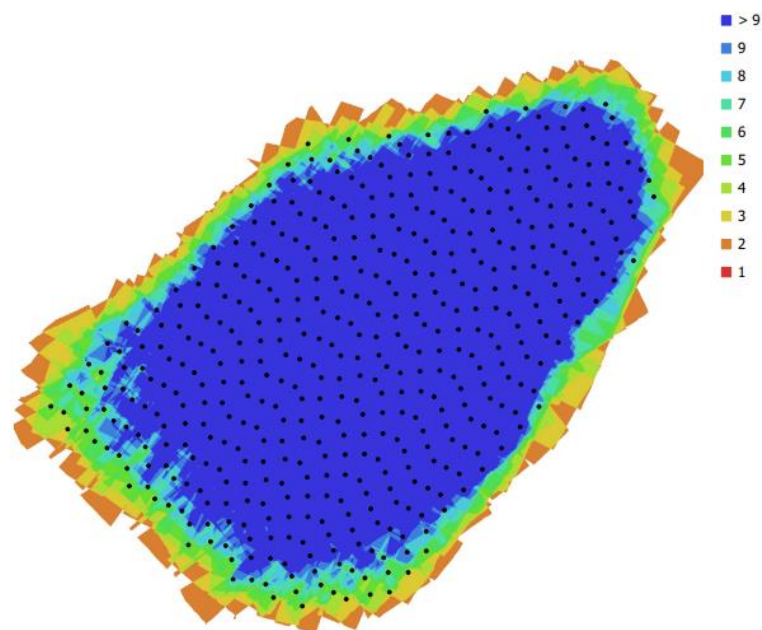
Z fotek vytvořených UAV eBee plus byly vytvořeny výstupy, jak z kvality výpočtu „High“, tak z kvality výpočtu „Medium“. Přesnost výsledků a podrobné informace o výstupech jsou uvedené na konci kapitoly v tabulce (Tab. 5).

Ortofoto:



(Obr. 23) Kompletní území – Ortofoto

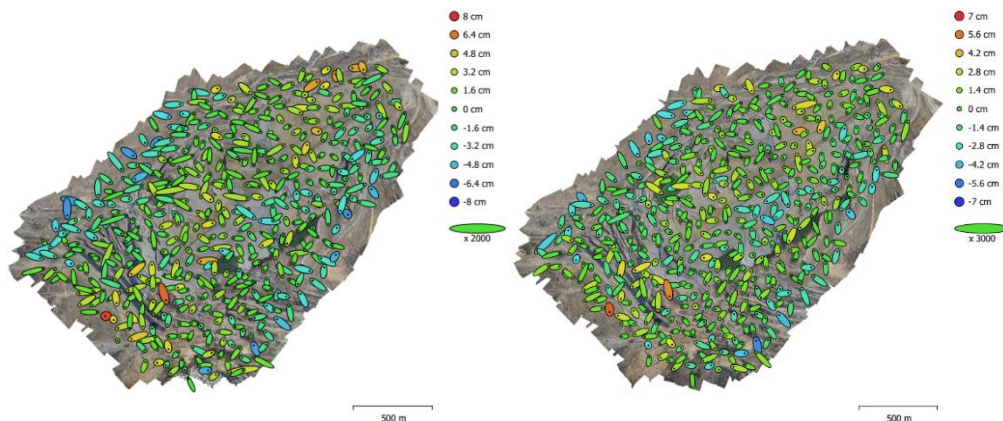
Znázornění překrytu fotografií a polohy kamery:



(Obr. 24) Kompletní území – Umístění kamery a překryt fotek

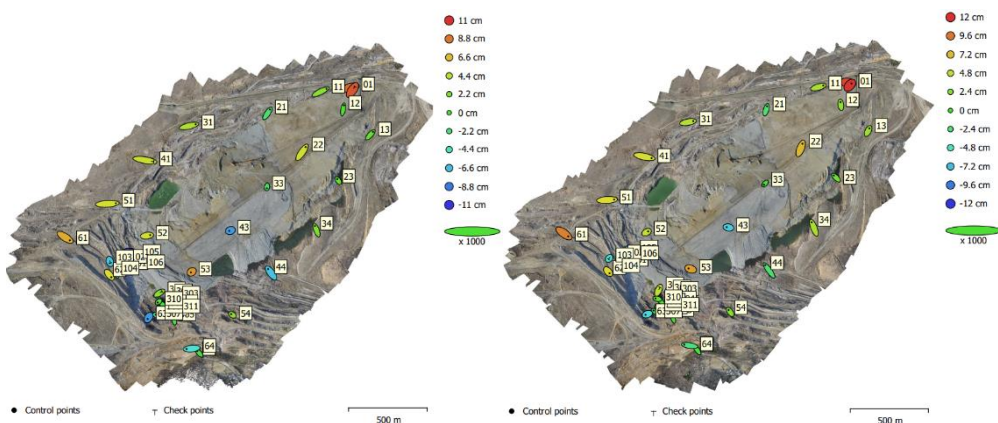


Elipsy chyb polohy kamery, kde barva elipsy zobrazuje chybu v ose Z a měřítko je uvedené v legendě.



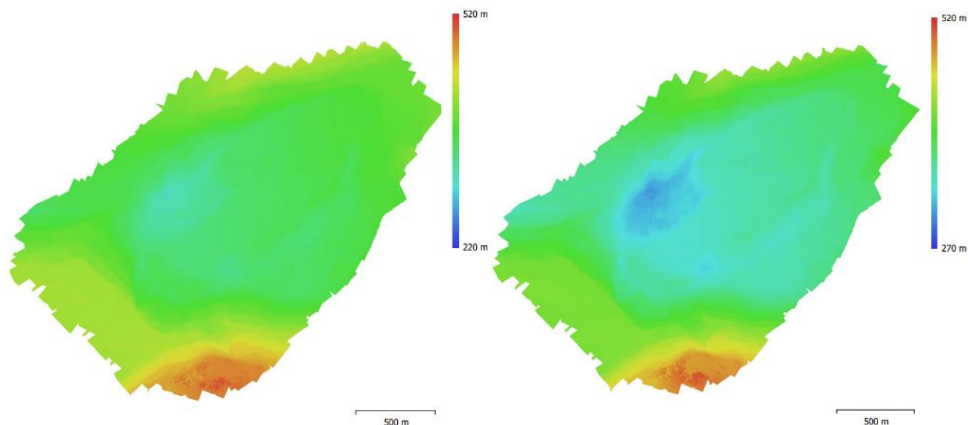
(Obr. 25) Kompletní území – Poloha kamery a elipsy chyb High – Medium

Elipsy chyb vlíčovacích (•) a kontrolních (τ) bodů, kde barva elipsy zobrazuje chybu v ose Z a měřítko je uvedené v legendě.



(Obr. 26) Kompletní území – Poloha bodů a elipsy chyb High – Medium

Rastrový digitální model terénu (DEM).



(Obr. 27) Kompletní území – digitální výškový model High – Medium



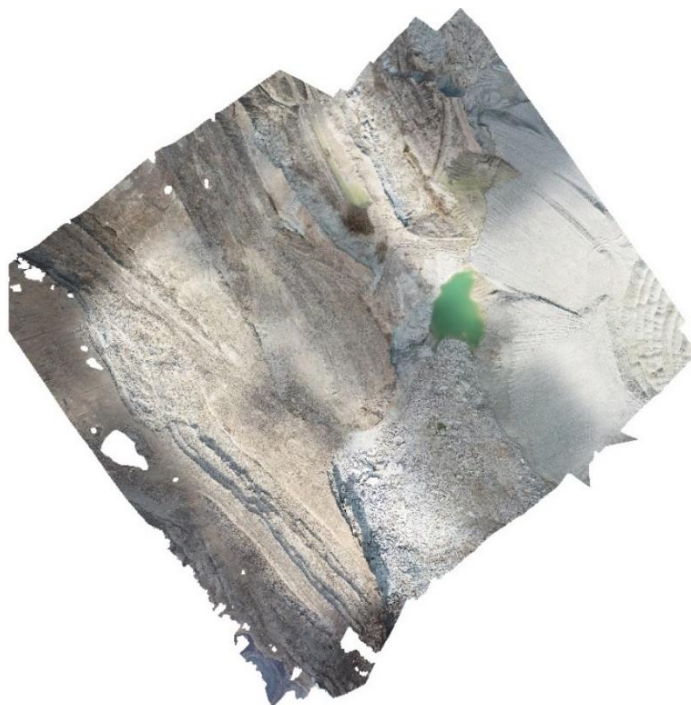
(Tab. 5) Kompletní území – zpráva zpracování dat

Kvalita výpočtu	High	Medium
Počet snímků	480	480
Výška letu	316 m	317
Velikost pixelu	6,86 cm/pix	6,86 cm/pix
Rozloha	3,64 km ²	3,64 km ²
Vlícovací bod		
Počet	31	33
MSE X [cm]	3,0	2,9
MSE Y [cm]	4,0	3,8
MSE Z [cm]	4,3	5,0
MSE XYZ [cm]	6,6	7,0
Kontrolní body		
Počet	9	7
MSE X [cm]	2,9	3,8
MSE Y [cm]	4,8	2,9
MSE Z [cm]	5,8	4,9
MSE XYZ [cm]	5,6	6,9
Řídké mračno		
Bodů	317 317	266 428
Střední kvadratická odchylka ve výpočtu	0,9 pix	1,1 pix
Průměrná multiplikační hodnota bodů	6,3	7,5
Čas vyhotovení	10 min 14 s	7 min 55 s
Husté mračno		
Bodů	215 512 535	52 709 222
Čas vyhotovení	7 h 37 min	5 h 20 min
DEM		
Velikost	29 913 x 29 156	15 241 x 14 846
Velikost pixelu	13,7 cm/pix	27,4 cm/pix
Hustota bodů	53,2 bodů/m ²	13,3 bodů/m ²
Čas vyhotovení	3 min 13 s	1 min 1 s
Ortofoto		
Velikost	27 559 x 22 635	27 560 x 22 609
Velikost pixelu	10 cm	10 cm
Čas vyhotovení	12 min 2 s	8 min 20 s
TIN		
Počet ploch	---	1 114 509
Vrcholy	---	557 328
Čas vyhotovení	---	1 h 35 min
Celkový čas	7 h 52 min 29 s	7 h 5 min 16 s

8.1.2 Území 1

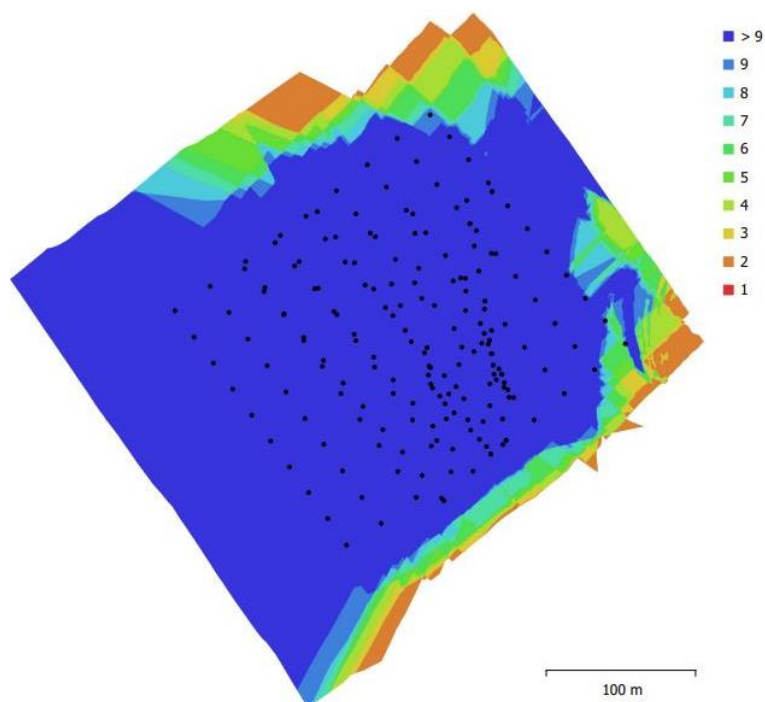
Z fotek vytvořených UAV DJI Phantom 4 Pro byly vytvořeny výstupy, jak z kvality výpočtu „High“, tak z kvality výpočtu „Medium“. Přesnost výsledků a podrobné informace o výstupech jsou uvedené na konci kapitoly v tabulce (Tab. 6).

Ortofoto:



(Obr. 28) Území 1 – Ortofoto

Znázornění překrytu fotografií a polohy kamery:



(Obr. 29) Území 1 – Umístění kamery a překryt fotek



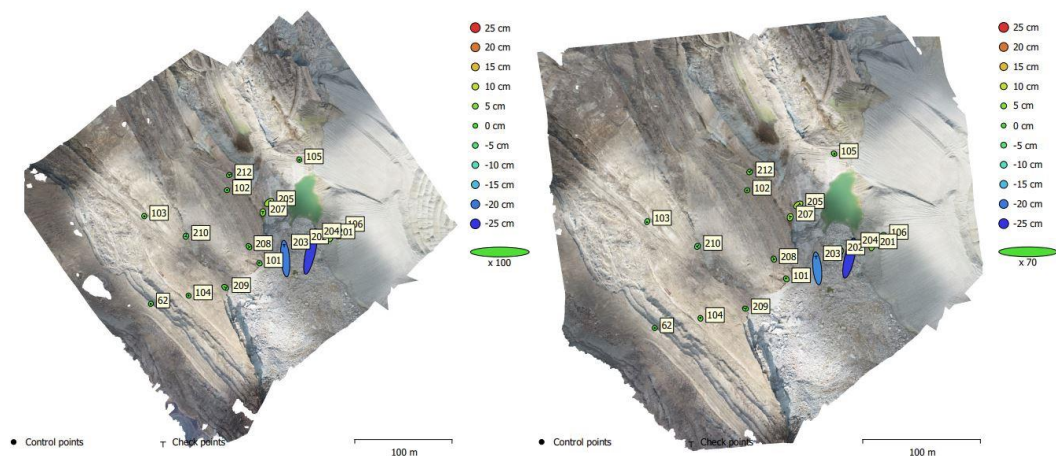
Porovnání ortofota ze snímků z UAV DJI Phantom 4 Pro s ortofotem vyhotovené ze snímků z UAV eBee plus.



(Obr. 30) Území 1 – porovnání ortofot (Detail)

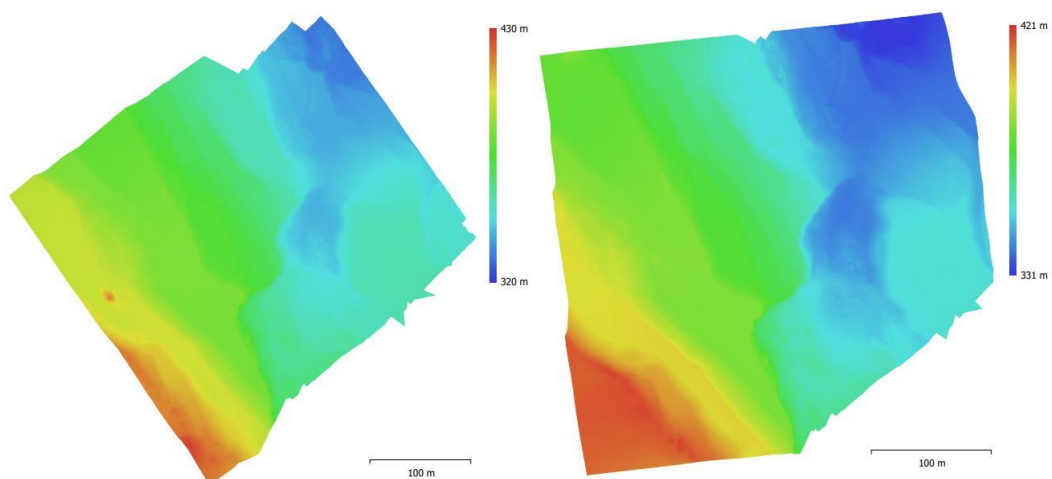


Elipsy chyb vlícovacích (•) a kontrolních (τ) bodů, kde barva elipsy zobrazuje chybu v ose Z a měřítko je uvedené v legendě.



(Obr. 31) Území 1 – Poloha bodů a elipsy chyb High – Medium

Rastrový digitální model terénu (DEM).



(Obr. 32) Území 1 – digitální výškový model High – Medium



(Tab. 6) Území 1 – zpráva zpracování dat

Kvalita výpočtu	High	Medium
Počet snímků	187	187
Výška letu	73,9 m	73 m
Velikost pixelu	1,88 cm/pix	1,87 cm/pix
Rozloha	0,114 km ²	0,113 km ²
Vlícovací bod		
Počet	7	7
MSE X [cm]	0,5	0,9
MSE Y [cm]	0,3	0,6
MSE Z [cm]	0,3	0,9
MSE XYZ [cm]	0,7	1,4
Kontrolní body		
Počet	10	10
MSE X [cm]	14,9	15,1
MSE Y [cm]	3,1	3,2
MSE Z [cm]	10,7	10,8
MSE XYZ [cm]	18,6	18,8
Řídké mračno		
Bodů	190 356	157 683
Střední kvadratická odchylka ve výpočtu	0,6 pix	1,0 pix
Průměrná multiplikační hodnota bodů	3,8	4,4
Čas vyhotovení	4 min 14 s	3 min 19 s
Husté mračno		
Bodů	91 195 236	22 723 847
Čas vyhotovení	2 h 25 min	34 min 30 s
DEM		
Velikost	13 282 x 13 760	5 537 x 5 313
Velikost pixelu	3,8 cm/pix	7,5 cm/pix
Hustota bodů	706 bodů/m ²	178 bodů/m ²
Čas vyhotovení	1 min 0 s	13 s
Ortofoto		
Velikost	23 220 x 23 290	18 910 x 19 273
Velikost pixelu	2 cm	2 cm
Čas vyhotovení	8 min 16 s	6 min 44 s
TIN		
Počet ploch	---	584 311
Vrcholy	---	294 368
Čas vyhotovení	---	1 h 8 min
Celkový čas	2h 38 min 30 s	1 h 52 min 46 s

8.1.3 Území 2

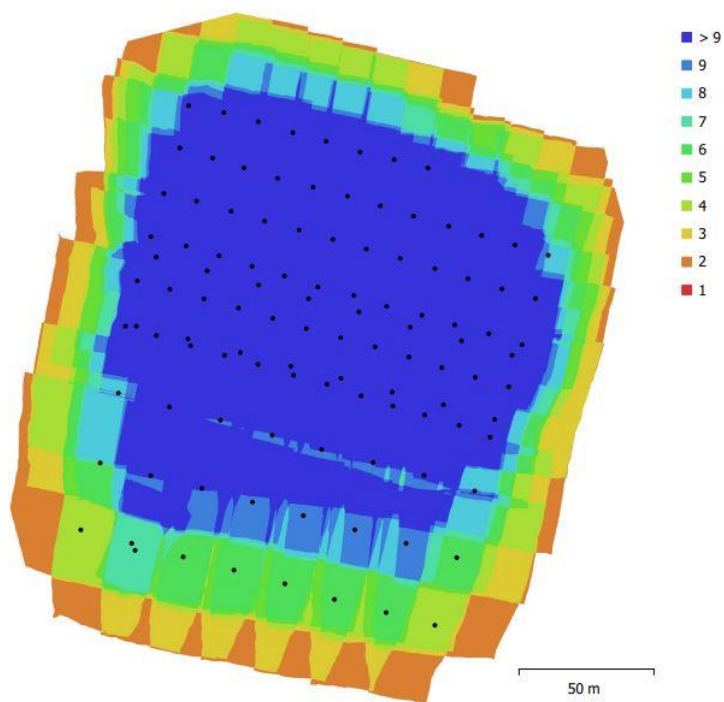
Z fotek vytvořených UAV DJI Phantom 4 Pro byly vytvořeny výstupy, jak z kvality výpočtu „High“, tak z kvality výpočtu „Medium“. Přesnost výsledků a podrobné informace o výstupech jsou uvedené na konci kapitoly v tabulce (Tab. 7).

Ortofoto:



(Obr. 33) Území 2 – Ortofoto

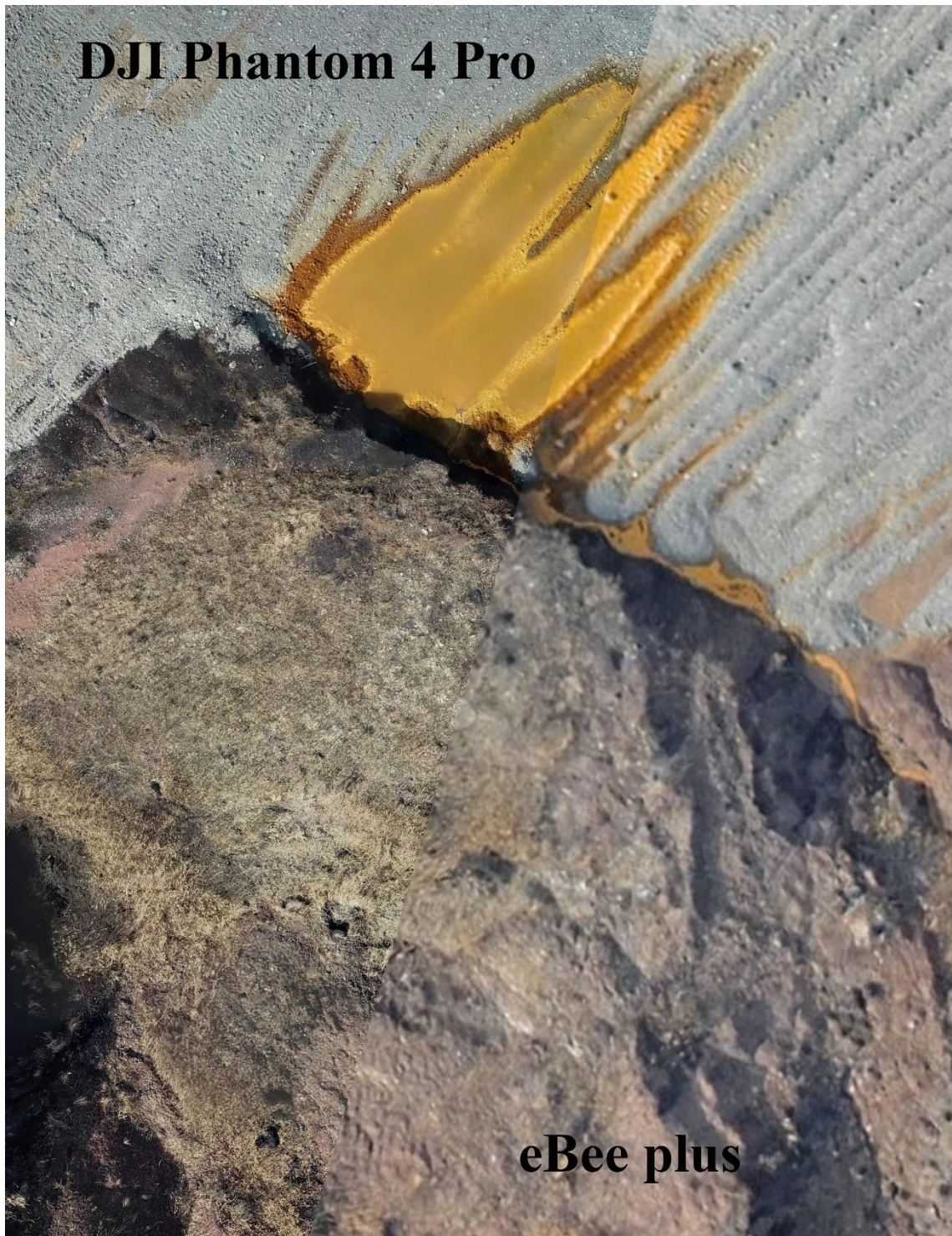
Znázornění překrytu fotografií a polohy kamery:



(Obr. 34) Území 2 – Umístění kamery a překryt fotek



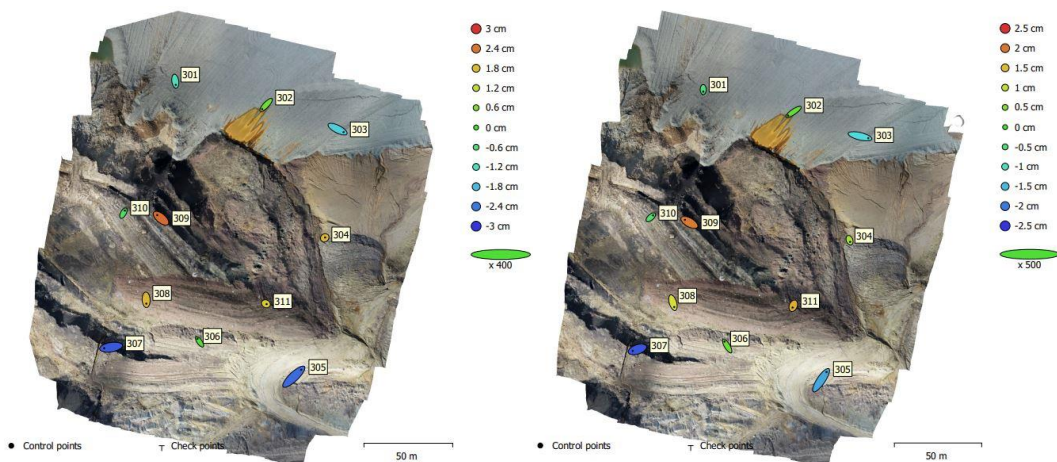
Porovnání ortofota ze snímků z UAV DJI Phantom 4 Pro s ortofotem vyhotovené ze snímků z UAV eBee plus.



(Obr. 35) Území 2 – porovnání ortofot (Detail)

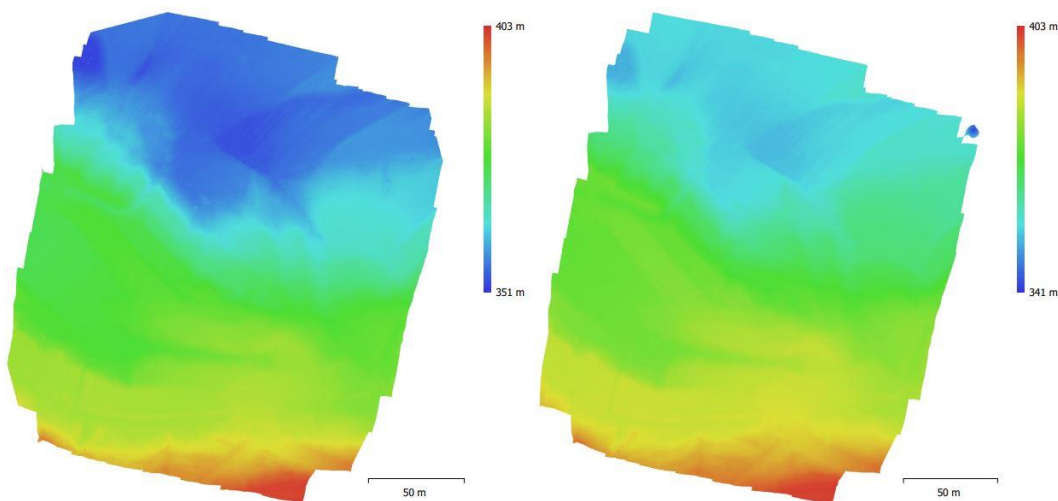


Elipsy chyb vlíčovacích (•) a kontrolních (τ) bodů, kde barva elipsy zobrazuje chybu v ose Z a měřítko je uvedené v legendě.



(Obr. 36) Území 2 – Poloha bodů a elipsy chyb High – Medium

Rastrový digitální model terénu (DEM).



(Obr. 37) Území 2 – digitální výškový model High – Medium



(Tab. 7) Území 2 – zpráva zpracování dat

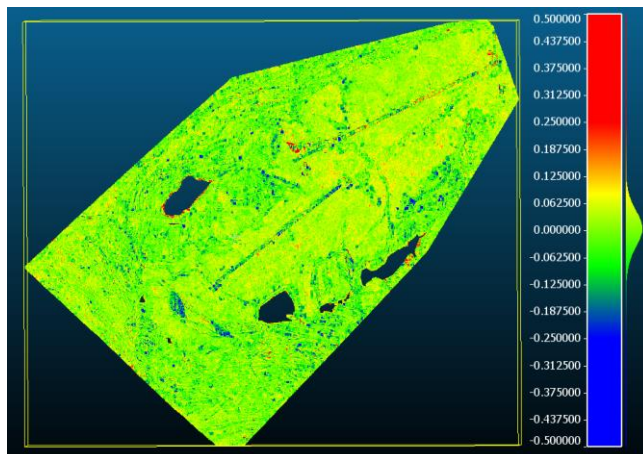
Kvalita výpočtu	High	Medium
Počet fotek	109	109
Výška letu	56,9 m	56,7 m
Velikost pixelu	1,44 cm/pix	1,44 cm/pix
Rozloha	0,0435 km ²	0,0438 km ²
Vlčovací bod		
Počet	11	11
MSE X [cm]	1,0	0,8
MSE Y [cm]	1,1	0,9
MSE Z [cm]	1,7	1,3
MSE XYZ [cm]	2,3	1,8
Kontrolní body		
Počet	0	0
Řídké mračno		
Bodů	101 376	96 594
Sřední kvadratická odchylka ve výpočtu	0,5 pix	1,25 pix
Průměrná multiplikační bodů	4,4	4,7
Čas vyhotovení	2 min 10 s	1 min 29 s
Husté mračno		
Bodů	63 288 088	15 519 403
Čas vyhotovení	1 h 15 min 56 s	18 min 14 s
DEM		
Velikost	10 714 x 11 204	4 528 x 5 092
Velikost pixelu	2,9 cm/pix	5,8 cm/pix
Hustota bodů	1210 bodů/m ²	302 bodů/m ²
Čas vyhotovení	2 min 11 s	10 s
Ortofoto		
Velikost	11 363 x 12 853	11 684 x 13 063
Velikost pixelu	2 cm	2 cm
Čas vyhotovení	2 min 11 s	1 min 49 s
TIN		
Počet ploch	5 540 572	369 592
Vrcholy	2 771 671	184 897
Čas vyhotovení	1 h 31 min	20 min 27 s
Celkový čas	2h 53 min 28 s	42 min 9 s

8.2 Porovnání metody výpočtu

Podle kapitoly 7.3 *Práce v CloudCompare* bylo vyhotoveno porovnání mračen bodů vyhotovené ze stejných snímků, s jinou přesností výpočtu.

8.2.1 Kompletní území

Grafické znázornění:



(Obr. 38) Kompletní území – porovnání High/Medium

Z grafického znázornění odchylek je vidět, že největší odchylky nastaly u nedokonalého ořezání vodních hladin a těžebních strojů.

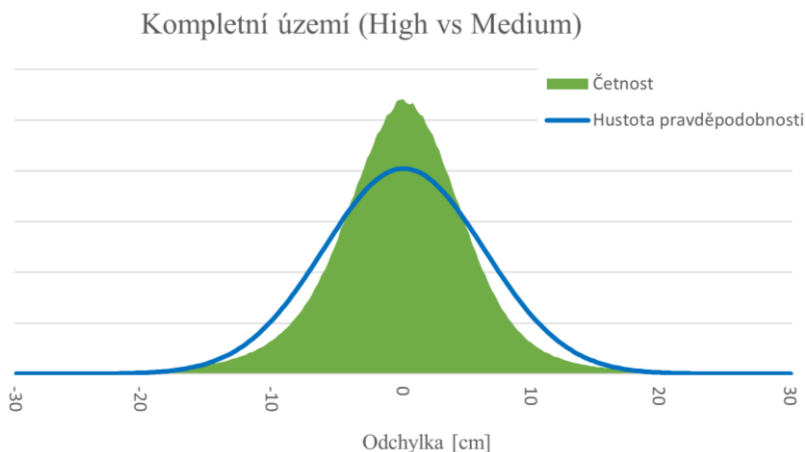
Z odchylek byla vypočtena střední hodnota (μ) a směrodatná odchylka (σ), ze kterých byla vypočtena hustota pravděpodobnosti ve tvaru Gaussovy funkce (1). Směrodatná odchylka podle očekávání odpovídá velikosti pixelů.

μ [m]	σ [m]
0,002	0,062

(Tab. 8) Kompletní území – střední hodnota a sm. odch.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

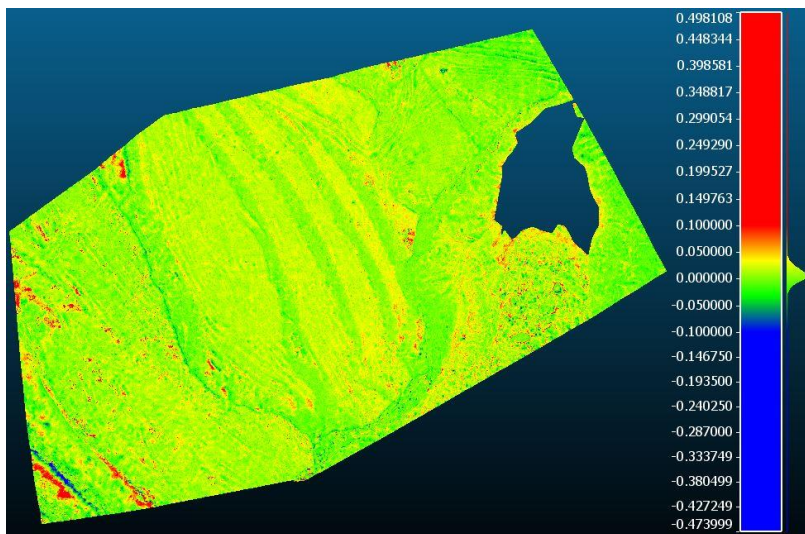
Znázornění četnosti odchylek a Gaussovy křivky.



(Obr. 39) Kompletní území – Normální rozdělení

8.2.2 Území 1

Grafické znázornění:



(Obr. 40) Území 1 – porovnání High/Medium

Z grafického znázornění odchylek je vidět, že největší odchylky nastaly opět u nedokonalého ořezání vodní hladiny a ostrých hran terénu.

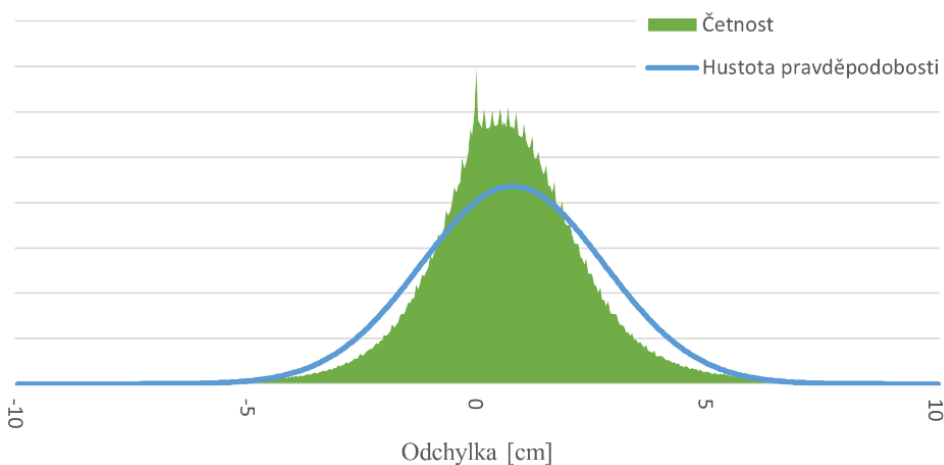
Z odchylek byla vypočtena střední hodnota (μ) a směrodatná odchylka (σ), ze kterých byla vypočtena hustota pravděpodobnosti ve tvaru Gaussovy funkce (1). Směrodatná odchylka podle očekávání odpovídá velikosti pixelů.

μ [m]	σ [m]
0,007	0,020

(Tab. 9) Území 1 – střední hodnota a sm. odch.

Znázornění četnosti odchylek a Gaussovy křivky.

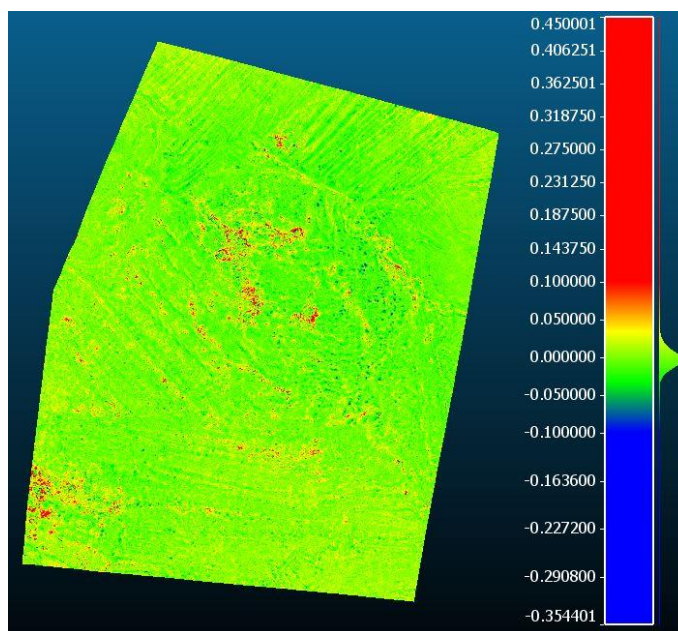
Území 1 (High vs Medium)



(Obr. 41) Území 1 – Normální rozdělení

8.2.3 Území 2

Grafické znázornění:



(Obr. 42) Území 2 – porovnání High/Medium

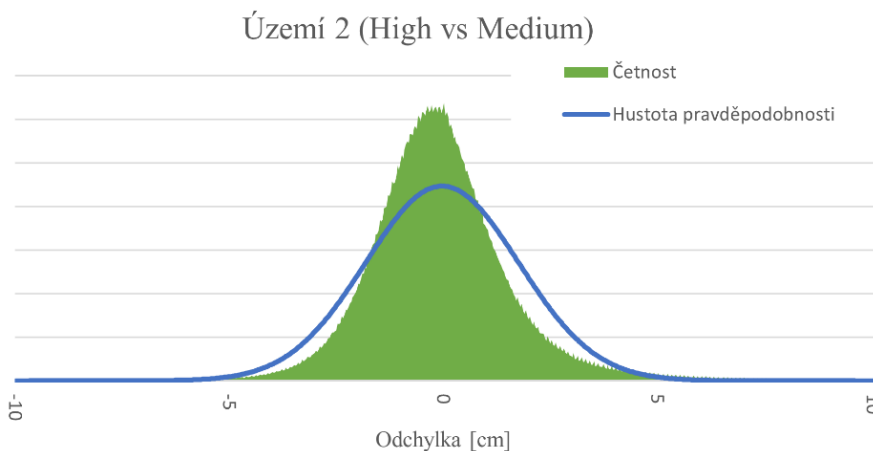
Z grafického znázornění odchylek je vidět, že největší odchylky nastaly v místech vegetace.

Z odchylek byla vypočtena střední hodnota (μ) a směrodatná odchylka (σ), ze kterých byla vypočtena hustota pravděpodobnosti ve tvaru Gaussovy funkce (1). Směrodatná odchylka podle očekávání odpovídá velikosti pixelů.

μ [m]	σ [m]
0,001	0,018

(Tab. 10) Území 2 – střední hodnota a sm. odch.

Znázornění četnosti odchylek a Gaussovy křivky.



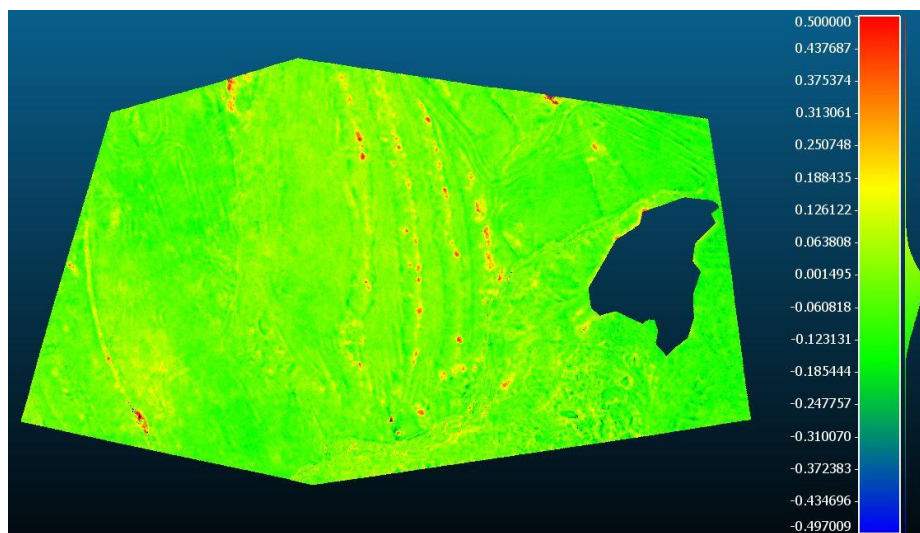
(Obr. 43) Území 2 – Normální rozdělení

8.3 eBee plus vs Phantom 4 Pro

Porovnání dvou snímkování bylo provedeno na dvou územích, vypočtené dvěma kvalitami výpočtu hustého mračna bodů (High a Medium).

8.3.1 Území 1 High

Grafické znázornění:



(Obr. 44) Území 1 high – porovnání Phantom/Ebee

Z grafického znázornění odchylek jde vidět, že největší odchylky nastaly u nedokonalého ořezání vodní hladiny a ostrých hran terénu.

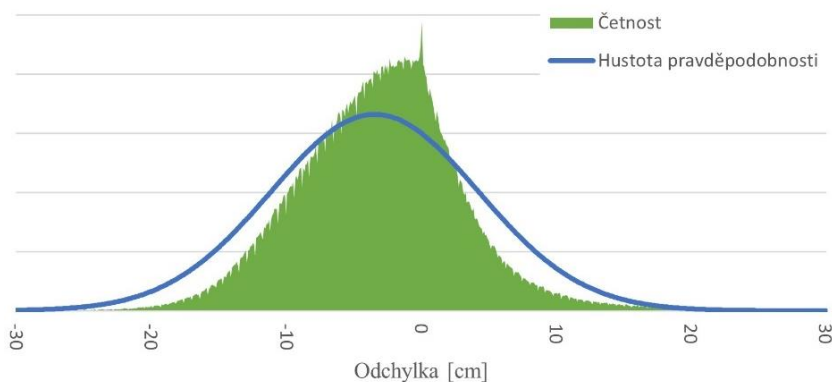
Z odchylek byla vypočtena střední hodnota (μ) a směrodatná odchylka (σ), ze kterých byla vypočtena hustota pravděpodobnosti ve tvaru Gaussovy funkce (1). Směrodatná odchylka podle očekávání odpovídá velikosti větších z pixelů. Střední hodnota je ovlivněna různým připojením mračen do výškového souřadnicového systému Bpv.

μ [m]	σ [m]
-0,029	0,065

(Tab. 11) Území 1 high – střední hodnota a sm. odch.

Znázornění četnosti odchylek a Gaussovy křivky.

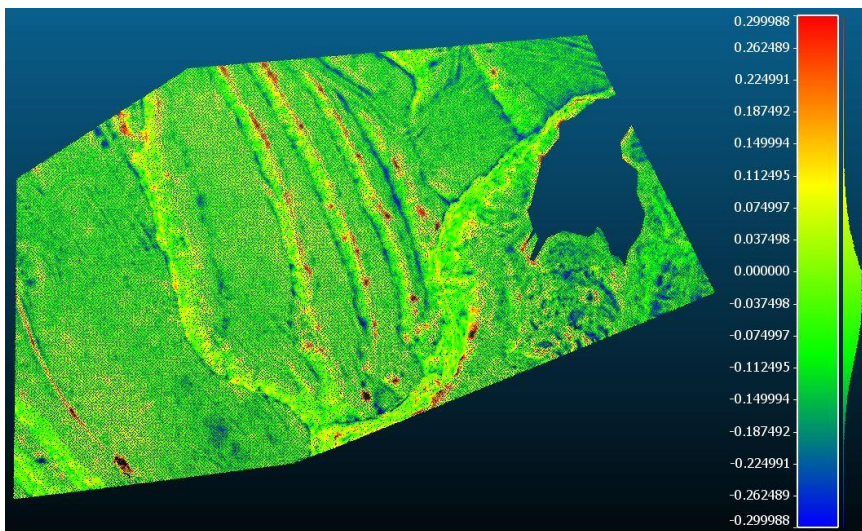
Území 1 high (Phantom vs eBee)



(Obr. 45) Území 1 high – Normální rozdělení

8.3.2 Území 1 Medium

Grafické znázornění:



(Obr. 46) Území 1 medium – porovnání Phantom/Ebee

Z grafického znázornění odchylek jde vidět, že největší odchylky nastaly u nedokonalého ořezání vodní hladiny a ostrých hran terénu.

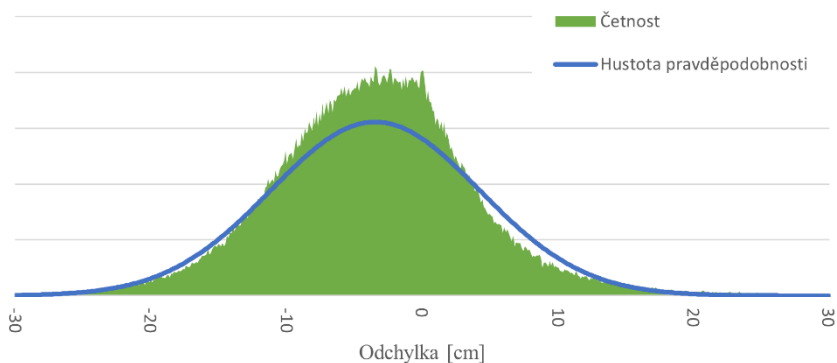
Z odchylek byla vypočtena střední hodnota (μ) a směrodatná odchylka (σ), ze kterých byla vypočtena hustota pravděpodobnosti ve tvaru Gaussovy funkce (1). Směrodatná odchylka podle očekávání odpovídá velikosti větších z pixelů. Střední hodnota je ovlivněna různým připojením mračen do výškového souřadnicového systému Bpv.

μ [m]	σ [m]
-0,035	0,077

(Tab. 12) Území 1 medium – střední hodnota a sm. odch.

Znázornění četnosti odchylek a Gaussovy křivky.

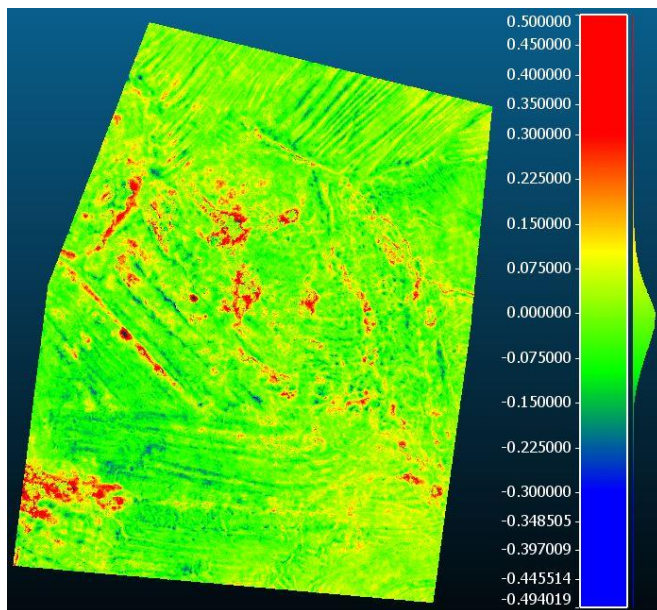
Území 1 medium (Phantom vs eBee)



(Obr. 47) Území 1 medium – Normální rozdělení

8.3.3 Území 2 High

Grafické znázornění:



(Obr. 48) Území 2 high – porovnání Phantom/Ebee

Z grafického znázornění odchylek jde vidět, že největší odchylky nastaly u nedokonalého ořezání vodní hladiny a ostrých hran terénu.

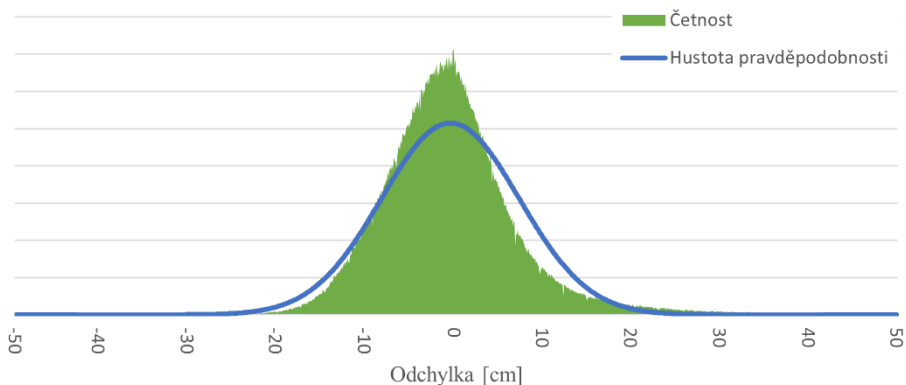
Z odchylek byla vypočtena střední hodnota (μ) a směrodatná odchylka (σ), ze kterých byla vypočtena hustota pravděpodobnosti ve tvaru Gaussovy funkce (1). Směrodatná odchylka podle očekávání odpovídá velikosti větších z pixelů. Střední hodnota je ovlivněna různým připojením mračen do výškového souřadnicového systému Bpv.

μ [m]	σ [m]
-0,004	0,078

(Tab. 13) Území 2 high – střední hodnota a sm. odch.

Znázornění četnosti odchylek a Gaussovy křivky.

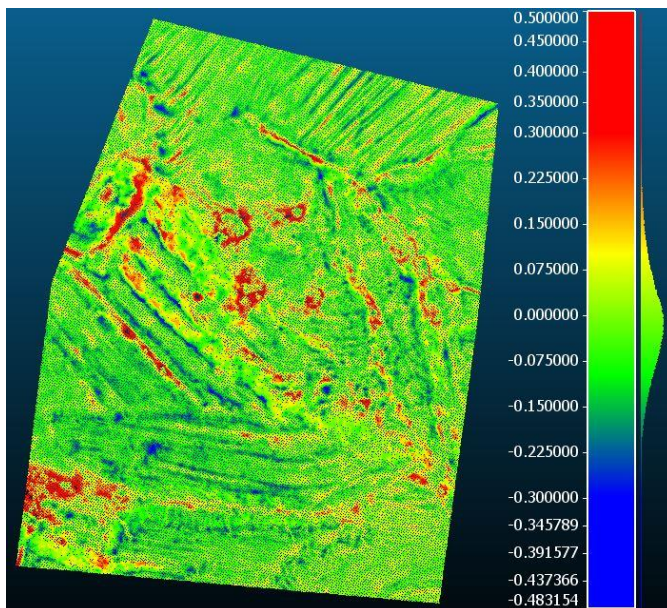
Území 2 high (Phantom vs eBee)



(Obr. 49) Území 2 high – Normální rozdělení

8.3.4 Území 2 Medium

Grafické znázornění:



(Obr. 50) Území 2 medium – porovnání Phantom/Ebee

Z grafického znázornění odchylek jde vidět, že největší odchylky nastaly u ostrých hran terénu a v místech s výskytem rostlin.

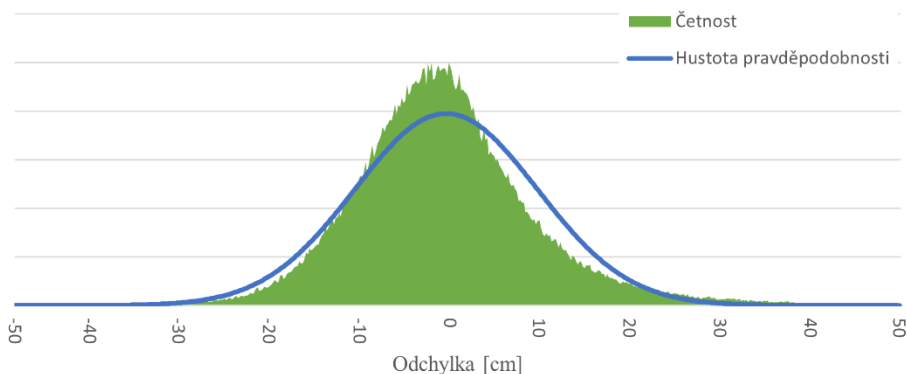
Z odchylek byla vypočtena střední hodnota (μ) a směrodatná odchylka (σ), ze kterých byla vypočtena hustota pravděpodobnosti ve tvaru Gaussovy funkce (1). Směrodatná odchylka podle očekávání odpovídá velikosti větších z pixelů. Střední hodnota je ovlivněna různým připojením mračen do výškového souřadnicového systému Bpv.

μ [m]	σ [m]
-0,005	0,101

(Tab. 14) Území 2 medium – střední hodnota a sm. odch.

Znázornění četnosti odchylek a Gaussovy křivky.

Území 2 medium (Phantom vs eBee)



(Obr. 51) Území 2 medium – Normální rozdělení



8.4 Přesnost připojení

Přesnost výškového připojení byla vypočtena v sw CloudCompare. Jednotlivá mračna bodů byla porovnána s body zaměřenými GNSS stanicí. Porovnání proběhlo stejně jako v předchozích kapitolách funkcí *Compute cloud/cloud distance*, zde byly vypočteny střední hodnoty a směrodatné odchylky.

Na základě kapitoly 8.1.2 *Území 1* byly z veškerých výpočtů vyřazeny body 203,204 pro jejich velkou odlehlost, vzniklou nejspíše špatným připojením GNSS stanice (v protokolu bylo zjištěno méně připojených družic).

Území	Přesnost výpočtu	Počet bodů	Střední hodnota [cm]	Směrodatná odchylka [cm]
Kompletní	High	51	4,7	6,8
	Medium		8,1	10,1
1	High	15	-0,8	2,8
	Medium		-0,8	3,6
2	High	11	-0,3	1,5
	Medium		0,1	1,6

(Tab. 15) Přesnost výškového připojení mračen



9 Závěr

V rámci diplomové práce, byla zmapována velká část lomu Družba leteckou fotogrammetrií pomocí UAV. Pro kontrolu byly zmapovány dvě menší části tohoto území s vyšší přesností (z menší výšky a jiným UAV).

Snímky byly zpracovány v programu Agisoft Metashape Professional, odkud byly vyexportovány veškeré výstupy (DEM, TIN, ortofoto a husté mračno bodů). Výpočet proběhl vždy ve dvou kvalitách výpočtu (High a Medium). Informace o zpracování jsou uvedeny o kapitole 8.1. *Agisoft Metashape*.

Porovnání mračen bodů proběhl v softwaru CloudCompare. Z výsledků lze vidět, že hlavním faktorem pro kvalitu výsledných dat je velikost pixelů ve skutečnost (GSD), která následně zhruba odpovídá směrodatné odchylce.

Při porovnání výsledků, vyhotovených z různých snímků, je vidět, že do střední hodnoty odchylek, se projeví připojení na různé body. Zde je vidět, že přesnost výpočtů není zásadní pro výsledek a přesnost opět ovlivňuje zejména velikost pixelů.

Největší rozdíly se projeví na vodních hladinách (tato místa byla co nejlépe ořezána), hranách terénu a místech s vegetací.

Přesnost připojení ukázala stejné výsledky jako ostatní porovnání, a to že přesnost připojení ovlivňuje velikost pixelu.

Veškeré výsledky jsou uvedeny v kapitole 8. *Výsledky* v přehledných tabulkách.



Použitá literatura

- [1] Řízení leteckého provozu, České republiky, s.p. *Legislativa* [online]. 2021. [cit. 5.5.2021]. Dostupné z: <https://letejtezodpovedne.cz/legislativa/>
- [2] Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s. *Sokolovská uhelná* [online]. 2008. [cit. 10.5.2021]. Dostupné z: <https://www.suas.cz>.
- [3] Robot word s.r.o.. *DJI Phantom 4 Pro* [online]. 2018. [cit. 8.5.2021]. Dostupné z: https://www.robotworld.cz/dji-phantom-4-pro?gclid=Cj0KCQjw9_mDBhCGARIsAN3PaFOA1nlKWs9JWsulgSk18IxCkv32hA-xCw4Sejmqv4w25IgvWSuAIUaAghmEALw_wcB
- [4] SenseFly. *Mapovací dron eBee X s pevnými křídly* [online]. 2021. [cit. 8.5.2021]. Dostupné z: <https://www.sensefly.com/drone/ebee-x-fixed-wing-drone/>
- [5] Agisoft LLC. *Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 1.5* [online]. 2019. [cit. 10.5.2021]. Dostupné z: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_en.pdf.
- [6] Prof. Ing. Martin Štroner, Ph.D, Ing. Pavel Třásák, Ph.D. *Easy Transform* [online]. 2016. [cit. 5.5.2021]. Dostupné z: <http://adjustsolutions.cz/easytransform/>
- [7] CloudCompare. *CloudCompare Version 2.6.1 User Manual* [online]. 2020. [cit. 10.5.2021]. Dostupné z: <http://www.cloudcompare.org/doc/qCC/CloudCompare%20v2.6.1%20-%20User%20manual.pdf>



Seznam příloh

Veškeré přílohy jsou umístěny na flash disku, který je nedílnou součástí diplomové práce.

Kompletní území	název složky
komplet_model.jpg	textura pro 3D model
komplet_model.obj	3D model
komplet_ortofoto.jpg	ortofoto
Kompletní území snímky	složka se snímky
Kompletní území high	název složky
komplet_high.psx	projekt v programu Agisoft
komplet_high_mracno.las	mračno bodů
komplet_high_protokol.pdf	protokol z programu Agisoft
Kompletní území medium	název složky
komplet_medium.psx	projekt v programu Agisoft
komplet_medium_mracno.las	mračno bodů
komplet_medium_protokol.pdf	protokol z programu Agisoft
Území 1	název složky
uzemi1_model.jpg	textura pro 3D model
uzemi1_model.obj	3D model
uzemi1_ortofoto.jpg	ortofoto
Území 1 snímky	složka se snímky
Území 1 high	název složky
uzemi1_high.psx	projekt v programu Agisoft
uzemi1_high_mracno.las	mračno bodů
uzemi1_high_protokol.pdf	protokol z programu Agisoft
Území 1 medium	název složky
uzemi1_medium.psx	projekt v programu Agisoft
uzemi1_medium_mracno.las	mračno bodů
uzemi1_medium_protokol.pdf	protokol z programu Agisoft
Území 2	název složky
uzemi2_model.jpg	textura pro 3D model
uzemi2_model.obj	3D model
uzemi2_ortofoto.jpg	ortofoto
Území 2 snímky	složka se snímky
Území 2 high	název složky
uzemi2_high.psx	projekt v programu Agisoft
uzemi2_high_mracno.las	mračno bodů
uzemi2_high_protokol.pdf	protokol z programu Agisoft
Území 2 medium	název složky
uzemi2_medium.psx	projekt v programu Agisoft
uzemi2_medium_mracno.las	mračno bodů
uzemi2_medium_protokol.pdf	protokol z programu Agisoft



Seznam obrázků

(Obr. 1) Doklad o absolvování online výcviku.....	10
(Obr. 2) Obecná pravidla Open.....	11
(Obr. 3) Kategorie letu A1(C0).....	11
(Obr. 4) Kategorie letu A1(C1).....	11
(Obr. 5) Kategorie letu A2.....	12
(Obr. 6) Kategorie letu A3.....	12
(Obr. 7) Zájmové území	13
(Obr. 8) GNSS ROVER S82-V	15
(Obr. 9) Kvadrakoptéra DJI Phantom 4 Pro	16
(Obr. 10) UAV Ebee plus.....	16
(Obr. 11) Rozložení vřícovacích bodů.....	18
(Obr. 12) Signalizace bodů.....	19
(Obr. 13) Ukázka aplikace Drone Harmony.....	19
(Obr. 14) Ukázka programu eMotion 3	20
(Obr. 15) Ukázka řídkého mračna bodů	21
(Obr. 16) Označení VB	22
(Obr. 17) Ukázka hustého mračna bodů.....	22
(Obr. 18) Ukázka TIN.....	23
(Obr. 19) Ukázka DEM.....	23
(Obr. 20) Ukázka ortofota	24
(Obr. 21) Znázornění odchylek.....	25
(Obr. 22) Příklad histogramu	26
(Obr. 23) Kompletní území – Ortofoto.....	27
(Obr. 24) Kompletní území – Umístění kamery a překryt fotek	27
(Obr. 25) Kompletní území – Poloha kamery a elipsy chyb High – Medium.....	28
(Obr. 26) Kompletní území – Poloha bodů a elipsy chyb High – Medium	28
(Obr. 27) Kompletní území – digitální výškový model High – Medium	28
(Obr. 28) Území 1 – Ortofoto	30
(Obr. 29) Území 1 – Umístění kamery a překryt fotek.....	30
(Obr. 30) Území 1 – porovnání ortofot (Detail)	31
(Obr. 31) Území 1 – Poloha bodů a elipsy chyb High – Medium.....	32
(Obr. 32) Území 1 – digitální výškový model High – Medium.....	32
(Obr. 33) Území 2 – Ortofoto	34
(Obr. 34) Území 2 – Umístění kamery a překryt fotek.....	34
(Obr. 35) Území 2 – porovnání ortofot (Detail)	35
(Obr. 36) Území 2 – Poloha bodů a elipsy chyb High – Medium.....	36
(Obr. 37) Území 2 – digitální výškový model High – Medium.....	36
(Obr. 38) Kompletní území – porovnání High/Medium	38
(Obr. 39) Kompletní území – Normální rozdělení	38
(Obr. 40) Území 1 – porovnání High/Medium.....	39



(Obr. 41) Území 1 – Normální rozdělení	39
(Obr. 42) Území 2 – porovnání High/Medium.....	40
(Obr. 43) Území 2 – Normální rozdělení	40
(Obr. 44) Území 1 high – porovnání Phantom/Ebee	41
(Obr. 45) Území 1 high – Normální rozdělení	41
(Obr. 46) Území 1 medium – porovnání Phantom/Ebee.....	42
(Obr. 47) Území 1 medium – Normální rozdělení.....	42
(Obr. 48) Území 2 high – porovnání Phantom/Ebee	43
(Obr. 49) Území 2 high – Normální rozdělení	43
(Obr. 50) Území 2 medium – porovnání Phantom/Ebee.....	44
(Obr. 51) Území 2 medium – Normální rozdělení.....	44



Seznam tabulek

(Tab. 1) Váhové rozdělení UAV.....	10
(Tab. 2) Vlastnosti kamery FC6310S.....	15
(Tab. 3) Vlastnosti kamery S.O.D.A corridor	16
(Tab. 4) 3D export Agisoft Metashape.....	24
(Tab. 5) Kompletní území – zpráva zpracování dat.....	29
(Tab. 6) Území 1 – zpráva zpracování dat.....	33
(Tab. 7) Území 2 – zpráva zpracování dat.....	37
(Tab. 8) Kompletní území – střední hodnota a sm. odch.....	38
(Tab. 9) Území 1 – střední hodnota a sm. odch.	39
(Tab. 10) Území 2 – střední hodnota a sm. odch.	40
(Tab. 11) Území 1 high – střední hodnota a sm. odch.	41
(Tab. 12) Území 1 medium – střední hodnota a sm. odch.....	42
(Tab. 13) Území 2 high – střední hodnota a sm. odch.	43
(Tab. 14) Území 2 medium – střední hodnota a sm. odch.....	44
(Tab. 15) Přesnost výškového připojení mračen.....	45