

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Katedra krajinného managementu

Vedoucí katedry: doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Využití fotogrammetrických softwarů v KOPU

Autor bakalářské práce:

Václav Roháč

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tomáš Pavlíček, Ph. D.

České Budějovice, 2020

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Václav ROHÁČ**
Osobní číslo: **Z17537**
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Téma práce: **Využití fotogrammetrických softwarů v KOPU**
Zadávající katedra: **Katedra krajinného managementu**

Zásady pro vypracování

Zpracovat rešerši o sběru dat pro práce spojené s KOPU a o možnostech fotogrammetrických softwarů.

V řešeném území zmapovat vybrané prvky a části PSZ pomocí bezpilotní technologie.

Zpracování snímků vybraných prvků a částí PSZ pomocí fotogrammetrických softwarů.

Vyhodnocení výhod používání bezpilotních technologií v KOPU.

Tvorba výsledných map a kartogramů.

Rozsah pracovní zprávy: **30 stran textu**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

KHEL, T., VOPRAVIL, J., VRABCOVÁ, T., ČERMÁKOVÁ, M., BANÝROVÁ, J., NOVÁK, P., LAGOVÁ, J., CHRAMOSTOVÁ, B.: Metodický postup interpretace podkladů Dálkového průzkumu Země k omezení dopadů přírodních a antropických vlivů na půdu. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, 2009. ISBN 978-80-904027-6-8.

KARAS, J., TICHÝ, T.: Drony. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4680-4.

DOLEŽAL, P., PAVLÍK, M., STŘÍTECKÝ, L., DUMBROVSKÝ, M., MARTÉNEK, J. 2010.: Metodický návod k provádění pozemkových úprav. Praha: Ministerstvo zemědělství – Ústřední pozemkový úřad. 173 s. .

TLAPÁKOVÁ, L., ČMELÍK, M., ŽALOUDEK, J., KARAS, J.: Metodika identifikace drenážních systémů a stanovení jejich funkčnosti. Pardubice: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2016. ISBN 978-8087361-58-0.

HÁNEK, P., a kol.: Geodézie pro obor pozemkové úpravy a převody nemovitostí. České Budějovice 2008.

WILFRIED, L.: Digital photogrammetry a practical course. Berlin, 2016. ISBN 978-3-662-50462-8

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Pavlíček, Ph.D.**
Katedra krajinného managementu

Datum zadání bakalářské práce: **11. března 2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2020**

V Českých Budějovicích dne 11. března 2019



prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA ⁴²
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 1888, 370 05 České Budějovice

L.S.



doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum: 25.6.2020.....

Podpis studenta: .....

Poděkování

Mé poděkování patří vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Pavlíčkovi, Ph. D. za jeho odbornou pomoc, cenné připomínky a rady, dále Ing. Jakobovi Polenskému za pomoc při sběru dat a snímky UAV, v neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině, která mě hmotně i duševně zabezpečila.

Abstrakt

Úkolem této bakalářské práce je přinést ucelený pohled na problematiku fotogrammetrie a fotogrammetrických softwarů a jejich možného využití v komplexních pozemkových úpravách. Práce se rovněž zabývá bezpilotními leteckými prostředky. První část práce je teoretickým uvedením do tématu letecké fotogrammetrie a fotogrammetrického softwaru, dálkového průzkumu Země obecně a pozemkových úprav. Ve druhé praktické části práce je popsána příprava, sběr dat a následná realizace 3D modelů dvou krajinných prvků pomocí fotogrammetrického softwaru Bentley ContextCapture.

Klíčová slova: bezpilotní letecké prostředky, fotogrammetrické mapování, Bentley ContextCapture, fotogrammetrický software, 3D modelování, pozemkové úpravy

Abstract

The task of this bachelor's thesis is to bring a comprehensive view of the issue of photogrammetry and photogrammetric software and their possible use in land consolidation. The work also deals with unmanned aerial vehicles. The first part of the work is a theoretical introduction to the topic of aerial photogrammetry and photogrammetric software, remote sensing in general and land consolidation. The second practical part of the work describes the preparation, data collection and subsequent implementation of a 3D model of two landscape elements using photogrammetric software Bentley ContextCapture.

Key Words: Unmanned Aerial Vehicles, photogrammetric mapping, Bentley ContextCapture, photogrammetric software, 3D modeling, land consolidation

Obsah

1	Úvod	- 8 -
2	Literární rešerše.....	- 9 -
2.1	Fotogrammetrie	- 9 -
2.1.1	<i>Definice</i>	<i>- 9 -</i>
2.1.2	<i>Principy a zásady</i>	<i>- 10 -</i>
2.1.3	<i>Historie.....</i>	<i>- 12 -</i>
2.1.4	<i>Využití.....</i>	<i>- 13 -</i>
2.2	UAV	- 14 -
2.2.1	<i>Definice</i>	<i>- 14 -</i>
2.2.2	<i>Historie.....</i>	<i>- 16 -</i>
2.2.3	<i>Využití.....</i>	<i>- 20 -</i>
2.2.4	<i>Rozdělení</i>	<i>- 23 -</i>
2.3	Pozemkové úpravy	- 25 -
2.3.1	<i>Cíle a definice.....</i>	<i>- 25 -</i>
2.3.2	<i>Historie.....</i>	<i>- 26 -</i>
2.3.3	<i>Důvody zahájení.....</i>	<i>- 28 -</i>
2.3.4	<i>Formy</i>	<i>- 29 -</i>
2.3.5	<i>Obvod</i>	<i>- 30 -</i>
2.4	Dálkový průzkum Země	- 30 -
2.4.1	<i>Definice</i>	<i>- 30 -</i>
2.4.2	<i>Historie.....</i>	<i>- 31 -</i>
2.4.3	<i>Využití.....</i>	<i>- 35 -</i>
2.5	Fotogrammetrický software	- 37 -
3	Metodika	- 40 -
3.1	Cíl práce	- 40 -

3.2	Popis území – Dražíč.....	- 40 -
3.2.1	<i>První lokalita</i>	- 40 -
3.3	Popis území – Hvožd'any u Bechyně	- 41 -
3.3.1	<i>Druhá lokalita</i>	- 41 -
3.4	Popis UAV	- 43 -
3.5	Principy sběru dat - metody.....	- 45 -
3.6	Let.....	- 45 -
3.7	Zpracování v programu Bentley ContextCapture.....	- 48 -
4	Výsledky a diskuze	- 54 -
5	Zhodnocení a závěr	- 57 -
	Seznam použité literatury	- 59 -
	Publikace	- 59 -
	Legislativa	- 61 -
	Internetové zdroje	- 61 -
	Seznam použitých obrázků	- 63 -
	Seznam použitých tabulek	- 66 -
	Seznam použitých příloh	- 67 -

1 Úvod

Bezpilotní letecké prostředky („drony“), se stávají běžnou součástí našich životů. A to právě proto, že jsou čím dál tím dostupnější běžnému uživateli, navíc skýtají mnoho výhod, např. nízké provozní náklady, nízká hmotnost a hlučnost (v porovnání s konvenčními leteckými prostředky), jednoduchost ovládání a vysoká mobilita zaručující vzlet téměř kdekoliv, schopnost poskytnutí velmi kvalitních detailních výstupů zajišťuje spolupráci s katastrem nemovitostí, možnost využití i ve špatně dostupných prostorech a rychlý sběr dat je předpokladem pro efektivní průzkum. Mezi jejich nevýhody patří nízká nosnost, relativně krátký dolet a náchylnost k povětrnostním podmínkám, takže je vždy nutná pečlivá předletová příprava.

Dálkový průzkum Země pomocí družic v současnosti nemůže garantovat takovou přesnost jako klasické letecké technologie, avšak každá metoda najde své využití, pokud přihlédneme k celkové ploše, kterou potřebujeme zmapovat. Pro pozemkové úpravy se hodí mapy malých a středních měřítek, na jejichž vypracování, následné projektování a prezentaci návrhů i výsledků se metody letecké fotogrammetrie používají.

Dnes se na poli fotogrammetrických softwarů vyskytují různé programy, které jsou schopny obrazová data zpracovat s vysokou přesností, přitom jejich zpracování netrvá dlouhý čas. Z hlediska množství vygenerovaných bodů použitých pro vytvoření textury z bodového mračna vyčnívá americký software Bentley ContextCapture, který ani svou přesností nezaostává za konkurencí. Byl mi doporučen k použití v praktické části vedoucím mé práce i z důvodu, že je dostupný, protože je ve vlastnictví školy. Poslouží jako příklad fotogrammetrického softwaru použitelného v komplexních pozemkových úpravách.

2 Literární rešerše

2.1 Fotogrammetrie

2.1.1 Definice

Název fotogrammetrie je složen ze tří řeckých slov, a to photos (světlo), gramma (záznam) a metron (měřit). Spojení těchto slov zjednodušeně odkazuje na techniku měření z fotografií (Maršík, 1982). Fotogrammetrie je tradiční vědní i technickou disciplínou geodézie, jejíž úkolem je vypočítat souřadnice každého bodu reprezentovaného na fotografii (Linder, 2016). Cílem této metody je získat geodetické souřadnice určovaných bodů z fotografických snímků na základě měření jejich snímkových souřadnic (Pavelka, 2006). Je vědou a technikou, která určí polohu a tvar objektu pomocí měření na snímku (Hanzl a Sukup, 2001).

Každá fotografie obsahuje kvalitativní a kvantitativní data. Fotogrammetrie je zaměřena zejména na vyhodnocování kvantitativních dat, jimiž jsou především rozměry vyfoceného objektu zadané v určité vztahné souřadnicové soustavě. Fotogrammetrické metody se používají při vytváření 2D i 3D výstupů. Principem 3D fotogrammetrického modelování je tzv. stereoskopické zobrazení, to znamená vyjevení objektu nejméně na 2 fotografiích pořízených z odlišných pozic za použití téhož objektivu. Na stejné bázi funguje i lidský zrak a následné prostorové vnímání obrazu v mozku, anebo přeneseně prostorové vnímání zvuku při šíření akustického vlnění do uší (Linder, 2016). V letecké fotogrammetrii se používá stereometoda, kdy se za využití měřených rovinných (2D) souřadnic totožného bodu na obou snímcích lze dopočítat jeho prostorové třírozměrné (3D) souřadnice. V případě potřeby získání rovinných geodetických souřadnic pro tvorbu dvourozměrné mapy použijeme, za podmínky nasnímaného rovinného území, metodu projektivní transformace v georeferencování (Pavelka, 2006). Fotogrammetrie se dělí na základě čtyř následujících primárních kritérií – polohy stanoviště, počtu a konfigurace vyhodnocovaných snímků, technologickém způsobu zpracování získaných dat a podle charakteru výstupu (Pavelka, 2003).

Dle polohy stanoviště se dělí fotogrammetrie na pozemní (terestrickou), leteckou a družicovou. Počet a konfigurace vyhodnocovaných snímků člení fotogrametrii na jednosnímkovou (2D) a vícesnímkovou (3D). Technologický způsob zpracování dat kategorizuje metody analogové, analytické a digitální. Na základě výstupu je klasifikována na grafickou (na kreslicím stole) a číselnou, čili vektor nebo rastr uložený na paměťovém médiu (Pavelka, 2003). Základní používané techniky a procedury fotogrammetrie jak z oblasti letecké fotogrammetrie, tak pozemní a družicové, jsou si podobné (Lillesand et al., 2015).

2.1.2 Principy a zásady

Fotogrammetrická kamera pracuje na identickém principu jako volně dostupná kamera amatérská. Nejzjevnější odlišnost lze spatřit v kvalitě pořízeného snímku, na níž se ve fotogrametrii kladou nejvyšší požadavky (Linder, 2016). S nekvalitním snímkem je totiž přesné vyhodnocení nemožné (Pavelka, 2006). Letecké fotogrammetrické kamery filmují na velký formát filmu (230 × 230 mm), zatímco běžná kamera pracuje s cca 10krát menším (24 × 36 mm). Velký formát je klíčový pro uchování dobrého základního rozlišení fotografie (Linder, 2016).

Další rozdíl se týká délky ohniskové vzdálenosti. Běžná kamera se pohybuje okolo hodnoty ohniskové vzdálenosti 305 mm, zatímco letecká fotogrammetrická kamera operuje přibližně se 153 mm. Ohnisková vzdálenost je u letecké kamery fixně nastavitelná. Systém čoček je konstruován tak, aby bylo zamezeno jakékoliv změně ohniskové vzdálenosti (zoom) na úkor požadované kvality snímku. U fotogrammetrických kamer by mělo být možné nastavit fixní parametry ohniskové vzdálenosti, záměry a expozičního času buď manuálně, anebo aspoň volitelně (Linder, 2016). Při výběru letových parametrů se dbá na kompromis mezi výškou letu a ohniskovou vzdáleností, a to s ohledem na kapacitu baterie UAV (ovlivní délku, výšku a rychlost letu včetně sekvence pořízených snímků) a na velikost paměťového média – počtu uložených snímků (Mouget a Lucet, 2014).

Obraz by měl mít dostatečnou světelnost s hodnotami ISO 200 a více, zejména v jeho tmavých částech – typicky v oblasti rohů (Linder, 2016). Pro získání dobré kvality obrazu by neměla hodnota ISO překročit 800 (Mouget a Lucet, 2014). Digitálními formáty obrazu jsou obvykle JPEG, nebo TIFF. Důležité je, aby velikost

formátování obrazu byla volitelná, anebo aby bylo formátování (komprese) vypnuté pro minimalizaci ztráty kvality (Linder, 2016).

V samotném procesu leteckého snímkování je nutné dodržet určité zásady. V prvé řadě se vybírá lokalita a z důvodu dodržení vhodného osvětlení a kladu listů se volí nejčastěji směr východ-západ, je-li to možné (Pavelka, 2006).

Prvky vnější orientace snímku jsou kromě souřadnic X_0 , Y_0 a Z_0 také rotace kolem oněch os ω , φ , κ . Při pozemní fotogrammetrii jsou zmíněné prvky vnější orientace jednoduše určitelné pomocí zaměření geodetickými metodami a nastavením měřické komory. Avšak při letecké variantě fotogrammetrie jsou, vyjma metod s užitím GPS, neznámé, neboť je letadlo v pohybu a je vystaveno meteorologickým a fyzikálním vlivům (Pavelka, 2003). Odchyšky rotací úhlů je potřeba udržet řádově 2-3°, ve speciálních případech do 5°. Zejména je nezbytné se zaměřit na úhel rotace κ okolo osy Z, který představuje azimut letu, a to především při působící síle větru, kdy letadlo může letět ve skutečnosti mírně pootočené ve vlastní rovině letu, i když zdánlivě na první pohled letí správným směrem (Pavelka, 2006).

Prvky vnitřní orientace jsou předem známy - ohnisková vzdálenost f (konstanta komory), poloha hlavního bodu $H'(dx', dy')$ a povětšinou i hodnota radiální distorze, neboli zkreslení na základě mj. výrobních nepřesností objektivu (Pavelka, 2003).

Klíčovým úkonem je dodržet podélný překryt snímků aspoň z 60 %, v zastavěných oblastech je doporučeno až 80 % z důvodu přesnějšího vyhodnocení zakrytých prostor. Příčný překryt se udává v rozmezí 20-40 % (Pavelka, 2006). Tyto referenční hodnoty, podélného překrytu 60 % a příčného 20 %, potvrzuje i druhý zdroj (Mouget a Lucet, 2014). Pro snížení rozmazání obrazu se určuje tzv. smaz. Ten je závislý na rychlosti letadla, na expozičním času a na měřítkovém čísle. Čím jsou hodnoty rychlosti a expozice nižší, tím je smaz také menší. Naopak s menším měřítkovým číslem roste. Principem smazu je, že se nestihne část světelné energie přeměnit na obraz, dokud je závěrka otevřená (Pavelka, 2006).

2.1.3 Historie

Poprvé bylo slovo fotogrammetrie použito v roce 1858 Meydenbauerem, který se v odborných kruzích považuje za jednoho ze zakladatelů tohoto vědního oboru (Pavelka, 2003). Některé dílčí metody využívané ve fotogrammetrii byly známy již před vznikem první fotografie, jedná se především o postupy založené na deskriptivní geometrii. V dnešní digitální průsekové fotogrammetrii je právě jedna z nejstarších metod znovu používána – protínání vpřed z úhlů realizované prostřednictvím měřických snímků (Pavelka, 2006).

Bezkontaktní fotogrammetrii aplikujeme cirka od druhé poloviny 19. století, dnes tedy již přes 170 let. Počátkem 20. století největší rozvoj zažila stereoskopie a letecká fotogrammetrie založená na analogickém zpracovávání obrazových dat, která byla vyhodnocována na složitých mechanicko-optických přístrojích. Od druhé poloviny 20. století se metody s příchodem počítačové techniky mění na analytické, které ke zpracování dat vyžadují výkonnou počítačovou techniku. Fotogrammetrie se po jejím rozvoji ve 2. světové válce člení na pozemní a leteckou (Pavelka, 2003).

Zhruba od 80. let minulého století se objevují první digitální metody, které dnes již nad ostatními koncepcemi převládají. Vyčlenila se družicová fotogrammetrie a technologie laserového skenování. Laserové skenování ve spojení s digitální fotogrammetrií vnáší nový pohled na problematiku 3D modelování objektů z hlediska možnosti ještě detailnějších výstupů (Pavelka, 2003).

Na území našeho státu byly až do 90. let používány analogické metody fotogrammetrie. Fotogrammetrické snímkování bylo v dobách minulého komunistického režimu, na základě Zákona č. 102/71, o ochraně státního tajemství, který zakazoval pořizování fotografií z balónů a letadel, značně ztíženo. Avšak s pádem tohoto režimu a s příchodem nového tisíciletí začaly české firmy hromadně nakupovat za dosloužilé a zastaralé analogové stroje nové digitální systémy, čímž zasadily základy moderní fotogrammetrii na českém území, a tím se také v kratším čase přiblížily světové úrovni. Rozšířil se trh s družicovými i leteckými snímky vysoké kvality, který je propojený s rozsáhlými zahraničními archivy (Pavelka, 2006). Snímky mají významnou dokumentární hodnotu, navíc mohou být využity multioborově (Pavelka, 2003).

Pokud je nutné přesné snímkování pro katastr nemovitostí, je nezbytné rozmístit na snímkovaném území množství vlíčovacích bodů, které je potřeba pracně geodeticky zaměřit. Nicméně dnešní rychlé zaměření takových bodů pomocí relativně přesné navigace GPS a přesná metoda aerotriangulace značně zrychlují celý proces za současného snížení konečných nákladů (Pavelka, 2006). UAV jsou vybavovány systémy IMU (inerciální měření), které počítají i s úhlovými akceleracemi a rychlostmi tak, aby lépe získaly reálné souřadnice bezpilotního prostředku v čase za jeho pohybu (Mouget a Lucet, 2014). Informace GPS a IMU jsou společně a nerozlučně důležité při tzv. přímém (direct) georeferencování, které je hlavní náplní metody aerotriangulace (Lillesand et al., 2015). Georeferencování je proces určení geometrických vztahů mezi obrazovými daty a geografickou (reálnou) polohou senzoru kamery v čase určenou prvky vnější orientace (Legat, 2006).

Snímková triangulace (aerotriangulace) představuje technologický postup, který pomocí vyhodnocení souřadnic z měřických snímků zahustí bodového pole vlastními nově vypočtenými geodetickými souřadnicemi vlíčovacích bodů (Pavelka, 2006). Pomocí dat z GPS přiřazených každému z obrázků program automaticky určí vzájemný prostorový vztah jednotlivých snímků a dopočítá další body na fotografii, čímž vytvoří jejich propojenou síť, s níž nadále fotogrammetrický software pracuje (Zongjian, 2008). Tím se potřeba pracného geodetického zaměření těchto bodů zmenšila na minimum. Vlívovací body plní při GPS aerotriangulaci dnes již pouze kontrolní funkci (Pavelka, 2006). Nově se rozšiřuje služba online aerotriangulace a přímého georeferencování, které se provádějí mimo počítač uživatele (Eisenbeiss, 2009).

2.1.4 Využití

Běžně bychom ke stanovení geometrických veličin užili nástrojů, jako jsou pravítka či metoda krokování. V situaci, kdy samotný objekt již neexistuje, ale my jej máme aspoň zachycený na fotografii, nebo se k objektu z jiného důvodu nemůžeme již fyzicky přiblížit, nachází uplatnění fotogrammetrie. Ta je vhodná mj. pro rozsáhlé mapování, protože využívá postupy bezkontaktních metod měření (Linder, 2016). Fotogrammetrie je efektivní metoda sběru dat, a to zvláště při tvorbě map středního měřítká a tematickém mapování velkého měřítká (Hanzl a Sukup, 2001). Řadí se mezi důležité součásti dálkového průzkumu Země (Maršík, 1982).

Laserová technologie se jeví jako možná alternativa k fotogrametrii. Ve vzdušném prostředí jsou laserové skenery užívány k utváření informací o reliéfu (digitální modely terénu) vysoké přesnosti. Na kratší vzdálenost se používá laserová technologie speciálně, pokud je nutné dostat co největší počet 3D bodových dat (mračna bodů – point clouds). Laserové skenování je ale časově náročné a dodnes dražší v porovnání s fotogrammetrií (Linder, 2016).

Satelitní obrazová data pro civilní využití jsou stále dostupnější, zlepšuje se rozlišení jednotlivých obrazů a jejich cena se postupně snižuje. Po celém světě existují milióny historických leteckých snímků. Historická obrazová data mohou najít uplatnění při porovnávání současné situace s dobami minulými, např. zachycení změny mocnosti ledovců, v monitorování odlesnění tropických deštných pralesů a zvyšování záboru půdy pro civilizaci, nebo i při rekonstrukci poničených historických budov, případně detekci nebezpečných míst po válce (bomby, miny, zničené tanky apod.). Pokud bereme v úvahu, že základní fotogrammetrické práce jsou dostupné a levné při použití standardního PC, softwaru a digitální volně dostupné (amatérské) kamery, pak by tato technika mohla najít ještě širšího využití (Linder, 2016).

2.2 UAV

2.2.1 Definice

Zkratka UAV znamená Unmanned Aerial Vehicles, v českém překladu bezpilotní letecké prostředky (Karas a Tichý, 2016). Dle Unmanned Vehicle Systems (UVS) International je UAV obecně takový letecký prostředek, který operuje bez živého pilota na palubě a definuje 3 hlavní kategorie těchto prostředků. První kategorií jsou taktické UAV s maximálně střední dráhou doletu (do 500 km), střední výškou letu (okolo 5 km) a dlouhou dobou provozu. Druhá kategorie se nazývá strategické UAV a řadíme mezi ně mj. i stratosférické až exostratosférické systémy s výškou letu přesahující 20 000 m, dlouhým doletem a průměrnou dobou provozu 2-4 dny. Do třetí kategorie spadají UAV pro zvláštní účely, které mají hlavně armádní využití jakožto bojové prostředky (Remondino et al., 2011).

Označení UAV může být některými odborníky pokládáno za zavádějící, neboť podstatu této technologie lépe přibližuje zkratka RPAS – Remotely Piloted Aircraft Systems (dálkově ovládané letecké systémy), která poukazuje i na nutnost přímého dálkového řízení takového prostředku ze země. Zkratka RPAS se používá především v Evropě. Avšak pro typy autonomních systémů s předprogramovanou dráhou letu se zkratka UAV bez výhrad použít dá. U neoborné veřejnosti, a především v hromadných sdělovacích prostředcích (masmédia), se setkáváme s výrazem dron, který ale dle Oxfordského referenčního slovníku v jeho anglické variantě „drone“ může mít vícero významů, např. trubec, líná osoba, anebo vrčivý zvuk, který mohou UAV stroje za letu vydávat. Tento termín odbornou veřejností není používán (Karas a Tichý, 2016).

Výhody bezpilotních technologií:

- nízká hmotnost a hlučnost,
- vysoká mobilita i ovladatelnost,
- nízké provozní náklady,
- kvalitní a detailní výstupy (Karas a Tichý, 2016).

Při srovnání s klasickými leteckými prostředky můžeme ještě zmínit všestrannost využití bezpilotních technologií při snížení rizik pro pilotujícího jedince a další zúčastněné osoby na zemi (Karas a Tichý, 2016). Riziková místa, kde je využití UAV žádoucí, jsou např. oblasti přírodních katastrof, hornatá a vulkanická území, plochy zasažené povodní, místa s probíhajícím zemětřesením, pouště apod. (Eisenbeiss, 2009).

Nevýhody bezpilotních technologií:

- nízká nosnost,
- relativně krátký dolet,
- dosud nejednotná mezinárodní legislativa (Karas a Tichý, 2016).

Evropská unie ale již začala toto téma postupně legislativně ošetřovat a v budoucnosti se čeká celková harmonizace pravidel týkajících se těchto prostředků v jejích členských zemích (Karas a Tichý, 2016). UAV mohou být považovány za nebezpečné, protože jsou pro ostatní piloty neviditelné kvůli absenci jakékoliv

signalizace pro kontrolu polohy letu ve vzdušném prostoru (Mouget a Lucet, 2014; Karas a Tichý, 2016). To platí zejména pro stroje ke komerčnímu využití, avšak je zaplánováno tyto systémy v budoucnu dodávat, čímž by se mohla zvýšit bezpečnost jejich používání (Karas a Tichý, 2016).

UAV dokáží sbírat nejen přesnější data než satelity nebo pilotované letecké prostředky, ale i relativně rychleji. Sběr dat přes družici nebo letadlo vyžaduje v ideálním případě počasí bez mraků, zatímco při sběru dat pomocí UAV se doporučuje naopak volit let za polojasné až zatažené oblohy z důvodu eliminace vržených stínů. UAV poskytne více obrazových dat potřebných pro přesnější vymodelování objektu ve 3D, než je tomu u satelitních či pilotních technologií (Zongjian, 2008).

2.2.2 Historie

První zmínky o sestrojení bezpilotních systémů sahají už do konce 19. století k americkému (srbskému) vynálezci Nikolu Teslovi, jehož patent teleautomatizace umožnil dálkově ovládat motorovou loďku. V jeho záznamech byly objeveny i úvahy o bezpilotních leteckých systémech. První stroje později fungovaly jako cíle pro cvičné střelby v armádě (Karas a Tichý, 2016). UAV byly v minulosti navrženy ponejvíc pro průzkum a mapování nepřátelských pozic. Civilní využití se datuje až do 80. let minulého století (Remondino et al., 2011).

První kvadrokoptéra byla sestavena už roku 1907 jako experiment bratry Breguetovými pod názvem Gyroplane No.1. Váha tohoto vírníku (gyroplánu) byla 577 kg a jako první vrtulový letecký prostředek se dokázal zvednout ze země, ačkoliv vystoupal pouze do výšky několika centimetrů (Drone Tech Planet, 2019).

V roce 1915 v průběhu první světové války byl představen dvojplošník s názvem Kettering Bug, který sloužil jako řízená střela – kamikadze s doletem 120 km. Avšak válka skončila dřív, než byl kdy použit. Dnes je k vidění v leteckých muzeích (Drone Tech Planet, 2019). Viz Obrázek č. 1:



Obrázek č. 1: Kettering Bug v muzeu.

Britská armáda používala jako první na světě letecké mapování, přes něž mohla snadno koordinovat a navádět své dělostřelectvo na přesné pozice nepřátelských jednotek. Po první světové válce v roce 1920 byla sestrojena první použitelná kvadroptéra schopná vertikálního vzletu a přistání, vydržela až 1000 úspěšných provedených letů v délce trvání několika minut. Nesla jméno po svém zakladateli Oehmichen No.2 (Drone Tech Planet, 2019).

V počátcích druhé světové války americká armáda vyvinula první dálkově řízené letadlo s označením Radioplane OQ-2. Norma Jean Doherty, známá spíše jako Marilyn Monroe, pracovala za druhé světové války v továrně, kde se tato zařízení vyráběla (Drone Tech Planet, 2019). Jeden z exemplářů je vyjeven na Obrázku č. 2:



Obrázek č. 2: Radioplane OQ-2.

Až v 60. letech 20. století se začal ve velké míře uplatňovat potenciál průzkumných UAV např. ve válce ve Vietnamu nebo v arabsko-izraelské válce v roce 1973. Nicméně tyto americké projekty částečně ustoupily vesmírnému programu, a výzkumu se tedy ujali Izraelci (Karas a Tichý, 2016). První izraelské vojenské UAV Mastiff (Obrázek č. 3) je dron s jedinečným designem a s velice pokročilou elektronikou (Drone Tech Planet, 2019).



Obrázek č. 3: První izraelské vojenské UAV (Mastiff).

V 70. až 80. letech minulého století se poprvé objevila zkratka UAV, kterou použilo ministerstvo obrany v USA (Eisenbeiss, 2009). Znovupoužití vojenských bezpilotních technologií bylo zaznamenáno při konfliktu v Bosně a Kosovu z 90. let (Karas a Tichý, 2016). Do této doby zařazujeme i bezpilotní průzkumný letoun General Atomics MQ-1 Predator s doletem 730 km, maximální rychlostí 217 km/h a dostupem do výšky až 7 620 m. Ovšem zlomovým byl útok na WTC v roce 2001, kdy byly tyto prostředky vybaveny řízenými střelami (Drone Tech Planet, 2019).

V roce 2014 firma Amazon použila UAV pro přepravu zásilek. Zdravotnické využití je stále ve fázi testování. Facebook buduje velká, solárně poháněná UAV s letovou výškou až 15 km, která v odlehlých místech zesilují internetový signál. V nynějších dnech jsou UAV používány v podnikání, v zábavě a třeba i ve sportu. Společnost Uber v roce 2020 zamýšlí nasadit UAV jako prostředky pro osobní přepravu. Roku 2018 byly uvedeny na trh první UAV převážející pasažéry, aniž by pasažér jakkoliv zasahoval do řízení anebo potřeboval jakoukoliv licenci k létání. První z nich se jmenuje Ehang 184 (Obrázek č. 4) a je schopný unést až 100 kg nákladu a létat ve výšce přesahující 3 km (Drone Tech Planet, 2019).



Obrázek č. 4: Ehang 184 ve vzduchu.

V dnešní výbavě některých bezpečnostních složek jsou i tzv. „nanodrony“, které se vejdou do lidské dlaně a jsou schopny přenášet obraz z interiérů budov při průzkumu nebezpečných prostor (Karas a Tichý, 2016). Viz Obrázek č. 5:



Obrázek č. 5: Příklad nanodronu

2.2.3 Využití

Bezpilotní technologie naleznou využití jak v armádě, tak v civilním sektoru – komerční i zábavní sféře (Karas a Tichý, 2016). Níže je zmíněno 7 oblastí využití:

- letecké fotografie,
- letecká videa,
- letecký monitoring,
- mapování prostoru a terénu,
- speciální aplikace ve spojení se speciálními senzory,
- transport a logistika,
- zábava (Karas a Tichý, 2016).

Letecké fotografie jsou pořizovány nejen z důvodů marketingových (dokumenty, filmy, přímé přenosy, promo videa, reklamy, panoramatické fotografie), ale i z důvodu dokumentace současného stavu (sběru podkladů pro budoucí vyhodnocení). U filmování je doporučován kvalitní kamerový závěs (tzv. gimbal),

který umožní pohltit nežádoucí vibrace kamery, a tím i vytvářet kvalitní obraz (Karas a Tichý, 2016).

Hlavní myšlenka spočívá ve strategickém vyhodnocení situací z výšky bez nutnosti fyzické přítomnosti člověka na zájmovém místě. Tyto principy se zužitkovaly v případě rozličných katastrof – např. měření radiace po výbuchu jaderné elektrárny ve Fukušimě, nebo kontrola statiky zasažených budov po explozi muničního skladu ve Vrběticích. V Keni se na rozlehlých savanách využívá rušivého účinku hluku motoru pro záchranu volně žijících slonů tak účinným způsobem, že se celá stáda naženou mimo dosah tamějších pytláků. V těchto zvláštních případech hovoříme o speciálních aplikacích dálkově ovládaných leteckých systémů s eventuálním zapojením speciálních senzorů. Při těchto pracích se využívá zejména multispektrálních a hyperspektrálních kamer, které identifikují různé rušivé vlivy typu radiace, poškození vegetace apod. (Karas a Tichý, 2016).

Využití najdou v lesnictví při identifikování druhů dřevin, posouzení hustoty zalesnění a výpočtu objemů porostů, anebo v tzv. precizním zemědělství pro přijetí opatření, která mají šetřit čas a peníze zemědělců (Remondino et al., 2011). V zemědělství naleznou UAV uplatnění už zejména z toho důvodu, že je zemědělská činnost velmi závislá na počasí, a tedy i na potřebě pravidelného příjmu kvalitních a aktuálních informací (Karas a Tichý, 2016). Obecně je nezbytné zejména u zapojených kompaktních porostů typu obilovin a travin sledovat jejich dlouhodobý vláhový cyklus. Pro zjištění polohopisu drenážních systémů by měly být pořízeny kolmé snímky, z nichž se fotogrammetricky vytvoří digitální model povrchu (DSM) – a z něj je pak patrné, kde se projevuje diference vlhkosti, která značí rozdílnou rychlost vysychání půdního profilu na drenážní rýze i mimo ni, což se projevuje nápadným světlejším zbarvením zeleného porostu daným menším množstvím vzrostlé vegetace, avšak u orné půdy bez vegetace je potřeba plochu zmapovat co nejrychleji po poslední větší dešťové srážce s orientačním minimálním úhrnem cca přes 20 mm (Tlapáková et al., 2016). Je účelné je použít i ke klasickému výpočtu objemu zemědělské produkce. Naopak v centrech měst s výškovými budovami a ve vysokých lesích může být vážně narušeno určování polohy pomocí GNSS, což zde znamená jejich zhoršenou uplatnitelnost (Eisenbeiss, 2009).

Lze je rovněž nasadit ve stavebnictví nebo také archeologii např. při 3D modelování historických objektů či mapování historických měst. Je nemožné s běžnou totální stanicí při archeologickém výzkumu zachytit každý kámen či deformaci ruiny, přičemž fotogrammetrie tuto schopnost naopak má (Mouget a Lucet, 2014). Obraz je někdy více než tisíc slov, protože dokáže stručně a jasně sdělit pozice, velikosti a vzájemné vztahy objektů na něm vyobrazených (Campbell a Wynne, 2011). Viz Obrázek č. 6.



Obrázek č. 6: Využití UAV fotogrammetrie v archeologii.

Další možností využití je ochrana životního prostředí, a to jak s úmyslem průběžného monitorování stavu životního prostředí, tak v případě odklizení následků proběhlé přírodní katastrofy, eventuálně i lidsky zapříčiněné havárie mající negativní dopady na své okolí, jak již bylo zmíněno dříve. Použít se dají i při sledování hustoty dopravní vytiženosti, nebo z důvodu monitorování následků hromadných nehod a pro jejich šetrné odklizení (Remondino et al., 2011). Častými formami aplikací je měření objemu odtěženého materiálu v lomech při těžebních činnostech, anebo monitorování průběžného stavu vodních nádrží (Eisenbeiss 2009).

2.2.4 Rozdělení

UAV se podle zaměření dělí na profesionální a amatérské. Liší se svými schopnostmi, zpracováním a použitím materiálem a cenou. V současnosti vzniká mezikategorie, která stojí mezi amatérskými a profesionálními systémy. Ta by se nechala jednoduše nazvat jako kategorie pro pokročilé (Karas a Tichý, 2016).

Na základě pohonné jednotky jsou vyčleněna spalovací a elektrická UAV. Ovládají se manuálně, automaticky, kombinovaně, anebo jsou zcela autonomní. Úřad pro civilní letectví (ÚCL) je třídí mj. podle jejich váhy (Karas a Tichý, 2016). Dle velikosti nebo váhy, doby a maximální výšky letu jsou kategorizovány na micro, mini, close range, short range, medium range a long range. Typem můžou být buďto multikoptérou, anebo letounem (Eisenbeiss, 2009).

Multikoptéra značí koptéru nebo vrtulník, který je schopen kolmého vzletu a dá se rozdělit podle počtu motorů a vrtulí na 3 nejrozšířenější kategorie:

- kvadrokoptéra – 4 vrtule,
- hexakoptéra – 6 vrtulí,
- oktokoptéra – 8 vrtulí (Karas a Tichý, 2016).

Čím více vrtulí má, tím je ve vzduchu stabilnější. Sousední vrtule se točí vždy opačným směrem (Karas a Tichý, 2016). Tyto stroje se označují obecnou zkratkou VTOL (Vertical Take-Off and Landing). Dvouvrtulové systémy mají až o 30 % větší efektivitu letu při identickém zatížení motoru než jednovrtulové varianty, dosahují větších letových výšek a jsou lépe manévrovatelné. Multivrtulové systémy jsou schopny letu s poškozenou vrtulí nebo jedním nefunkčním motorem (Eisenbeiss, 2009). Na Obrázku č. 7 vidíme kvadrokoptéru i oktakoptéru.



Obrázek č. 7: Kvadrokoptéra a oktakoptéra.

Bezpilotní letouny („křídla“) jsou sestaveny pro mapování a monitorování rozsáhlejších ploch než multikopty. Vzlet může být jednak z odpalovací rampy, jednak hodem z ruky. Většina létá automaticky dle předem sestavených letových plánů s možností let přerušit. Jsou schopné delší doby trvání letu, větší rychlosti i doletu než multikopty (Karas a Tichý, 2016). Bezpilotní letouny jsou citlivější na podmínky prostředí než multikopty. Týká se to mj. požadavku na větší přistávací plochu i vzletovou dráhu (Eisenbeiss, 2009). Jejich pořizovací náklady jsou často vyšší než u multikopty, protože jde obvykle o systémy s profesionální aplikací (Karas a Tichý, 2016). Viz Obrázek č. 8:



Obrázek č. 8: Letouny společnosti AgEagle při mapování zemědělské kultury.

2.3 Pozemkové úpravy

2.3.1 Cíle a definice

Ke stanovení cílů se vypracovávají graficky i písemně výsledky podrobného terénního průzkumu – klimatické, hydrologické, geologické a půdní poměry, popis a charakteristika území, hospodářské využití území a vliv na životní prostředí, vyhodnocení výsledků podrobných terénních průzkumů a vyhodnocení shromážděných podkladů (Doležal et al., 2010).

Cílem pozemkových úprav je pomoc zemědělskému hospodaření (např. vytvořit vhodnější tvary pozemků pro obdělávání), zpřístupnit všechny pozemky, zmírnit projevy větrné a vodní eroze, zajistit vhodný hydrologický režim krajiny, zlepšit ekologickou stabilitu a zachovat přírodní ráz, zpřehlednit vlastnické vztahy, vypořádat spoluvlastnictví a zvýšit tržní cenu pozemků. Výsledkem je obnovený operát katastru nemovitostí pro nezastavěnou část katastrálního území – extravilán (Vlasák a Bartošková, 2007).

Kromě vyznačení hranic nových pozemků se budují nové sítě polních cest, systémy protierozních opatření a ochrany přírodních prvků (ÚSES – územní systém ekologické stability) nebo zařízení pro retenci a akumulaci vody v krajině

(souhrnně nazýváme plán společných zařízení). Ke každému pozemku musí být zajištěn přístup. Vyjasněné vlastnické vztahy pak mají přímý dopad na všechny další rozvoj obce nejen pro její obyvatele, ale i pro místní zemědělce, podnikatelské subjekty, orgány státní správy a další. Pozemkové úpravy jsou jednou z forem krajinného plánování (Vlasák a Bartošková, 2007). Úmyslem pozemkových úprav je vytvořit předpoklady pro výstavbu a udržitelný rozvoj území s ohledy na příznivé podmínky životního prostředí, hospodářský rozvoj a soudržnost společenství obyvatel (Doležal et al., 2010).

Pozemkové úpravy jsou multidisciplinárním oborem, jehož zpracovávající odborník by měl mít široké znalosti z oblasti majetkoprávních vztahů, státní správy, zemědělství, geodézie a kartografie, vodohospodářství, ochrany přírody a krajiny, psychologie a sociologie – umění jednat s lidmi. Data pro zpracování se shromažďují ve formě geografických informačních systémů – GIS (Vlasák a Bartošková, 2007). V prostředí GIS se vyhodnocuje zejména míra erozního ohrožení pozemků a identifikují se kritické body v místech, kde hydrolinie drah soustředného odtoku vstupují do zastavené části obce (Doležal et al., 2010).

Principem pozemkových úprav je sloučit rozptýlené pozemky jednoho vlastníka do ucelenějších logičtějších celků za jejich současného zpřístupnění. Musí být zachována jejich přiměřenost ve výměře, ceně a vzdálenosti. Pozemkové úpravy jsou hrazeny jak ze státních prostředků (státní rozpočet, prostředky Pozemkového fondu ČR, rozvojové programy ministerstev), tak ze strukturálních fondů Evropské unie (Vlasák a Bartošková, 2007).

2.3.2 Historie

Nejstarší dochované zmínky o prvních pozemkových úpravách datujeme do starého Egypta a Říma. Naše území tak dlouhou historii této problematiky nezná. V období tzv. Velké kolonizace ve 12. - 14. století tzv. lokátoři zakládali nové osady, neboť dostali od místních feudálů pozemky, které museli do určené doby splatit, a proto si byli nuceni najít dostatek zájemců o tuto půdu, kteří onu oblast osídlili. Lokátoři byli prvními krajinnými inženýry (Vlasák a Bartošková, 2007). Různé formy soupisů pozemků datujeme už od 13. století, přičemž jednou z hlavních motivací k jejich vytvoření byl výběr daní (Sklenička, 2003).

Od 18. století se začaly používat vylepšené postupy při sepisování půd a byla zaváděna Raabova soustava, neboli privatizace církevních, šlechtických a státních velkostatků. V polovině 19. století již hovoříme o moderních dějinách pozemkových úprav. V roce 1848 se poddaní stali vlastníky a pozemky se po jejich smrti postupně rozdělovaly pro každého potomka (Vlasák a Bartošková, 2007). Tento rok byl revoluční, protože bylo zrušeno poddanství (Sklenička, 2003). Z tohoto důvodu vznikaly dvě hlavní komplikace – pozemky byly velmi malé a roztržštěné v rámci katastrálního území, druhým problémem byl přístup přes cizí pozemky, který byl povolen jen tehdy, pokud na něm nevznikla škoda v době zrání úrody – na základě toho vznikly pozemkové služebnosti, neboli servituty cestní. Pozemky se začaly mezi vlastníky směňovat a také došlo k jejich prvnímu scelování, které ale za dob Rakouska-Uherska nebylo právně ošetřeno, mohlo k němu dojít pouze při 100% souhlasu všech dobrovolně zúčastněných vlastníků (Vlasák a Bartošková, 2007).

Mezi lety 1883 a 1948 probíhala úřední scelování (tzv. komasace) na Moravě a ve Slezsku. V Čechách neprobíhala, poněvadž český zemský sněm potřebný zákon nepřijal. V roce 1939 byla účinnost moravského zemského zákona o scelování rozšířena i na Čechy a po válce mohlo scelování probíhat i v Čechách. Ale řada jich zůstala nedokončena. V letech 1947-1948 proběhly technicko-hospodářské úpravy pozemků (THÚP), které byly podobné dnešním komplexním pozemkovým úpravám. Avšak se změnou politického systému r. 1948 skončily (Vlasák a Bartošková, 2007).

Od roku 1955 do 70. let minulého století se uskutečnily hospodářsko-technické úpravy pozemků (HTÚP), které neřešily způsob ukončení scelovacích řízení, docházelo k rozorávání mezí, zakládání družstev, kolektivizaci a hospodaření na příliš velkých lánech (Vlasák a Bartošková, 2007). Zpočátku nebyly řešeny uživatelské vztahy, a protože nebylo bez této evidence možné plánování zemědělství a lesnictví, vznikly Jednotné evidence půd (JEP), které zaznamenávaly pouze uživatelské vztahy (Sklenička, 2003). Od r. 1951 nabyly účinnosti nový Občanský zákoník, který s konečnou platností zrušil právní význam zápisů do Pozemkových knih pro fyzické osoby. Pozemkové knihy byly nakonec v roce 1964 uzavřeny. Začaly se zakládat Evidence nemovitostí, které měly staronově obsahovat i zápisy o vlastnictví, ale tyto informace byly často zmatečné a duplicitní. Od 80. let se zemědělské podniky s bloky půd v rámci tzv. souhrnných pozemkových úprav (SPÚ) nadměrně zvětšovaly (Vlasák a Bartošková, 2007).

V rozmezí let 1991-2002 se na našem území provedly jednoduché pozemkové úpravy (JPÚ), které rychle vyčlenily pozemky pro hospodaření do užívání těm vlastníkům, kterým ještě nebyly původní navraceny, neměli k nim vlastnické právo. Na ně navazují jednoduché pozemkové úpravy, které na rozdíl od předchozích vlastnická práva se zápisem do katastru nemovitostí evidují a od roku 1991 také souběžně běží komplexní pozemkové úpravy (Vlasák a Bartošková, 2007). Novou evidencí majetku se stal Katastr nemovitostí (KN), který zavedl nadřazení vlastnických vztahů nad užívacími (Sklenička, 2003).

2.3.3 Důvody zahájení

Hlavním důvodem pro zahájení pozemkových úprav je potřeba obnovy katastrálního operátu, tedy vyjasnění vlastnických vztahů a vznik nové katastrální mapy. Pozemkové úpravy mohou být zahájeny na základě žádosti nadpoloviční většiny vlastníků zemědělských pozemků (nebo obce) a pozemkový úřad zahájí pozemkové úpravy vždy. Mohou být spuštěny i z důvodu investičního záměru velkého rozsahu – např. výstavba dálniční sítě. Avšak rozhodující pravomocí má pokaždé katastrální úřad, který může pozemkové úpravy zahájit i z vlastní iniciativy.

Dalším podnětem pro jejich zahájení může být potřeba obnovy katastrálního operátu na území s nedokončeným scelovacím a přidělovým řízením, anebo na území s množstvím jednoduchých pozemkových úprav s pozemky nevhodně tvarově uspořádanými či pozemky se špatnou přístupností.

Ostatními motivy jsou například nízká ekologická stabilita v dané krajině a škody na životním prostředí způsobené ve velké míře nedostatkem ploch s přírodním nebo přírodně blízkým charakterem, potřeba protipovodňových opatření či protierozní ochrany i v přímé návaznosti na sousední katastrální území (Vlasák a Bartošková, 2007). Mezi shrnuté 3 nejběžnější důvody pro zahájení pozemkových úprav patří: posouzení požadavků vlastníků, důsledek stavební činnosti, anebo zahájení pozemkových úprav bez podaných požadavků v gesci pozemkového úřadu (Doležal et al., 2010).

2.3.4 Formy

Rozlišujeme dvě základní formy pozemkových úprav – jednoduché (JPÚ) a komplexní (KPÚ). Základním způsobem provádění jsou komplexní pozemkové úpravy (Vlasák a Bartošková, 2007). Tato forma již ze svého titulu vyjadřuje, že řešení není zamýšleno jako jednoúčelové (Doležal et al., 2010). Komplexně se provádí v celém extravilánu katastrálního území, avšak mohou za určitých podmínek zasahovat i do sousedních území. Pozemky se navrhuje s přihlédnutím ke dvěma důležitým, ale také protichůdným faktorům – ekologickému (ochrana) a ekonomickému (výnos). Jako tvarově nevhodné pozemky se považují ty, které jsou mnohaúhelníkové a mají ostré hrany, anebo příliš dlouhé a úzké. Ideálním tvarem je obdélník (Vlasák a Bartošková, 2007). Obdélníkový tvar je výhodný z hlediska ekonomického i způsobu obdělávání, měl by mít aspoň dvě protilehlé strany rovnoběžné. Z pohledu ekologie je delší hrana výhodou, neboť tvoří delší rozhraní mezi rozdílnými prostředními ekosystémů, kde sledujeme tzv. okrajový efekt, čili větší biodiverzitu a hustotu populací či biomasy na pomezí. Avšak nejlepšího efektu se dosahuje při míchání ekologicky stabilních (např. lesní prvek) a labilních ploch (např. orná půda), pozitivní dopady z hlediska biodiverzity pocítuje pak nejvíce část labilní (Sklenička, 2003).

Jednoduché pozemkové úpravy mají omezený rozsah a lze je provést např. za účelem upřesnění nebo rekonstrukce přídělů (Doležal et al., 2010). Řeší se jimi přerozdělení a nové uspořádání zemědělské půdy, zpravidla pouze části katastrálního území s několika vlastníky, přičemž nové pozemky se navrhuje většinou v rámci stávajících bloků zemědělské půdy a neřeší se širší vlastnické vztahy. To se uplatnilo v historii zejména při navrácení pozemků při restitucích po roce 1990. JPÚ byly prováděny až do roku 2002, kdy se řešily pouze užívací vztahy. V současnosti se provádějí pouze se zápisem vlastnických práv do katastru nemovitostí. A to z důvodů, jako jsou např. nepřehledné vlastnické vztahy po nedokončených přidělových řízeních z poválečného období, anebo když vlastníci ve velké míře souhlasí s obnovou operátu a s menšími úpravami bez potřeby realizace plánu společných zařízení, nebo když je nutné vyřešit pouze některé hospodářské potřeby či doplnit cestní síť (Vlasák a Bartošková, 2007).

2.3.5 Obvod

Obvodem pozemkových úprav se rozumí jeden nebo více dílčích obvodů v rámci katastrálního území (Vlasák a Bartošková, 2007, Doležal et al., 2010). Hranice obvodu bývá nejčastěji rozdělena na vnitřní a vnější. Vnitřní prochází zpravidla po rozmezí intravilánu a extravilánu, vnější po hranici katastrálního území, po hranici lesa, liniového objektu, průmyslového areálu či zasahuje i do sousedních katastrálních území. Obvod by měl zahrnovat všechna problematická místa s návazností na sousední území (např. eroze či cestní síť nekončí na hranici území). Předmětem pozemkových úprav jsou všechny pozemky zařazené v jejich obvodu (Vlasák a Bartošková, 2007). Do obvodu pozemkový úřad zahrnuje ty pozemky, které jsou nezbytné k dosažení cílů pozemkových úprav a obnovy katastrálního operátu. (Doležal et al., 2010).

Pozemky, které jsou zahrnuty v obvodu, dělíme na řešené a neřešené. Řešené jsou směňovány, scelovány nebo děleny, jejich hranice narovnány. Takových pozemků je většina zemědělských (např. orná půda nebo trvalý travní porost), nebo pozemky se souhlasem jejich vlastníka (např. zastavitelné, oplocené zahrady) či se souhlasem vlastníka a správce (určené pro těžbu nerostů, vodního toku apod.). Naopak mezi neřešené počítáme ty, u nichž se pouze obnoví soubor geodetických informací. Druhou skupinou jsou pozemky mimo obvod pozemkových úprav, těmi jsou myšleny nejčastěji zástavba (intravilán), rozsáhlé pozemky lesa nebo často i pozemky zastavitelné (Vlasák a Bartošková, 2007).

2.4 Dálkový průzkum Země

2.4.1 Definice

Dálkový průzkum Země je praxe získávání informací o zemských a vodních površích upotřebením snímků pořízených z ptačí perspektivy, které vznikly působením elektromagnetického záření jedné nebo více vlnových délek elektromagnetického spektra, a to odražených nebo vyzařovaných zemským povrchem (Campbell a Wynne, 2011).

Rozvoj počítačové a senzorové techniky umožnil dálkový průzkum Země a s ním spojené technologie, jimiž jsou např. geografické informační systémy (GIS),

globální poziční systémy (GPS) atd., které zaujímají velmi důležité funkce v oborech vědy, tedy v ekologii, geologii, geografii, nebo v územním plánování, lesnictví, managementu zdrojů, obchodu, vodohospodářství ad. (Lillesand et al., 2015). Za hlavní úkol DPZ se považuje, stroze napsáno, sběr informací na dálku (Campbell a Wynne, 2011).

Jedna z nejběžnějších a nejuniverzálnějších forem dálkového průzkumu Země je letecká fotografie – letecké snímkování. Velká část obrazů pořízených dálkovým průzkumem Země je založena na vlnové délce záření, které není pro lidské oko rozlišitelné. A tyto snímky pak obsahují užitečné informace (např. koncentrace plynů v atmosféře). Při správné interpretaci nejsou vidět izolované body, ale jejich vzájemné vazby (Lillesand et al., 2015). Ony snímky správně vyhodnocovat se musíme učit, tato schopnost není vrozená (Campbell a Wynne, 2011).

2.4.2 Historie

Gaspard-Félix Tournachon (alias Nadar) roku 1858 pořídil první leteckou fotografii na světě z přivázaného balónu ve Francii (Campbell a Wynne, 2011). První let letadlem byl uskutečněn v roce 1903 (Lillesand et al., 2015). Viz Obrázek č. 9:

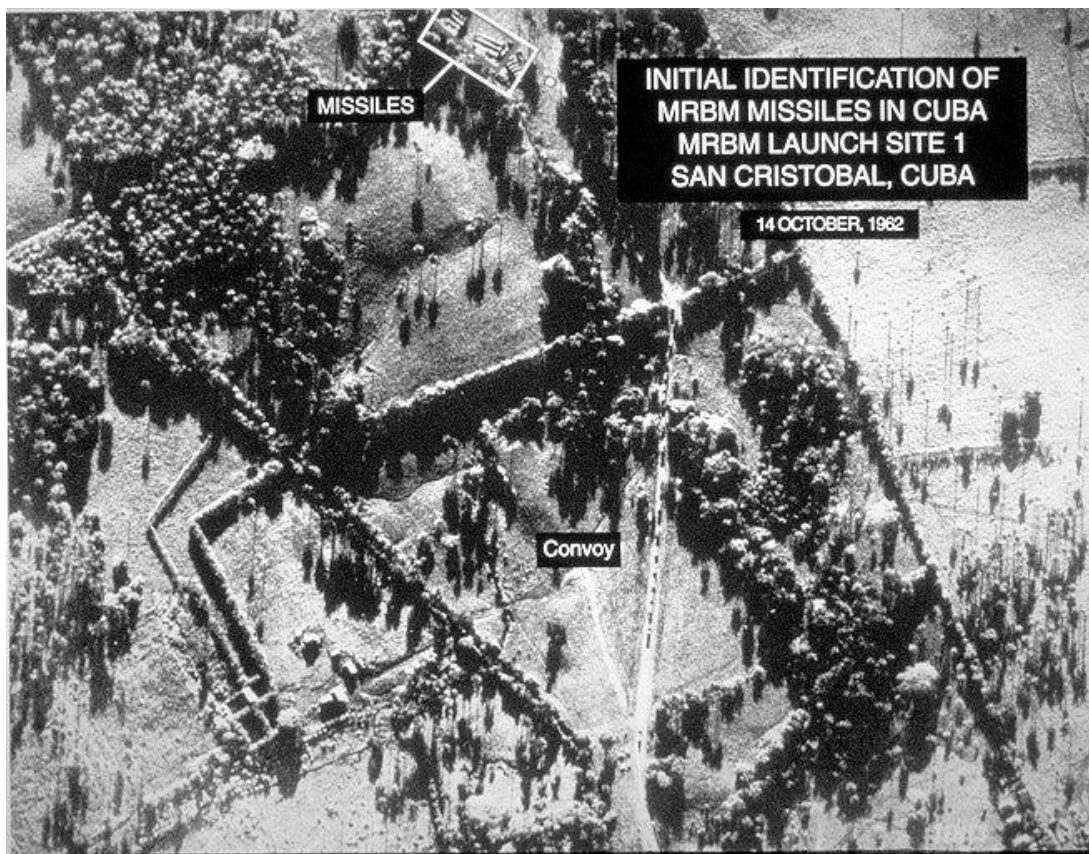


Obrázek č. 9: První let letadla - Wright Flyer 1903.

První letecké fotografie z letícího letadla byly pořízeny roku 1909 – stroj byl pilotován Wilburem Wrightem nad italským územím. Za Velké války došlo k výraznému vylepšení letecké techniky (Campbell a Wynne, 2011).

Po skončení války našli zkušení letečtí fotografové uplatnění v nově vznikajících leteckých průzkumných společnostech (Lillesand et al., 2015). Nejdříve se vytvářely topografické mapy, později se obor rozšířil ještě na průzkum půdy, geologické mapování, lesnické průzkumy a vedení zemědělských statistik. Před druhou světovou válkou se zkoumalo viditelné spektrum elektromagnetického záření, později za války bylo potřeba vizualizovat infračervené a mikrovlnné záření z neviditelného spektra (Campbell a Wynne, 2011). Ke konci války spojenci odborníci zanalyzovali desítky milionů stereoskopických snímků pořízených nad územím Třetí říše, aby zjistili, kde Němci nainstalovali odpalovací rampy svých raket V-1 a V-2 (Lillesand et al., 2015).

V roce 1960 byly nasazovány strategické průzkumné satelity CORONA, které pravidelně shromažďovaly snímky vybraných lokalit z vesmíru. Význačným počinem Spojenců za studené války byl letecký průzkum na Kubě v roce 1962 s letadlem U-2 vybaveným kamerou kvůli hrozícímu jadernému konfliktu mezi USA a SSSR. Američané zmapovali polohu sovětských jaderných hlavic dřív, než s tím sovětská generalita počítala (Campbell a Wynne, 2011). Viz Obrázek č. 10:



Obrázek č. 10: Fotografie průzkumu kubánského území letadlem U-2 v roce 1962.

Armádní sektor byl v porovnání s civilním vždy napřed a jeho technika přísně chráněna jakožto vojenské tajemství. Civilní sféře byly po čase poskytnuty původně utajované, v ten moment ale pro armádu již zastaralé, vojenské satelity, které měly schopnost snímat infračervené a mikrovlnné záření. Poprvé byl užit termín dálkového průzkumu Země, který refleктоval celou šíři oboru od snímků viditelného spektra po snímky neviditelného spektra (Campbell a Wynne, 2011).

Roku 1972 byl vypuštěn Landsat-1, který systematicky a opakovaně prováděl průzkum zemského povrchu v několika vrstvách elektromagnetického záření (multispektrální), jehož snímky byly dostatečně detailní pro multispektrální analýzu, která dokáže jednotlivá spektra oddělit. Landsat pro svou práci potřeboval rychlé rozšíření a příjem informací digitálního formátu, čímž popohnal vývoj a rozšíření principů digitalizace (Campbell a Wynne, 2011). Landsat-1 vidíme na Obrázku č. 11:



Obrázek č. 11: Družice Landsat-1 určená k podrobnému snímkování planety.

Dálkový průzkum Země (DPZ) a geografické informační systémy (GIS) se vyvíjely společně a nerozlučně. Vylepšilo se třeba mapování městské infrastruktury, podpora precizního zemědělství či monitorování povodňových událostí (Campbell a Wynne, 2011).

První letecké digitální kamery byly představeny na 19. kongresu Mezinárodní společnosti pro fotogrammetrii a dálkový průzkum (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing – ISPRS) v Amsterdamu v roce 2000 (Lillesand et al., 2015). Od 80. let se začala masivně produkovat tzv. geospaciální data zahrnující informace z DPZ, GIS a GPS (především v digitální podobě), která systematizují formy snímků s podrobnějšími metadaty, a ty dnes nalézají využití např. v integrovaných záchranných systémech. V roce 2005 byl spuštěn Google Earth, který jako první zobrazil koncept zemského povrchu celé naší planety sestavený z širokého výběru snímků pořízených v jinou dobu, v jiném měřítku a rozlišení (Campbell a Wynne, 2011).

2.4.3 Využití

Disciplíny jako jsou např. ekologie, geologie, hydrologie, vodohospodářství, lesnictví, geografie, půdoznalectví, doprava, územní plánování a land use jsou objektem dálkového průzkumu Země (Campbell a Wynne, 2011). Dálkový průzkum Země lze použít k:

- posuzování životního prostředí (nebezpečné odpady, rozšiřování měst),
- monitorování změny klimatu (ozonová vrstva, kácení lesů, oteplování),
- zemědělství (sledování stavu plodin, odhady výnosů, eroze),
- neobnovitelné zdroje (mokřady, půda, lesy, oceány),
- meteorologie (předpověď počasí, atmosférické jevy),
- mapování (topografie, stavební inženýrství, land use),
- vojenské průzkumy a obrana (strategická politika, taktické plánování),
- novinářská činnost (ilustrace, analýzy) (Schowengerdt, 2007).

DPZ nabízí širokou paletu použitelných dat s prostorovým, spektrálním a časovým údajem. Například v meteorologii není potřeba vysokého rozlišení snímku, ale naopak je vyžadováno tato obrazová data sbírat opakovaně a často. Zatímco mapování je vysokým rozlišením podmíněno, načež jejich velice rychlý sběr nemá obecně opodstatnění. Kdežto armáda potřebuje snímky nejen nejrychleji, ale také v co nejvyšší možné kvalitě. Správně kalibrovaná data z DPZ využíváme též k velkým modelovacím projektům týkajících se celé naší planety – např. globální klimatický model (GCM), který předvídá a simuluje celosvětové klimatické změny. U něj by vysoce rozlišitelná snímková data byla nežádoucí vzhledem ke složitosti a objemnosti celého procesu, ovšem dostatečně přesná kalibrace senzorů v prostoru i čase je nezbytná (Schowengerdt, 2007).

Tabulka č. 1: Hlavní elektromagnetická spektra v DPZ (Schowengerdt, 2007)

Název	Vlnová délka	Zdroj záření	Způsob šíření od povrchu
Viditelné (V)	0,4 – 0,7 μm	Sluneční	Odraz
Blízké infračervené (NIR)	0,7 – 1,1 μm	Sluneční	Odraz
Krátkovlnné infračervené (SWIR)	1,1 – 1,35 μm 1,4 – 1,8 μm 2,0 – 2,5 μm	Sluneční	Odraz
Středněvlnné infračervené (MWIR)	3,0 – 4,0 μm 4,5 – 5,0 μm	Sluneční, tepelné	Odraz, teplota
Tepelné / dlouhovlnné infračervené (TIR / LWIR)	8,0 – 9,5 μm 10,0 – 14,0 μm	Tepelné	Teplota
Mikrovlnné, rádiové	1 mm – 1 m	Tepelné (pasivní), umělé (aktivní)	Teplota (pasivní), nerovnost (aktivní)

Pasivní dálkový průzkum Země se zaměřuje na záření, které přirozeně sálá z povrchu, atmosféry a mraků. Viditelná, blízká infračervená a krátkovlnná infračervená záření mají zdroj odraženého záření sluneční, protože velikost sluneční energie odražené ze zemského povrchu přesahuje velikost energie vydávané samotnou Zemí. Středněvlnná infračervená záření jsou přechodovými regiony z odraženého slunečního na tepelné záření Země. Nad 5 mikrometrů už převažuje tepelné záření sálající z zemského povrchu, které můžeme pozorovat mj. i v noci, neboť nezávisí přímo na Slunci jako zdroji. Aktivní dálkový průzkum Země používá umělý zdroj záření jako svůj sondážní nástroj. Signál musí projít překážkou – atmosférou. Signál vyslaný s určitou vlnovou délkou laserovým paprskem do atmosféry může poskytnout informace na molekulární bázi, třeba jaké zde nalezneme množství ozonu (Schowengerdt, 2007).

2.5 Fotogrammetrický software

Velkou výhodou při UAV mapování je, že tato technika spolu s levnými uživatelskými kamerami umožňuje komplexně a rychle sbírat informace o předmětech průzkumu. Sběr je neinvazivní, nevyžaduje přímý kontakt s povrchem. Stále častěji se tato metoda používá v procesu zpracování vícera snímků, přičemž software musí být schopen vyhodnotit stále větší detaily než kdy dříve. Program dokáže některé nadbytečné materiály vyhodnotit jako nepotřebné a vyřadit je z procesu, aby uspíšil samotné fotogrammetrické zpracování výstupu – ať už z ekonomických důvodů, anebo kvůli časové tísni (např. při záchranných pracích). Naopak při archeologickém výzkumu se program chová tak, že jeho prioritou je zachovat vysoký detail výstupu za použití co největšího možného množství snímků při utváření hustých 3D bodových mračen vznikajícího modelu (Aicardi et al., 2016). Produkty digitalizace mohou být mračna bodů, vektorové modely, nepravidelné trojúhelníkové sítě ad. (Bartoš et al., 2014).

V současnosti je k dispozici velké množství volně dostupného (open source) fotogrammetrického softwaru pracujícího na bázi algoritmů s možnými mezikroky, jako je zpracování obrazových dat a 3D rekonstrukce objektu (např. VisualSFM, Bundler, PMVS2, CMVS), nebo ve formě veřejně přístupné webové služby (např. Microsoft Photosynth, Autodesk 123D Catch, My3DScanner). Ovšem zpracování přes internet občas postrádá některé důležité funkce, které zajišťují kontrolu celého procesu zpracování, čímž pak někdy vzniká fenomén, že po každé rekonstrukci může vyjít jinak kvalitní model, ačkoliv data do něj vložená jsou stále tatáž. Z hlediska základní kvality zpracování dat není obecně většina volného softwaru v současnosti použitelná jako profesionální fotogrammetrický nástroj (Bartoš et al., 2014).

Automatizace dílčích procesů pomáhá šetřit lidské zdroje. Vícesnímková orientace je jedním z nejdůležitějších úkolů fotogrammetrie a 3D modelování. Přesnost orientace obrazu a kalibrace kamery ovlivňuje kvalitu všech dalších procesů, jako je určení prostorových souřadnic bodů a následné modelování ve 3D. Výsledky zpracování obrazu jsou mračna bodů, která jsou charakterizována prostorovými souřadnicemi XYZ a radiometrickými daty RGB, z nichž pak můžeme vygenerovat 3D modely (Bartoš et al., 2014).

V rámci porovnávací studie byly vybrány a porovnány některé dostupné softwary na trhu z hlediska jejich přesnosti a nabízených možností. Modely byly georeferencovány ve stejných souřadnicových systémech za použití týž pozemních kontrolních bodů (GCP). Snímky byly pořízeny pozemně i letecky. Byly porovnány programy Agisoft Photoscan Professional (PS), Pix4D, 3Df Zephyr (3DZ), SURE, MicMac (MM), VisualSFM (VSFM) a ContextCapture (CC). Procesy byly realizovány téměř plně automaticky, založeny na algoritmech fotogrammetrie a počítačového vidění, které umožňují rychlé zpracování velkého objemu obrazových dat. Kromě softwaru MicMac, který je open source softwarem, je zbývajících 6 programů komerčních. Dvěma nejznámějšími programy jsou ruský Agisoft Photoscan Professional, který je koncipován ke zpracovávání pozemních obrázků a švýcarský Pix4D, jež přímo cílí na problematiku UAV. Kvalita výstupního modelu závisí jak na zkušenostech zpracovatele, tak na složitosti používaných algoritmů. Nejvyšší odchylku mezi body vykázal program SURE, naopak nejnižší Agisoft Photoscan Professional a Pix4D, tyto dva programy jsou tedy nejpresnější. Spočítáním kvantitativy vygenerovaných 3D bodových mračen na vybraném modelovém objektu se dostáváme k dílčímu výsledku, že ContextCapture (CC) výrazně převýšil své konkurenty s 19 miliony vytvořenými body, může být tedy označen za nejdetailnější software z výběru, více viz Tabulka č. 2 (Aicardi et al., 2016):

Tabulka č. 2: Počet vygenerovaných bodů softwarem (Aicardi et al., 2016).

	PS	Pix4D	3DZ	MM	SURE	CC	VFSM
Počet bodů [mil.]	3,5	4,4	< 1	4	7,5	19	< 1

Pro možnost vizuálního porovnání detailnosti výstupu poskytnuté rozdílnými softwary si můžeme prohlédnout dva vytvořené modely, každý jiným programem, s rozdílem cca 15 milionu stvořených bodů (Aicardi et al., 2016), na Obrázku č. 12:



Obrázek č. 12: Model - (a) MicMac; (b) ContextCapture (Aicardi et al., 2016).

3 Metodika

3.1 Cíl práce

Cílem praktické části práce bylo pomocí UAV vyfotografovat dvě zvolené lokality, na nichž se nachází pásy rozptýlené zeleně a trvalého travního porostu. Následně z pořízených digitálních fotografií vytvořit pomocí fotogrammetrického softwaru Bentley ContextCapture vypovídající modely, jež by byly použitelné pro komplexní pozemkové úpravy (KoPÚ) – pro průzkumové práce, k určování hranic a druhu pozemků, k analýze zapojenosti porostu apod. Tyto modely by měly být aktuální a přesné, vhodné jako detailní podklad pro profesionální použití v jednání s vlastníky, hospodařícími organizacemi a orgány veřejné správy.

3.2 Popis území – Dražič

Katastrální území má rozlohu 11,35 km² a rozprostírá se v nejsevernější části okresu České Budějovice. Obec Dražič se skládá ze 4 místních částí: Břeží, Dražič, Vranov a Karlov-Nepomuk (Oficiální stránky obce Dražič, 2008). Je situována přibližně 6 km západně od města Bechyně a severoseverozápadně zhruba 9 km od Týna nad Vltavou. Průměrná nadmořská výška obce činí 447 metrů (Mapy.cz, 2020). K roku 2020 v obci evidujeme trvalé bydlíště 245 zdejších obyvatelům (Český statistický úřad, 2020).

3.2.1 První lokalita

Zaměřovaná lokalita se nachází v katastrálním území Dražič [632198], obec Dražič [549371], parcelní č. 765/11, č. listu vlastnictví (LV) 393 v místní části U vápenice (Český úřad zeměměřičský a katastrální, 2020). Podle veřejného registru půdy LPIS zde hospodaří Zemědělské družstvo Nemějice (Ministerstvo zemědělství ČR, 2020a).

Kromě zemědělsky obdělávané půdy se zde rozprostírá travnatý pás sporadicky osázený stromovím, který plní ekologické funkce důležité pro zachování biodiverzity krajiny a jež je předmětem našeho fotografování. Z tohoto pozemku byl proveden vzlet i přistání zapůjčené školní techniky, k čemuž byl předem

vyhotoven a oběma stranami podepsán písemný souhlas majitele (uživatele) pozemku (je uveden v Příloze č. 1). První lokalitu vidíme z letecké perspektivy na Obrázku č. 13:



Obrázek č. 13: Letecký snímek první lokality (Mapy.cz, 2020).

3.3 Popis území – Hvožd'any u Bechyně

Katastrální území Hvožd'any u Bechyně má rozlohu 10,97 km² a obec je částí města Bechyně, spadá do okresu Tábor (Územně identifikační registr ČR, 2017). Je umístěna cca 3 km jihozápadně od města Bechyně a přibližně 7 km severoseverovýchodně od města Týn nad Vltavou (Mapy.cz, 2020).

3.3.1 Druhá lokalita

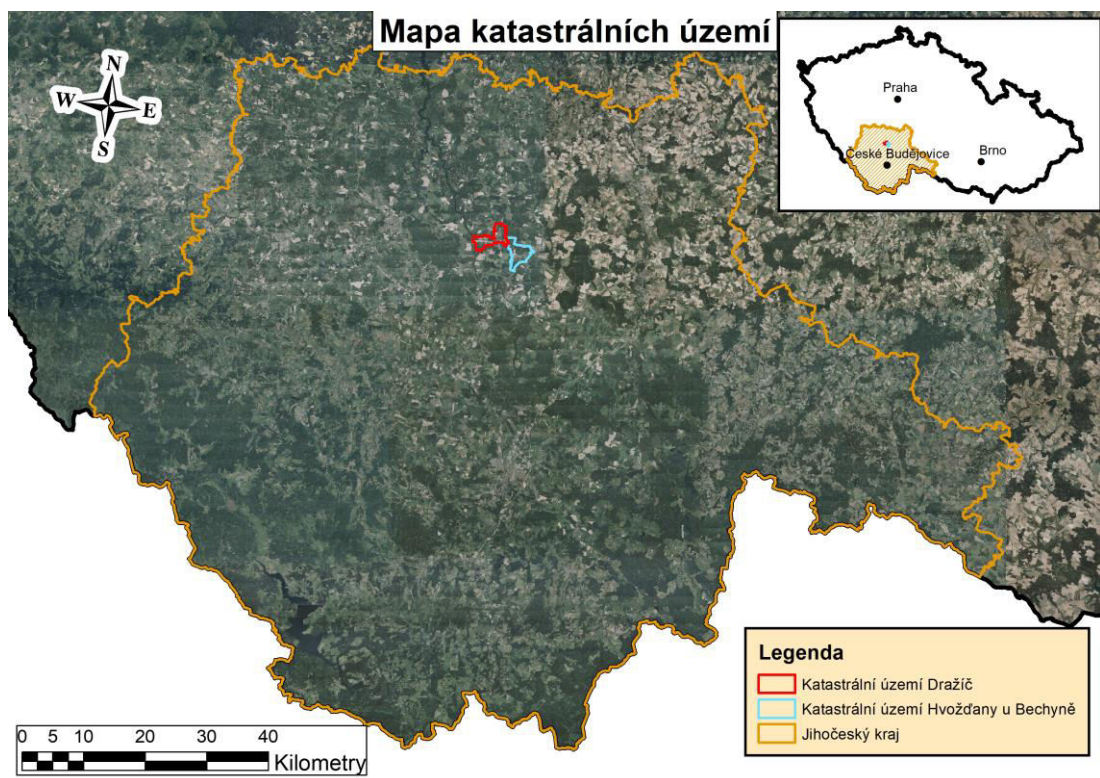
Posuzovaná oblast leží v katastrálním území Hvožd'any u Bechyně [650358], obec Bechyně [552054], parcelní č. 2544/1, č. LV 10001 při západních hranicích katastrálního území mezi místními částmi Skalná (k. ú. Dražič) a Na vrších (Český úřad zeměměřičský a katastrální, 2020). Protéká tudy Bilinský potok s IDVT 10244773 přes Šternberský rybník (Ministerstvo zemědělství ČR, 2020b).

Monitorovaná část je pás zeleně podlouhlého tvaru ve formě remízku vedoucího podél potoku mezi dvěma díly půdních bloků obhospodařovaných zemědělskými soukromými podnikateli, a to konkrétně Magdalenou Červenkovou a firmou Červenka agro, s. r. o. (Ministerstvo zemědělství ČR, 2020a). Lokalitu vidíme na Obrázku č. 14:



Obrázek č. 14: Letecký snímek druhé lokality (Mapy.cz, 2020).

Obě dvě předchozí zmíněná katastrální území jsou označena na Obrázku č. 15 v prostředí GIS:



Obrázek č. 15: Mapa katastrálních území v prostředí GIS.

3.4 Popis UAV

Ke snímkování byl použit kompaktní bezpilotní letecký prostředek DJI Phantom 4 Pro, jež je typově kvadrokoptérou (se čtyřmi motory). Jeho celková hmotnost (vč. baterie a vrtulí) činí 1388 g, maximální rychlost letu pak dosahuje až 72 km/h (20 m/s). Úhlopříčná velikost UAV vč. vrtulí je 350 mm. Může být provozován až do rychlosti protivětru 10 m/s. Doba letu se pohybuje přibližně okolo 30 minut, kapacita baterie je 5870 mAh. Rozsah provozních teplot je od 0 °C do 40 °C. Může pracovat se dvěma globálními navigačními satelitními systémy (GNSS) – GPS nebo GLONASS. Stroj je vybaven kamerovým závěsem (gimbalem) pro pohlcování nežádoucích vibrací. Je řízen dálkovým ovládačem. Pro zobrazení letu je potřeba tablet nebo chytrý mobil. Také disponuje funkcí automatického návratu domů a infračervenými čidly, které detekují překážky v okolí (DJI, 2020). Kvadrokoptéra je vyfocena na Obrázku č. 16:



Obrázek č. 16: Kvadrokoptéra DJI Phantom 4 Pro.

Součástí je digitální jednopalcový 20MPix snímač DJI FC6310 s mechanickou závěrkou, která odstraňuje zkreslení při rychlém průletu. V případě potřeby je k dispozici i elektronická závěrka. Ohnisková vzdálenost čočky je 8.8 mm. Při poměru stran 3:2 máme k dispozici rozlišení 5472×3648. Fotografie se ukládají ve formátu JPEG, DNG (RAW) nebo JPEG + DNG na SD kartu o max. kapacitě 128 GB s rychlostí zápisu aspoň 15 MB/s (megabajtů za vteřinu). Rozsah hodnot ISO je pro fotografie v manuálním režimu 100-12800. Při natáčení videa může být použit formát kódování videa H.265 s rozlišením až 4096×2160 (C4K) 24/25/30p a datovým tokem 100 Mbps (megabitů za vteřinu) (DJI, 2020).

3.5 Principy sběru dat - metody

Aby byl program schopen správně zpracovat snímky a polohy jednotlivých bodů, měl by být objektiv zaostřen do nekonečna, hodnota ISO kolem 200 a vyšší pro dostatečnou světelnost (ale nepřesáhnout 800) a zajištěna krátká doba expozice, aby nebyl snímek rozmazaný. Hodnota ISO totiž vyjadřuje citlivost senzoru vůči přicházejícímu světlu. Pokud je ISO vyšší, hrozí ztráta detailů a růst obrazového šumu (Santise et al., 2018). ISO bylo vybráno 100 a doba expozice určena 1/120 až 1/200 sec. Pak volíme co nejvyšší clonové číslo. Čím vyšší je clonové číslo, tím je expoziční čas pro přicházející světlo delší, proto musíme tyto veličiny vzájemně vyvážit a najít vyhovující poměr (Ntregka et al., 2013). Clonové číslo bylo zvoleno f/4,5. Dostatečně vysoké rozlišení snímků 20 MPix (5472×3648 pixelů), ohnisková vzdálenost byla fixně nastavena na 8,8 mm. Snímky byly uloženy ve formátu JPEG, který z hlediska komprese zachovává vysokou kvalitu (Linder, 2016). Podélný překryv by měl být nastaven na nejméně 60 % a příčný v rozmezí 20–40 %, abychom měli co nejmenší výsledné zkreslení. Pro podélný překryv je určujícím faktorem rychlost letu a pro příčný překryv výška letu (Pavelka, 2006).

3.6 Let

Před letem musí být provedena předletová kontrola. Pilot bezpilotního letadla odpovídá za provedení bezpečného letu (bez ohledu na úroveň automatizace), za předletové přípravy a kontroly. K předletové přípravě je vhodné použít mapovou aplikaci AisView Letecké informační služby (LIS) Řízení leteckého provozu, s. p., která eviduje zóny omezující letový provoz (např. letištní zóny). Během letu musí být zajištěna bezpečnost osob, majetku i životního prostředí. Provoz letadla smí být prováděn pouze takovým způsobem, který neohrožuje bezpečnost létání ve vzdušném prostoru. Bez povolení se let nesmí provádět v ochranných pásmech určených příslušnými právními předpisy podél nadzemních dopravních staveb, tras nadzemních inženýrských sítí, tras nadzemních telekomunikačních sítí, uvnitř zvláště chráněných území, v okolí vodních zdrojů a objektů důležitých pro obranu státu. Let by měl proběhnout v souladu se stanoviskem Úřadu pro ochranu osobních údajů. Pilot musí mít přímý dohled nad letadlem po celou dobu letu bez použití jakékoliv vizuální pomůcky vyjma pomůcek předepsaných lékařem určených ke korekci

očních vad. Pilot, nebo i poučená osoba, je povinna sledovat a vyhodnocovat dohlednost, překážky a okolní letový provoz. Pilotující osoba musí zaznamenávat do deníku letadla či obdobného dokumentu informace o letu – datum letu, jméno pilota, označení letadla, místo vzletu a přistání, účel a dobu letu, události potenciálně související s jeho bezpečností. Bezpilotní letadlo se vzletovou hmotností větší než 0,91 kg musí být vybaveno bezpečnostním systémem, který při poruše provede ukončení letu. Pro pilota platí povinnost hlášení událostí (např. letecká nehoda) spojených s provozem bezpilotního letadla (Ministerstvo dopravy ČR, 2020).

Dosud nebyl provoz bezpilotních leteckých prostředků v ČR regulován. Nová evropská směrnice, která by se měla v ČR začít uplatňovat od 31. 12. 2020, říká, že modely letadel (do 25 kg vzletové hmotnosti s neprofesionálním využitím) a bezpilotní letadla pro rekreační a sportovní létání (do 25 kg vzletové hmotnosti) nebude potřeba evidovat a pilot nebude muset mít povolení k létání. To neplatí pro ostatní bezpilotní letadla, která buďto převyšují hranici vzletové hmotnosti 25 kg, nebo jsou používána pro profesionální účely – bude nutné Povolení k provozování leteckých činností pro vlastní potřebu, nebo Povolení k provozování leteckých prací. U modelů letadel bude představovat Doplněk X doporučené postupy, u ostatních se bude aplikovat závazně. Pojištění bude vždy vyžadováno u letadel s profesionálním použitím a u bezpilotních letadel nad 25 kg, nebo u bezpilotního letadla do 25 kg pro rekreační a sportovní létání při leteckém veřejném vystoupení (Úřad pro civilní letectví, 2020; Ministerstvo dopravy ČR, 2020).

Podle platných právních norem byly zpracovány písemné smlouvy dovolující přístup na pozemky a následné provedení vzletu s přistáním pro účely zhotovení této práce. Smlouvy o povolení jsou uvedeny v Příloze č. 1 a Příloze č. 2.

Let v obou lokalitách se uskutečnil 7. 8. 2019 v bezvětrí, polojasnu před deštěm, při teplotě 20 °C a relativní vlhkosti 70 % (Meteo.ratajeobec.cz, 2019). Údaje o počasí byly převzaty z meteorologické stanice Rataje u Bechyně, která leží 6,6 km severovýchodně od Dražiče (Mapy.cz, 2020). Počasí bylo optimální pro UAV fotogrammetrii – nebyly vrhány stíny, které by komplikovaly zpracování modelů. Výška letu byla zvolena cca 80 m a rychlost letu 14 m/s, což odpovídá přibližně 50 km/h. Vzlet i přistání proběhly v manuálním režimu, let byl předprogramován z důvodu lepší obslužnosti fotoaparátu. Proces byl korigován z pozemní ovládací stanice (na Obrázku č. 17):



Obrázek č. 17: DJI Phantom 4 Pro - ovládací stanice.

Krátce po vzletu UAV v první lokalitě narušil náš předpřipravený let nízko letící vrtulník W-3A Sokół používaný leteckou záchrannou službou (viz Obrázek č. 18).

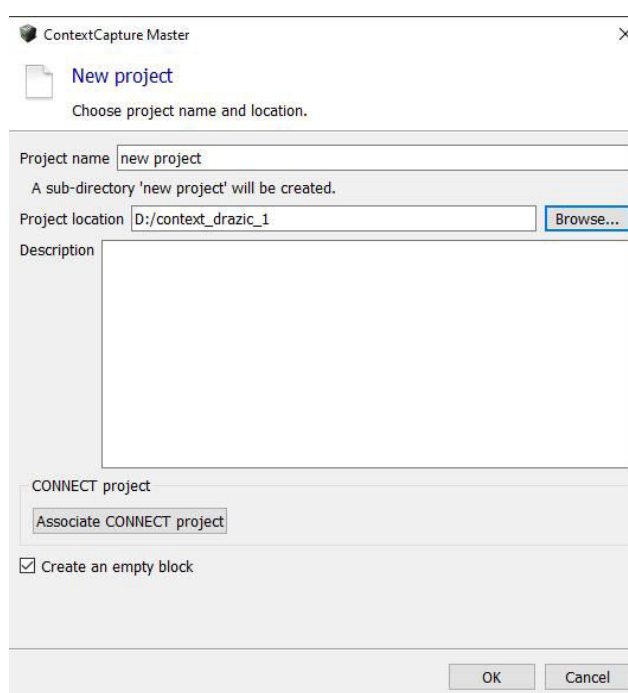


Obrázek č. 18: Vrtulník PZL W-3 Sokół nad první lokalitou.

Bylo nutné s UAV okamžitě přistát a po přeletu vrtulníku proces letu zopakovat. Celou dobu letu bylo nutné udržovat vizuální kontakt s UAV, dávat pozor na okolní ptactvo a kontrolovat stav akumulátoru. Přítomni byli dva piloti – jeden hlavní a druhý kontrolní. Vyfotografování dvou stanovišť včetně přesunu mezi nimi trvalo 53 minut a celkem bylo pořízeno 207 fotografií.

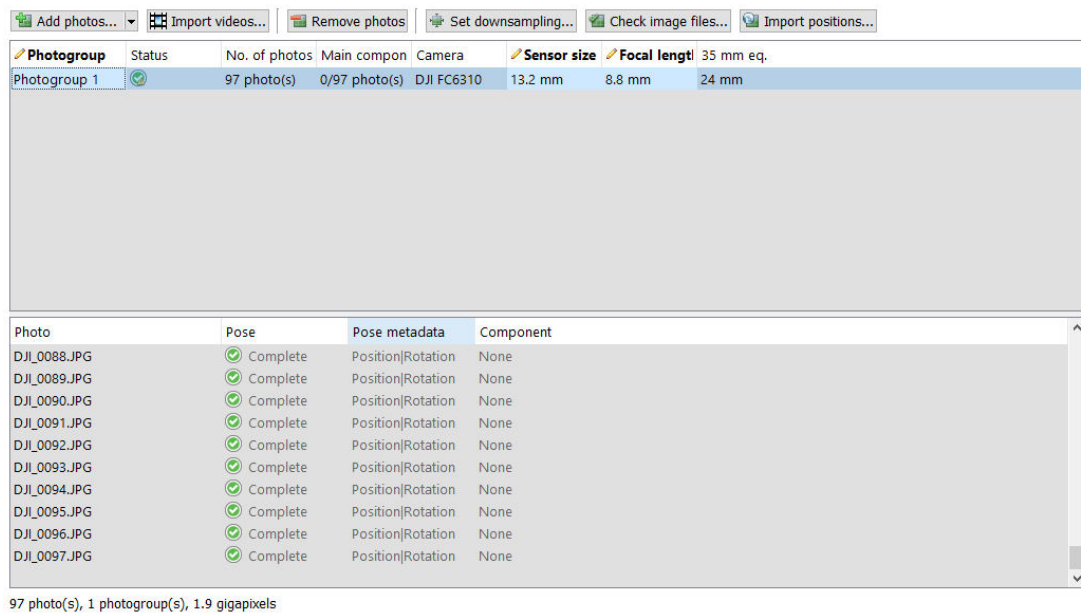
3.7 Zpracování v programu Bentley ContextCapture

V programu Bentley ContextCapture se musí nejprve vytvořit nový projekt, který můžeme pojmenovat a vložit na disk podle našeho uvážení (Obrázek č. 19).



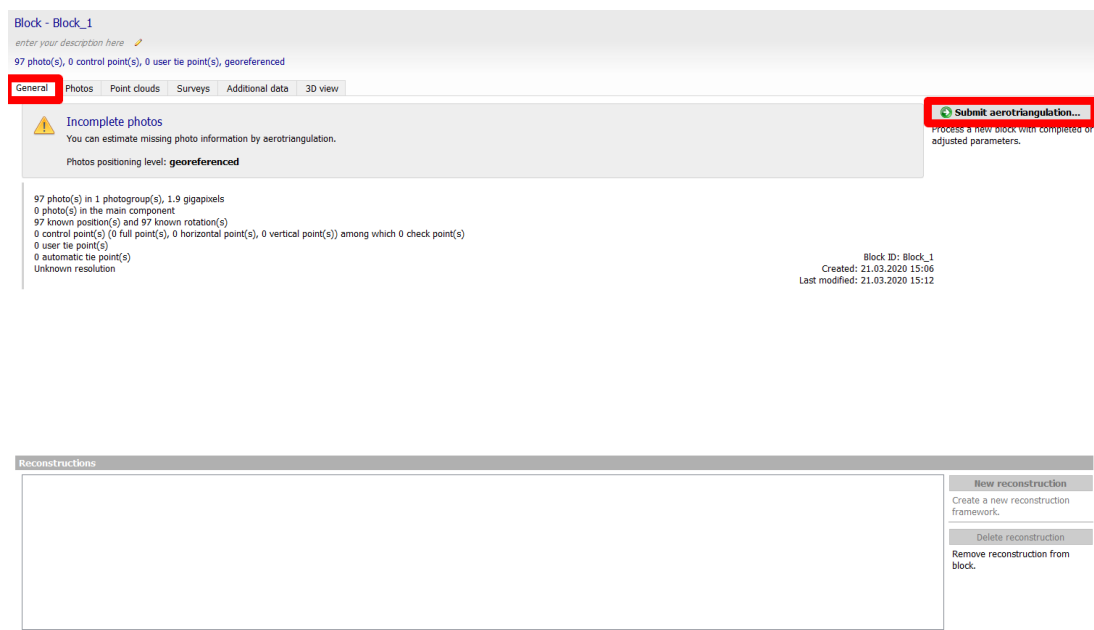
Obrázek č. 19: Vytvoření nového projektu.

V projektu vznikne tzv. blok, do kterého se hromadně nahrají všechny potřebné fotky. Program automaticky přečte základní informace obsažené v obrázku, zejména tedy rozlišení, nastavenou ohniskovou vzdálenost (u nepodporovaných fotoaparátů je ji potřeba ručně doplnit) a velikost snímače. Program nám poskytuje informaci, jestli jsou spolu se snímky dostupná i jejich metadata (police a rotace), viz Obrázek č. 20.



Obrázek č. 20: Nahrané fotografie z UAV v programu Bentley ContextCapture.

Poté přepínáme zpět do záložky General a zvolíme proces aerotriangulace (Obrázek č. 21).



Obrázek č. 21: Zahájení aerotriangulace.

Aerotriangulace nám spojí souřadnice z měřičských snímků s geodetickými systémy zahuštěním bodového pole za vytvoření vlíčovacích bodů. Snímky jsou již georeferencovány. Vybíráme nastavení podle šablony, nebo můžeme nastavit vlastnosti procesu aerotriangulace ručně, jak je k vidění na Obrázku č. 22:

Settings

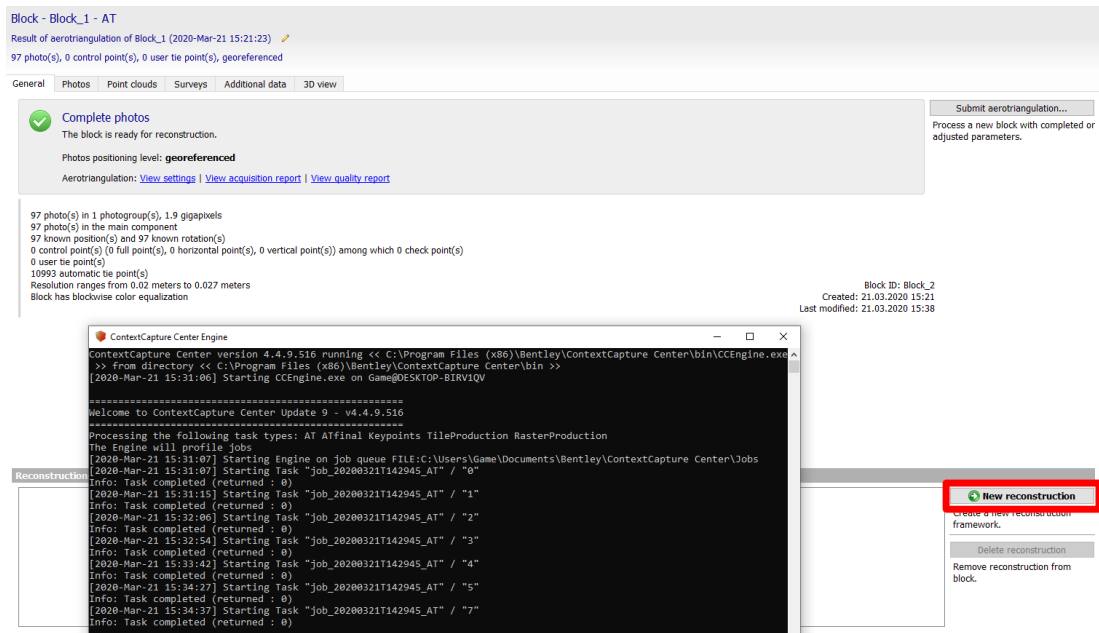
Choose aerotriangulation settings including estimation policies and low-level settings.

Preset: Default

Keypoints density	Normal	
QR codes extraction	Disabled	
Pair selection mode	Default	Maximal distance: 3 photo(s)
Component construction mode	One-pass	
Blockwise color equalization	Enabled	
Estimation policies		
Tie points	Compute	
Position	Compute	Tolerance 0
Rotation	Compute	
Optical properties estimation mode	One-pass	
Focal length	Adjust	
Principal point	Adjust	
Radial distortion	Adjust	
Tangential distortion	Keep	
Aspect Ratio	Keep	
Skew	Keep	
Estimation groups	Per photogroup	

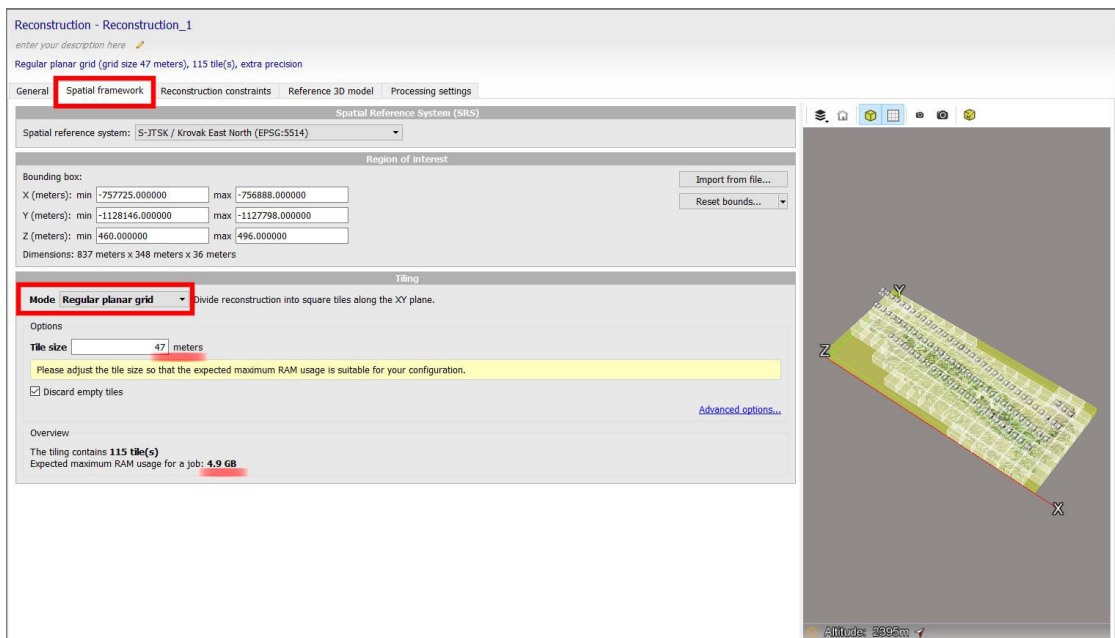
Obrázek č. 22: Nastavení procesu aerotriangulace.

Základní podmínkou naběhnutí procesu aerotriangulace je spustit tzv. „Engine“, který celou operaci pohání. Na Obrázku č. 23 je znázorněn už hotový proces aerotriangulace s pobídkou k vytvoření nové rekonstrukce.



Obrázek č. 23: Engine s dokončeným procesem aerotriangulace, nová rekonstrukce.

Po zvolení možnosti New Reconstruction systém hlásí, že je překročena maximální kapacita RAM paměti. Pro vytvoření nového modelu je nutné použít funkci Tiling, což je vlastně vydláždění našeho návrhu modelu na pravidelnou krychlovou mřížku, v níž se budou zpracovávat jednotlivé kostky odděleně, a tak nedojde k přehlcení kapacitních možností RAM paměti, viz Obrázek č. 24.



Obrázek č. 24: Funkce Tiling při procesu nové rekonstrukce.

Celkem bylo v tomto případě vyčleněno 115 kostek o délce hrany 47 m, každá z nich využívá 4.9 GB RAM paměti a každá kostka se zpracovává postupně a samostatně. Podobně jako v nastavení aerotriangulace, tak v nastavení rekonstrukce byla zvolena následující šablona základních parametrů (Obrázek č. 25).

Reconstruction - Reconstruction_1
enter your description here ✎
Regular planar grid (grid size 47 meters), 115 tile(s), extra precision

General Spatial framework Reconstruction constraints Reference 3D model Processing settings

Preset type: Default ▾

Selection of matching pairs Generic ▾

Photos used for geometry Exclude thermal imagery ▾

Geometric precision Extra ▾ Extra precision, larger file size (tolerance of 0.5 pixel in input photos)

Hole-filling Fill small holes only ▾

Geometric simplification Standard ▾

Color equalization mode Blockwise ▾ Apply the color equalization computed during Aerotriangulation.

Untextured regions representation Inpainting completion ▾ Untextured regions color: ■

Texture source priority Photos first ▾

Resolution limit (meters) 0 Clamp resolution if finer than the specified limit

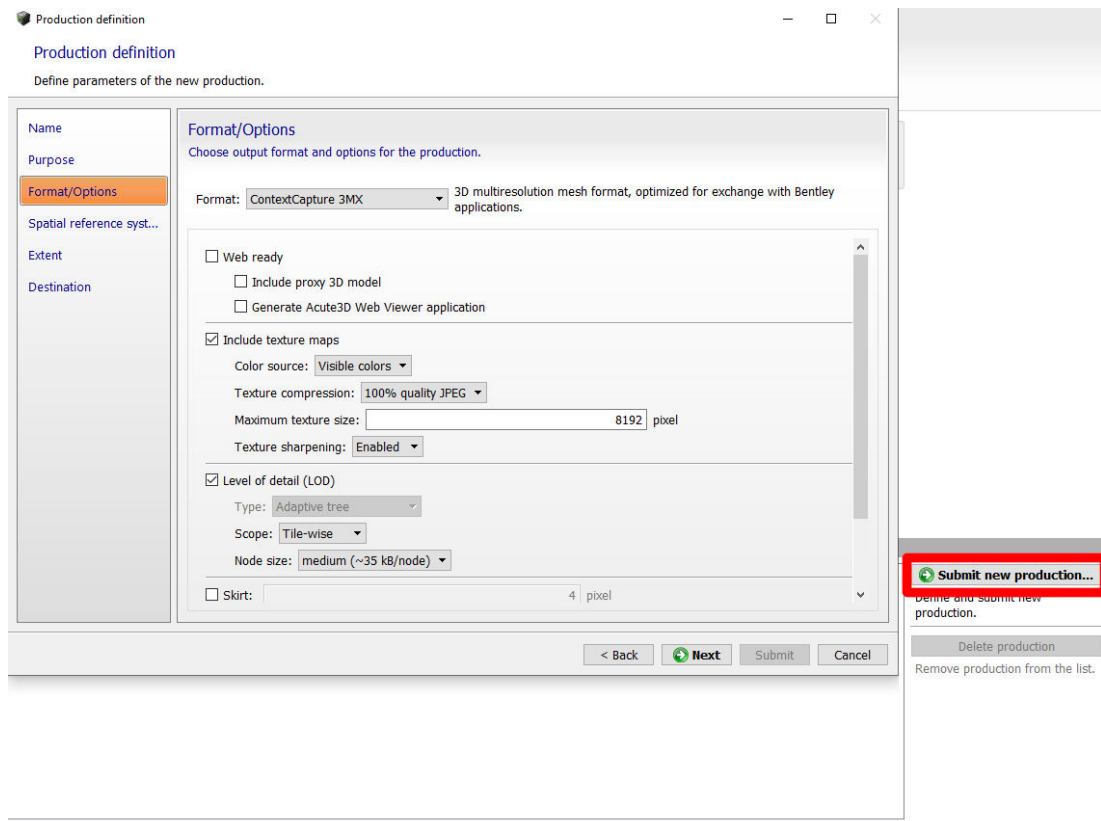
Low-level settings

No item defined.

Obrázek č. 25: Nastavení parametrů procesu rekonstrukce.

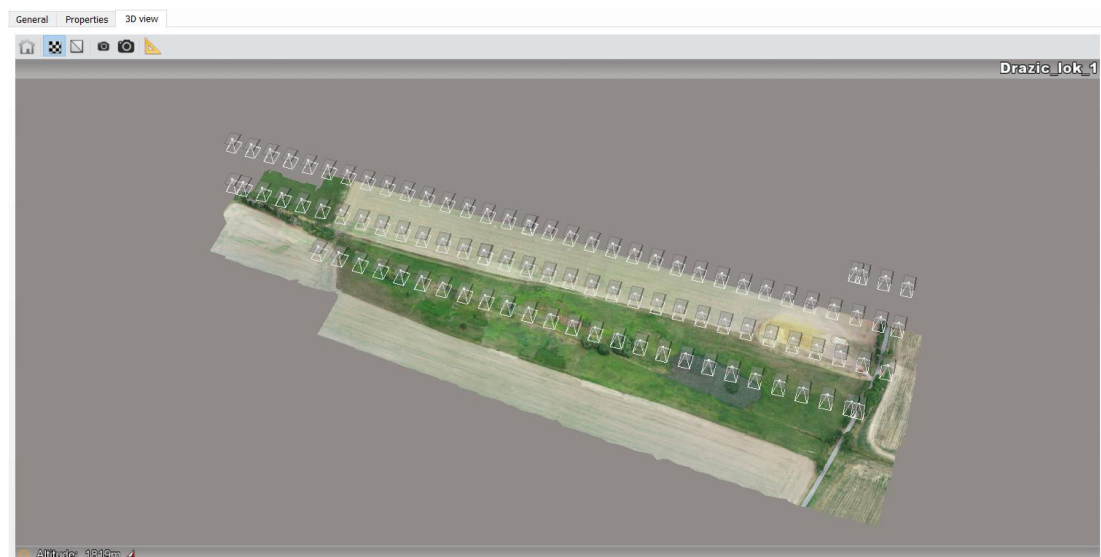
Geometrická přesnost byla nastavena na hodnotu Extra. Tolerance činila 0,5 pixelu ze vstupních fotek. V případě vzniku děr v textuře budou vyplněny pouze malé vady, netexturované regiony budou reprezentovány šedou výplňovou barvou.

Po dokončení rekonstrukce se dostáváme k poslední ze 3 hlavních částí procesu zpracování fotografií z první lokality, a to k produkci. Tu spustíme a nadefinujeme její formát a vlastnosti procesu (vč. souřadnicového systému), jak můžeme vidět na Obrázku č. 26.



Obrázek č. 26: Spuštění a nastavení procesu produkce.

Po úspěšném zpracování dat si můžeme vytvořený model prohlédnout vestavěnou funkcí programu 3D View, vidíme i jednotlivé polohy pořízených snímků z použitého UAV (Obrázek č. 27).



Obrázek č. 27: Zobrazení modelu první lokality funkcí 3D View.

4 Výsledky a diskuze

Výsledný první model byl vytvořen celkem za 3 hodiny a k jeho vytvoření bylo použito všech 97 fotek (Příloha č. 4) o objemu dat 820 MB, každá s vysokým rozlišením 5472×3648, ohniskovou vzdáleností 8,8 mm a danou velikostí snímače 13,2 mm.

V Příloze č. 3, kde je uveden softwarový výstupní protokol první lokality, je vypočítána průměrná velikost 1 pixelu v jednotkách „reálného světa“ 24,6883 mm/pixel. Bylo pokryto 268 998 m² celkové plochy a vytvořeno 22 026 vázacích bodů (těmi se vážou fotografie k sobě) s mediánem 765 bodů na jednu fotografii, zatímco v obráceném vztahu vyšel jeden vázací bod na 3 fotografie.

Hodnota RMS chyby promítání vyšla 0,45 pixelu – ta udává druhou odmocninu průměru čtverečních chyb promítání vypočtených pro každý vygenerovaný vázací bod. Zkratka RMS znamená statistickou hodnotu Root Mean Square (odmocnina průměru čtverců), čili efektivní hodnotu. Medián chyby promítání činil 0,33 pixelu.

Dále musela být kamera zkalibrována a veličiny K1 až K3 představují koeficienty radiální distorze, čili zkreslení na základě výrobních nepřesností objektivu, neboli lišících se úhlů paprsků vstupujících do objektivu od úhlů paprsků z něj vystupujících. Poté se měří nejistoty polohy fotografie, které jsou znázorněny graficky a číselně (čím větší je elipsa kolem bodu fotografie, tím si je software méně jistý její polohou), číselně je uvedena v metrech v XYZ souřadnicích – minimální, střední a maximální. Střední hodnoty byly pro X 0,0059 m, pro Y 0,005 m a pro Z 0,0024 m.

Během spojování fotografií byly zváženy následující údaje: nejistota polohy vázacích bodů, jejíž medián se rovnal 0,0385 m, počet fotografií použitých k definování každého vázacího bodu, jež se rovnal průměrně 4, chyba promítání vztahující se k jednotlivým vázacím bodům, která vyšla v průměru 0,40 pixelu a rozlišení vázacích bodů, jehož medián odpovídá 0,0279 metru/pixel.



Obrázek č. 28: Výsledný model první lokality.

Druhý model byl vytvořen za 5 hodin a k jeho vyhotovení bylo vloženo 110 fotek o celkovém objemu dat 925 MB, každá s rozlišením 5472×3648, ohniskovou vzdáleností 8,8 mm a velikostí snímáče 13,2 mm. 5 fotek bylo programem vyřazeno z procesu, což je uvedeno i v protokolu dostupném k nahlédnutí v Příloze č. 6.

V Příloze č. 5 je zaznamenán výstupní protokol druhé lokality ze softwaru Bentley ContextCapture. Je zde popsáno, že průměrná velikost 1 pixelu v měřicích jednotkách (reálného světa) byla 39,6392 mm/pixel, byla pokryta plocha o rozloze 347 091 m² a bylo vygenerováno 29 665 vázacích bodů s mediánem 1 058 bodů na fotografii, medián jednoho vázacího bodu vyšel na 3 fotografie.

Hodnota RMS chyby promítání všech vázacích bodů vyšla 0,44 pixelu. Medián chyb promítání činil 0,31 pixelu. To jsou podobné hodnoty, kterých bylo dosaženo v měřeních první lokality.

Nejistota polohy fotografie v XYZ souřadnicích středních hodnot byla stanovena pro X 0,0033 m, pro Y 0,0048 m a pro Z 0,0047 m. Střední hodnoty se v první ani druhé lokalitě výrazně nelišily.

Proces spojování fotografií vydal tyto proměnné: nejistotu polohy vázacích bodů – medián se rovnal 0,2175 m, počet fotografií definujících jednotlivé vázací body – průměrně 4, chyba promítání vázacích bodů – průměr 0,39 pixelu a rozlišení vázacích bodů – medián 0,0392 metru/pixel.



Obrázek č. 29: Výsledný model druhé lokality.

Model potvrzuje prohlášení Aicardiho et al. (2016), že program Bentley ContextCapture je fotogrammetrickým softwarem s kvalitními výstupy, a zároveň je ve shodě s Bartošem et al. (2014), že profesionální software je nenahraditelný, ačkoliv u volně dostupných programů vidí do budoucna růstový potenciál.

Při takové přesnosti bodového mračka a i relativně rychlém sběru a zpracování dat by se tento postup dal v KoPÚ aplikovat např. ke zjišťování nesouladů a aktualizaci hranic a druhů pozemků, rozboru současného stavu (např. efemerní rýhy po erozi), mapování územních systémů ekologické stability (ÚSES) a analýze zapojenosti porostu, 3D modelování pro vytvoření digitálního modelu terénu (zjišťování erozní ohroženosti zemědělských pozemků), tvorbě drah soustředěného odtoku a z nich určení kritických bodů na hranici intravilánu obce, či k vytváření digitálního modelu povrchu (DSM) pro identifikaci drenážních systémů v zemědělské půdě ad. Model může být vykreslen v různých souborových formátech, a proto i použit k dalšímu zpracování v jiných počítačových programech např. při vizualizaci prvků plánu společných zařízení přímo v krajině – kupř. zřizování nových polních cest a konstrukci jejich podélných profilů a příčných řezů, stavění propustků, výsadbě větrolamů, zalesnění, ochranném zatravnění a jiných protierozních opatřeních, budování vodohospodářských staveb a při výstavbě vodních děl – zjišťování podélných profilů toků a jejich příčných řezů. Takové zobrazení může mít nejen značný efekt při projektování v krajině, ale i při prezentaci návrhů na jednání s vlastníky, nájemci půdy i s dotčenými orgány státní správy.

5 Zhodnocení a závěr

Cílem této bakalářské práce bylo podat základní informace o tématech fotogrammetrie, fotogrammetrických softwarů, bezpilotních leteckých prostředků, pozemkových úprav a dálkového průzkumu Země, následně zjistit možnosti využití fotogrammetrického softwaru v komplexních pozemkových úpravách, a to za pomoci praktické ukázky postupu, kterým se obrazová data sbírají a následně v softwaru zpracovávají pro vytvoření konečného modelu, se kterým je možné nadále pracovat jakožto s vypovídajícím a přesným obrazem skutečného stavu části krajiny v daném čase. S tímto sofistikovaným fotogrammetrickým softwarem bylo nutné se naučit pracovat, což ale díky jeho uživatelské přívětivosti a intuitivnímu ovládní není časově náročná záležitost.

V teoretické části byla popsána metoda fotogrammetrie, její definice, principy, historie a využití. Další oddíl se zaměřil na bezpilotní letecké prostředky, jejich obecný popis, rozdělení, historii a široké využití. Dále byly definovány pozemkové úpravy, jejich cíle a důvody zahájení, obvod, formy a dějiny se k nim vztahující zejména ve vztahu k České republice. Poté následoval krátký exkurz do obecného pojetí dálkového průzkumu Země. Nakonec byly experimentálně porovnány k dnešku dostupné fotogrammetrické softwary z hlediska jejich přesnosti zpracování a detailnosti jednotlivých výstupů.

V praktické části byl nejdříve vysvětlen cíl práce, poté byl proveden popis zájmového území, popis použité dálkově ovládané techniky a principů sběru dat. Byly vypsány zásady bezpečného letu podle Doplnku X a i let samotný. Závěrem této části byl chronologicky vyjeven postup fotogrammetrického zpracování obrazových dat v programu Bentley ContextCapture. Výsledné modely byly prezentovány 3D formou a kontrola jejich kvality byla provedena analýzou výstupního protokolu zpracování aerotriangulace ze softwaru.

Modely jsou přesné a mají jistou vypovídající hodnotu, navíc data pro jejich vytvoření byla nasbírána rychle a efektivně. Modely by mohly být využity např. pro průzkumové práce, rozbor současného stavu, při zjišťování hranic pozemků (za použití zaměřených vlíčovacích bodů), aktualizaci nesouladů druhů pozemků, mapování přírodních prvků – územních systémů ekologické stability (ÚSES),

vytvoření digitálního modelu terénu (DTM) pro zjištění erozní ohroženosti pozemků nebo i k vytvoření digitálního modelu povrchu (DSM) k identifikaci drenážních systémů v zemědělské půdě. Tento druh výstupu je také vhodný jako detailní podklad pro jednání s vlastníky pozemků a jinými subjekty na pozemcích hospodařícími.

Již dnes je jasné, že bezpilotní letecké prostředky budou stále rozšířenější komoditou, která bude postupně levnější, výkonnější a propracovanější, umožňující nové, dosud neobjevené funkce, a to vše mj. díky postupnému rozšíření těchto prostředků napříč všemi profesionálními i amatérskými obory. I proto na tento vývoj reaguje Evropská unie zaváděním společných regulativních (legislativních) pravidel pro létání s těmito prostředky ve vzdušném prostoru členských států. Letecká fotogrammetrie je v zahraničí velice využívána v oborech, jako je např. archeologie, u které je přesnost i vizuální hodnota objektu velice důležitá, svou roli hraje při modelování pro výpočet kubatur pro těžařské účely – lomy, lesy, nebo pro účel sledování stavu vodních nádrží, sledování mocnosti ledovců, záboru půdy pro civilizaci. Používá se i v tzv. precizním zemědělství a výpočtu objemů produkce.

Další taktickou výhodou je jejich přístup do míst, která jsou potenciálně nebezpečná nebo jinak těžko přístupná (havárie, přírodní katastrofy), čehož prvně historicky využívala armáda. Dálkově ovládané letecké systémy spolupracující při sledování dopravní vytíženosti nebo při odklizení následků hromadných nehod, jsou dnes již ve standardní výbavě mnoha záchranných složek z celého světa. Zároveň stoupá i jejich komerční využití kupř. pro filmařské účely, reklamu, zábavu, transport i logistiku.

Ovládání bezpilotních leteckých prostředků je čím dál tím snazší, intuitivnější. Ani tomuto odvětví se nevyhnula automatizace, která spočívá v možnosti realizace autonomních letů a používání inteligentních prvků, jako je automatické vyhýbání se překážkám, v případě detekované poruchy samovolný a samořízený návrat k výchozímu bodu apod. Potenciál je v ještě dalším zefektivnění těchto technologií v mnoha směrech a způsobech využití.

Seznam použité literatury

Publikace

AICARDI, I., CHIABRANDO, F., GRASSO, N., LINGUA, A. M., NOARDO, F., A. SPANÒ, A. UAV Photogrammetry with Oblique Images: First Analysis on Data Acquisition and Processing. In: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*: Vol. XLI-B1, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic, 2016, s. 835-842. DOI: 10.5194/isprsarchives-XLI-B1-835-2016.

BARTOŠ, K., PUKANSKÁ, K., SABOVÁ, J. Overview of Available Open-Source Photogrammetric Software, its Use and Analysis. In: *International Journal for Innovation Education and Research*: Vol. 2-04., Košice, Slovakia, 2014, s. 62-70. ISSN 2201-6740.

CAMPBELL, J. B., WYNNE, R. H.: Introduction to Remote Sensing, Fifth Edition. New York: Guilford Press, 2011, 667 s., ISBN 160918176x.

DOLEŽAL, P., PAVLÍK, M., STRÍTECKÝ, L., DUMBROVSKÝ, M., MARTÉNEK, J., 2010. *Metodický návod k provádění pozemkových úprav*. Praha: Ministerstvo zemědělství - Ústřední pozemkový úřad, 2010, 173 s.

EISENBEISS, H.: *UAV Photogrammetry*. Zürich, 2009. 237 s. Disertační práce č. 18515. ETH Zürich. Vedoucí práce: A. Grün [cit.2020-02-09]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3929/ethz-a-005939264>

HANZL, V., SUKUP, K., 2001. *Fotogrammetrie I*. Brno: CERM, 2001, 94 s., ISBN 80-214-2049-9.

KARAS, J., TICHÝ, T., 2016. *Drony*. Brno: Computer Press, 2016, 264 s., ISBN 978-80-251-4680-4.

LEGAT, K. Approximate Direct Georeferencing in National Coordinates. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*: Vol. 60-04, Graz, Austria, 2006, s. 239-255. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2006.02.004.

LILLESAND, T., KIEFER, R. W., CHIPMAN, J., 2015. *Remote Sensing and Image Interpretation*. Seventh Edition. Hoboken, N. J.: Wiley, 2015, 736 s., ISBN 9781118343289.

ZONGJIAN, L. UAV for Mapping – Low Altitude Photogrammetric Survey. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*: Vol. XXXVII-B1. Beijing, China, 2016, s. 1183-1186.

LINDER, W., 2016. *Digital Photogrammetry – A Practical Course*. Fourth Edition. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2016, 209 s., ISBN 978-3-662-50462-8.

MARŠÍK, Z., 1982. *Fotogrammetrie, 1. díl - Základy letecké fotogrammetrie*. 2. vyd. Praha: SNTL, 56 s.

MOUGET, A., LUCET, G. Photogrammetric Archaeological Survey with UAV. In: *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*: Vol. II-5, ISPRS Technical Commission V Symposium, 23-25 June 2014, Riva del Garda, Italy, 2014, s. 251-258. DOI: 10.5194/isprsannals-II-5-251-2014.

NTREGKA, A., GEORGOPOULOS, A., SANTANA QUINTERO, M. Photogrammetric Exploitation of HDR Images for Cultural Heritage Documentation. In: *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*: Vol. II-5/W1, XXIV International CIPA Symposium, 2 – 6 September 2013, Strasbourg, France, 2013, s. 209-214. DOI: 10.5194/isprsannals-II-5-W1-209-2013.

PAVELKA, K., 2003. *Fotogrammetrie 10*. 2. přeprac. vyd. Praha: ČVUT, 194 s. ISBN 80-01-02649-3.

PAVELKA, K., 2006. *Fotogrammetrie 20*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 193 s. ISBN 80-01-02762-7.

REMONDINO, F., BARAZZETTI, L., NEX, F., SCAIONI, M., SARAZZI, D. UAV Photogrammetry for Mapping and 3D Modeling – Current Status and Future Perspectives. In: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*: Vol. XXXVIII-1/C22, ISPRS Zurich 2011 Workshop, 14-16 September 2011, Zurich, Switzerland, 2011, s. 25-31. ISBN: 2194-9034.

SANTISE, M., THOENI, K., RONCELLA, R., DIOTRI, F., GIACOMINI, A. Analysis of Low-Light and Night-Time Stereo-Pair Images for Photogrammetric Reconstruction. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*: Vol. XLII-2, ISPRS TC II Mid-term Symposium “Towards Photogrammetry 2020”, 4–7 June 2018, Riva del Garda, Italy, 2018, s. 1015-1022. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-1015-2018.

SCHOWENGERDT, R. A., 2007. *Remote Sensing, Models, and Methods for Image Processing*. Third Edition. Burlington, MA: Academic Press, 560 s., ISBN 9780123694072.

SKLENIČKA, P., 2003. *Základy krajinného plánování*. 2. vyd. Praha: Naděžda Skleničková, 314 s. ISBN 80-903206-1-9.

TLAPÁKOVÁ, L., ČMELÍK, M., ŽALOUĐÍK, J., KARAS, J., 2016. *Metodika identifikace drenážních systémů a stanovení jejich funkčnosti*. Pardubice: VÚMOP, 214 s. ISBN 978-8087361-58-0.

VLASÁK, J., BARTOŠKOVÁ, K., 2007. *Pozemkové úpravy*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 168 s. ISBN 978-80-01-03609-9.

Legislativa

Ministerstvo dopravy ČR, 2020. Doplněk X – bezpilotní systémy. *Letecký předpis L2*. Praha: Úřad pro civilní letectví. Č. j. 153/2014-220.

Internetové zdroje

Český úřad zeměměřičský a katastrální. *Nahlížení do katastru nemovitostí* [online]. 2020 [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://nahliznidokn.cuzk.cz/>

Český statistický úřad. *Počet obyvatel v obcích – k 1. 1. 2020* [online]. 2020 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcich-k-112019>

DJI. *Phantom 4 Pro* [online]. 2020 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.dji.com/cz/phantom-4-pro/info>

Drone Tech Planet. *The History Of Drones (Timeline From 1907 To 2019)* [online]. 2019 [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: <https://www.dronetechplanet.com/the-history-of-drones-timeline-from-1907-to-2019/>

Mapy.cz. *Mapový portál – Seznam.cz* [online]. 2020 [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni>

Meteo.ratajeobec.cz. *Meteostanice ME13 – Rataje u Bechyně* [online]. 2019 [cit. 2019-08-07]. Dostupné z: <http://meteo.ratajeobec.cz/>

Ministerstvo zemědělství ČR. *Portál eAGRI. Veřejný registr půdy – LPIS* [online]. 2020a [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/app/lpisext/lpis/verejny2/plpis/>

Ministerstvo zemědělství ČR. *Portál eAGRI. Voda – Centrální evidence vodních toků (CEVT)* [online]. 2020b [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/voda/aplikace/cevt.html>

Oficiální stránky obce Dražič [online]. 2008 [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://www.drazic.cz/obec/o-obci/>

Úřad pro civilní letectví. *Přehled základních požadavků na bezpilotní systémy* [online]. 2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz/letadla-bez-pilota-na-palube/prehled-zakladnich-pozadavku-na-bezpilotni-systemy/>

Územně identifikační registr ČR. *Katastrální území Hvožd'any u Bechyně: podrobné informace* [online]. 2017 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <http://www.uir.cz/katastralni-uzemi/650358/Hvozhdany-u-Bechyne>

Seznam použitých obrázků

Obrázek č. 1: Kettering Bug v muzeu.

Dostupné z: https://travelforaircraft.files.wordpress.com/2011/03/blog-kettering-bug_mg_9139_edited-1.jpg

Obrázek č. 2: Radioplane OQ-2.

Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/93/Radioplane_OQ-2_%2826150867906%29.jpg

Obrázek č. 3: První izraelské vojenské UAV (Mastiff).

Dostupné z: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/46/Tadiran-Mastiff-III-hatzerim-1.jpg>

Obrázek č. 4: Ehang 184 ve vzduchu.

Dostupné z: <https://www.svetandroida.cz/media/2018/02/ehang-184-dron.webp>

Obrázek č. 5: Příklad nanodronu.

Dostupné z:
https://s12emagst.akamaized.net/products/15729/15728623/images/res_7236b3731c065104794cec6dbbc1d6c5_full.jpg

Obrázek č. 6: Využití UAV fotogrammetrie v archeologii.

Dostupné z: <https://cdn.imgbin.com/16/13/22/imgbin-photogrammetry-archaeology-photography-archaeological-site-excavation-archaeologist-McPEAfñwUSU58jUPjvWxRBQc.jpg>

Obrázek č. 7: Kvadroptéra a oktakoptéra.

Dostupné z: <https://www.droni.cz/wp-content/uploads/2015/07/Kvadropt%C3%A9ra-ve-octocopt%C3%A9ra-nahledovy-obrazek.jpg>

Obrázek č. 8: Letoun společnosti AgEagle při mapování zemědělské kultury.

Dostupné z: https://img.directindustry.com/images_di/photo-g/182402-10533737.jpg

Obrázek č. 9: První let letadla – Wright Flyer 1903.

Dostupné z:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fe/Wright_First_Flight_1903Dec17_%28full_restore_115%29.jpg

Obrázek č. 10: Fotografie průzkumu kubánského území letadlem U-2 v roce 1962.

Dostupné z: <https://i2.wp.com/theaviationist.com/wp-content/uploads/2012/10/cubamisslesite.jpg?ssl=1>

Obrázek č. 11: Družice Landsat-1 určená k podrobnému snímkování planety.

Dostupné z: https://4.bp.blogspot.com/-WLGBppQl7NA/U8_-RRs1Sul/AAAAAAAAAZY/bQqt9gs4r9o/s1600/l.jpg

Obrázek č. 12: Model - (a) MicMac; (b) ContextCapture (Aicardi et al., 2016).

Obrázek č. 13: Letecký snímek první lokality (Mapy.cz, 2020)

Obrázek č. 14: Letecký snímek druhé lokality (Mapy.cz, 2020).

Obrázek č. 15: Mapa katastrálních území v prostředí GIS. *(vlastní tvorba)*

Obrázek č. 16: Kvadroptéra DJI Phantom 4 Pro. *(archiv Ing. Jakuba Polenského)*

Obrázek č. 17: DJI Phantom 4 Pro – ovládací stanice. *(vlastní archiv)*

Obrázek č. 18: Vrtulník PZL W-3 Sokół nad první lokalitou. *(vlastní archiv)*

Obrázek č. 19: Vytvoření nového projektu. *(vlastní tvorba)*

Obrázek č. 20: Nahrané fotografie z UAV v programu Bentley ContextCapture. *(vlastní tvorba)*

Obrázek č. 21: Zahájení aerotriangulace. *(vlastní tvorba)*

Obrázek č. 22: Nastavení procesu aerotriangulace. *(vlastní tvorba)*

Obrázek č. 23: Engine s dokončeným procesem aerotriangulace, nová rekonstrukce. *(vlastní tvorba)*

Obrázek č. 24: Funkce tiling při procesu nové rekonstrukce. *(vlastní tvorba)*

Obrázek č. 25: Nastavení parametrů procesu rekonstrukce. *(vlastní tvorba)*

Obrázek č. 26: Spuštění a nastavení procesu produkce. *(vlastní tvorba)*

Obrázek č. 27: Zobrazení modelu první lokality funkcí 3D View. *(vlastní tvorba)*

Obrázek č. 28: Výsledný model první lokality. *(vlastní tvorba)*

Obrázek č. 29: Výsledný model druhé lokality. *(vlastní tvorba)*

Seznam použitých tabulek

Tabulka č. 1: Hlavní elektromagnetická spektra v DPZ (Schowengerdt, 2007).

Tabulka č. 2: Počet vygenerovaných bodů softwarem (Aicardi et al., 2016).

Seznam použitých příloh

Příloha č. 1: Povolení přístupu na pozemek, start a přistání dronu – bezpilotního letadla v první uvedené lokalitě.

Příloha č. 2: Povolení přístupu na pozemek, start a přistání dronu – bezpilotního letadla ve druhé uvedené lokalitě.

Příloha č. 3: Procesní report kvality aerotriangulace první lokality programu Bentley ContextCapture.

Příloha č. 4: Procesní report použitých fotografií první lokality programu Bentley ContextCapture.

Příloha č. 5: Procesní report kvality aerotriangulace druhé lokality programu Bentley ContextCapture.

Příloha č. 6: Procesní report použitých fotografií druhé lokality programu Bentley ContextCapture.

Příloha č. 1: Povolení přístupu na pozemek, start a přistání
dronu – bezpilotního letadla v první uvedené lokalitě.

Povolení

Tímto povoluji

přístup na pozemek, start a přistání dronu – bezpilotního letadla na mém (mně svěřeném) pozemku p. č. 765/11, obec Dražíč [549371], k. ú. Dražíč [632198], číslo LV 393 Ing. Tomáši Pavlíčkovi, Ph.D., Ing. Jakubu Polenskému a Václavu Roháčovi dne 7. 8. 2019,

a to pro účely zhotovení praktické části bakalářské práce na téma Využití fotogrammetrických softwarů v KOPU zadané na Zemědělské fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.

Miroslav Hron,
předseda ZD Nemějice,
Slabčice 63, 398 47 Slabčice
IČO: 00112674

Podpis:

Václav Roháč,
student ZF JČU
Branišovská 1645/31A,
370 05 České Budějovice

Podpis:

**Zemědělské družstvo
NEMĚJICE** ①
Slabčice 63, 398 47 Slabčice
IČO: 00112674, DIČ: CZ00112674

Příloha č. 2: Povolení přístupu na pozemek, start a přistání dronu – bezpilotního letadla v druhé uvedené lokalitě.

Povolení

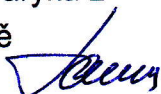
Tímto povoluji

přístup na pozemek, start a přistání dronu – bezpilotního letadla na mém (mně svěřeném) pozemku p. č. 2544/1, obec Bechyně [552054], k. ú. Hvoždany u Bechyně [650358], číslo LV 10001 Ing. Tomáši Pavlíčkovi, Ph.D., Ing. Jakubu Polenskému a Václavu Roháčovi dne 7. 8. 2019,

a to pro účely zhotovení praktické části bakalářské práce na téma Využití fotogrammetrických softwarů v KOPU zadané na Zemědělské fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.

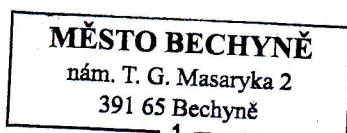
Ing. Pavel Houdek,
starosta města Bechyně
nám. T. G. Masaryka 2
391 65 Bechyně

Podpis:



Václav Roháč,
student ZF JČU,
Branišovská 1645/31A,
370 05 České Budějovice

Podpis:



Příloha č. 3: Procesní report kvality aerotriangulace první lokality programu Bentley ContextCapture.

Contents

- [Project Summary](#)
- [Camera Calibration](#)
- [Photo Positions](#)
- [Photo Matching](#)
- [Surveys](#)

For more information, please see our online manual: <https://www.acute3d.com/QualityReportManual/en/v1.0/index.html>

Project Summary

Project:	new project
Number of photos:	97
Ground coverage:	268998 square meters
Average ground resolution:	24.6883 mm/pixel
Scale:	1 : 74
Camera model(s):	DJI FC6310
Processing date:	15.11.2019 12:31
Processing time:	7min 20s

Quality Overview

Dataset:	97 of 97 photos calibrated (100%)
Keypoints:	Median of 47288 keypoints per image
Tie points:	22026 points, with a median of 765 points per photo.
Reprojection error (RMS):	0.45 pixels
Positioning / scaling:	Georeferenced using photo metadata, not using control point

Camera Calibration

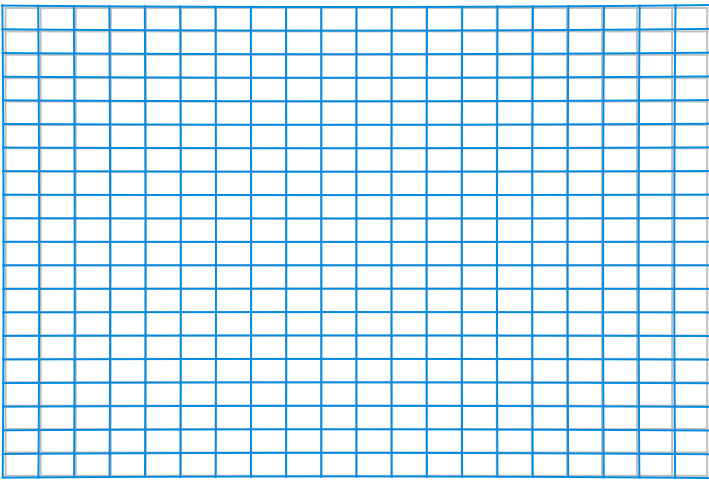
DJI FC6310 8.8mm 5472x3648

Name:	DJI FC6310
Model type:	Perspective
Image dimensions:	5472x3648 pixels
Sensor size:	13.2 mm
Number of photos:	97

Calibration Results

	Focal Length [mm]	Focal Length Equivalent 35 mm [mm]	Principal Point X [pixels]	Principal Point Y [pixels]	K1	K2	K3	P1	P2
Previous Values	8.80	24.00							
Optimized Values	7.20	19.62	2588.51	1960.06	0.0129	-0.0067	0.0041	0	0
Difference Previous /	-1.60	-4.38							

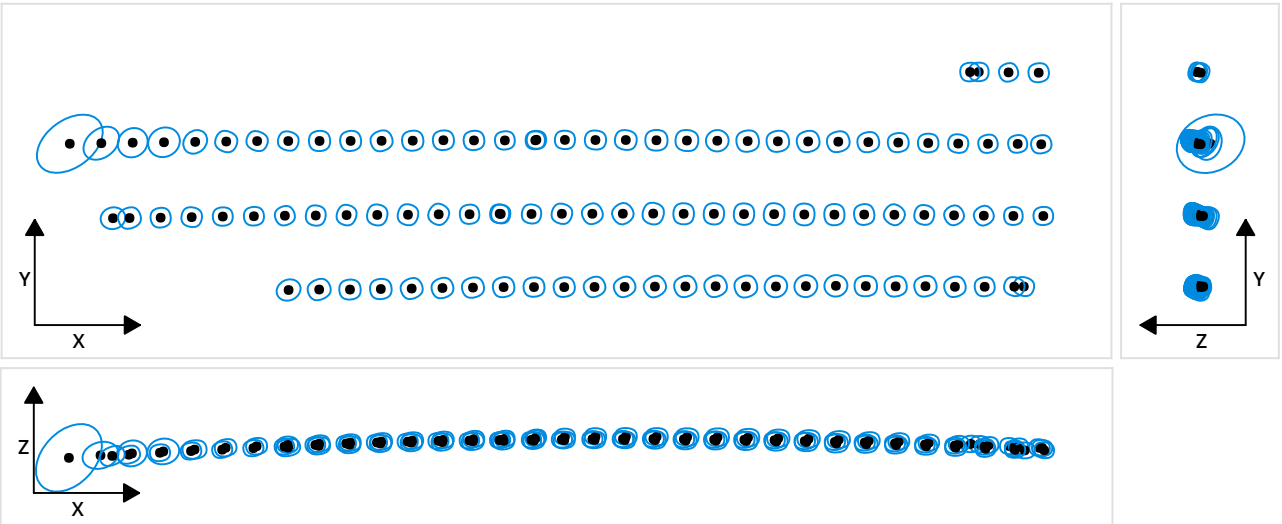
Distortion Grid



Camera Lens Distortion: Gray lines represent the zero distortion grid, and blue lines represent the real camera values.

Photo Positions

Photo Position Uncertainties

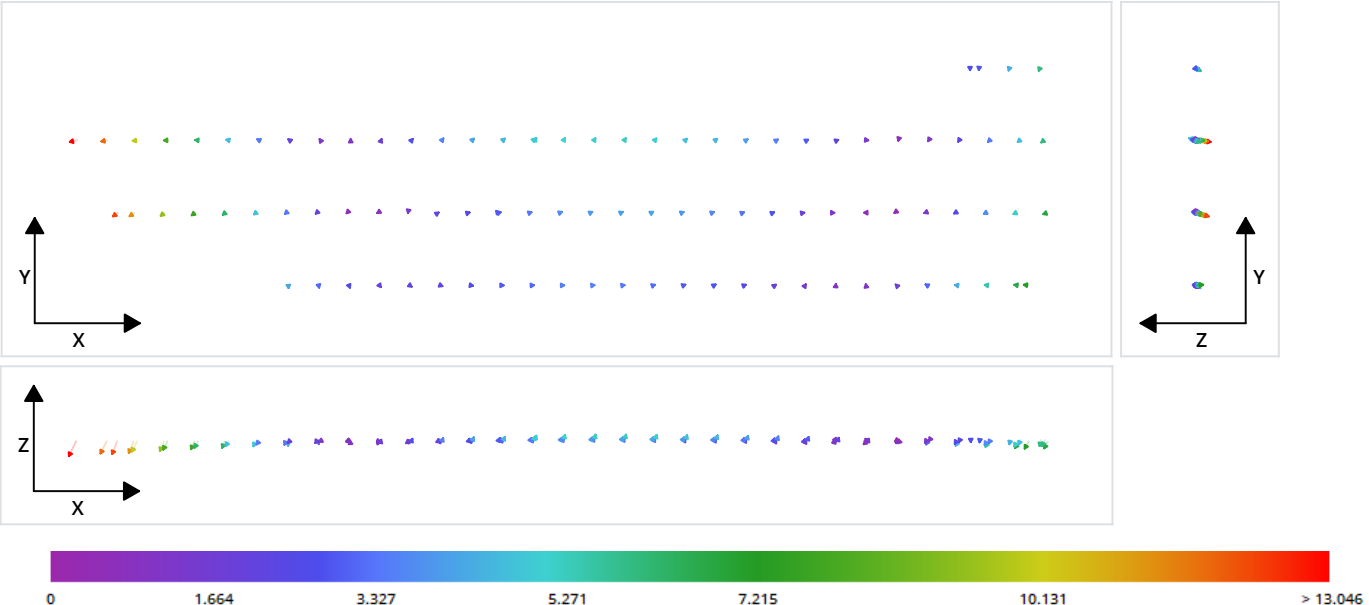


Position Uncertainties: Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) of computed photo positions (black dots). Blue ellipses indicate the position uncertainty, scaled for readability. The minimum and maximum values, as well as the average value, can be found in the table below.

Position Uncertainties			
	X [meters]	Y [meters]	Z [meters]
Minimum	0.0034	0.0025	0.001
Mean	0.0059	0.005	0.0024
Maximum	0.0415	0.0354	0.0428

For more information on individual photos, please refer to the [Photos Report](#).

Distance to Input Positions



Position Distance to Metadata: Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane), with arrows indicating the offset between the metadata positions and the computed photo positions; all arrows start from the metadata positions and point toward the computed positions. Gray points • indicate uncalibrated photos that have metadata. Pink points • indicate calibrated photos that have no metadata. The values are in meters, with a minimum distance of 0.4189 meters and a maximum of 14.2275 meters. The median position distance equals 3.3273 meters.

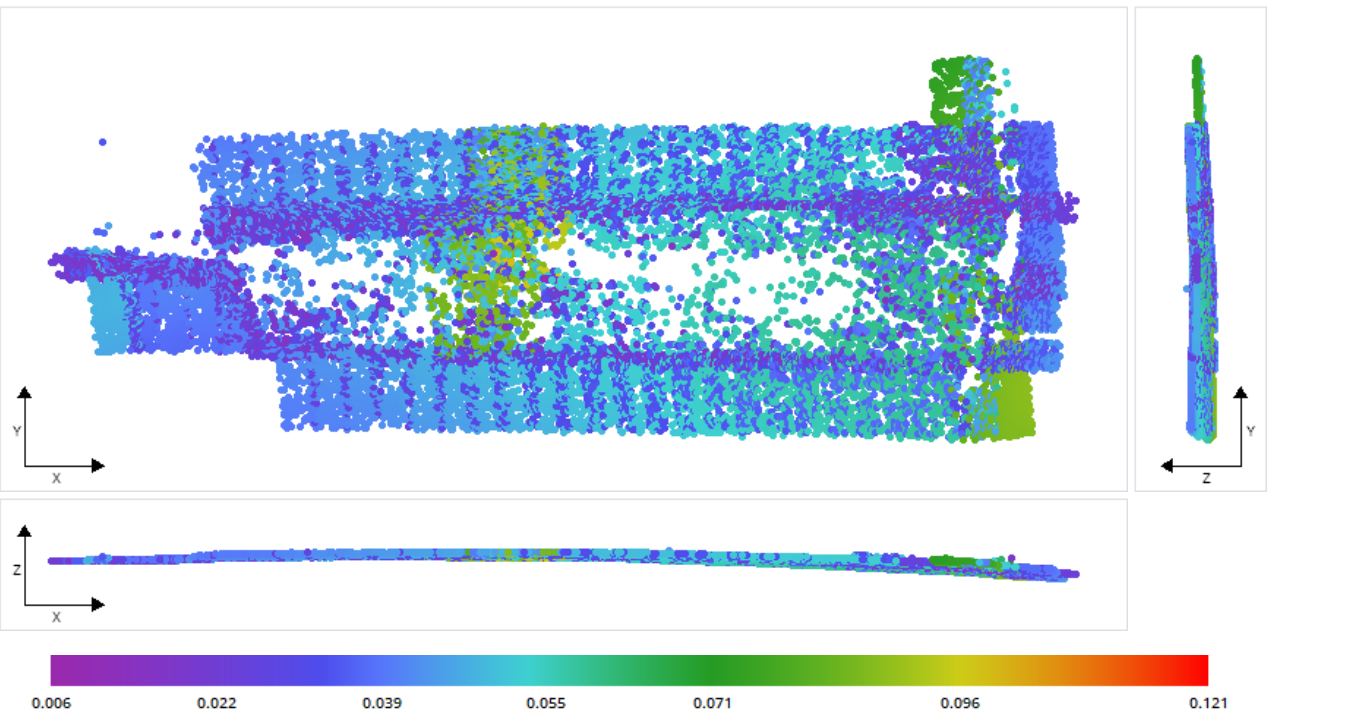
Photo Matching

Quality Measures on Tie Points

Generated Tie Points					
Number of Points	Median Number of Photos per Point	Median Number of Points per Photo	Median Reprojection Error [pixels]	RMS of Reprojection Error [pixels]	RMS of Distances to Rays [meters]
22026	3	765	0.33	0.45	0.0099

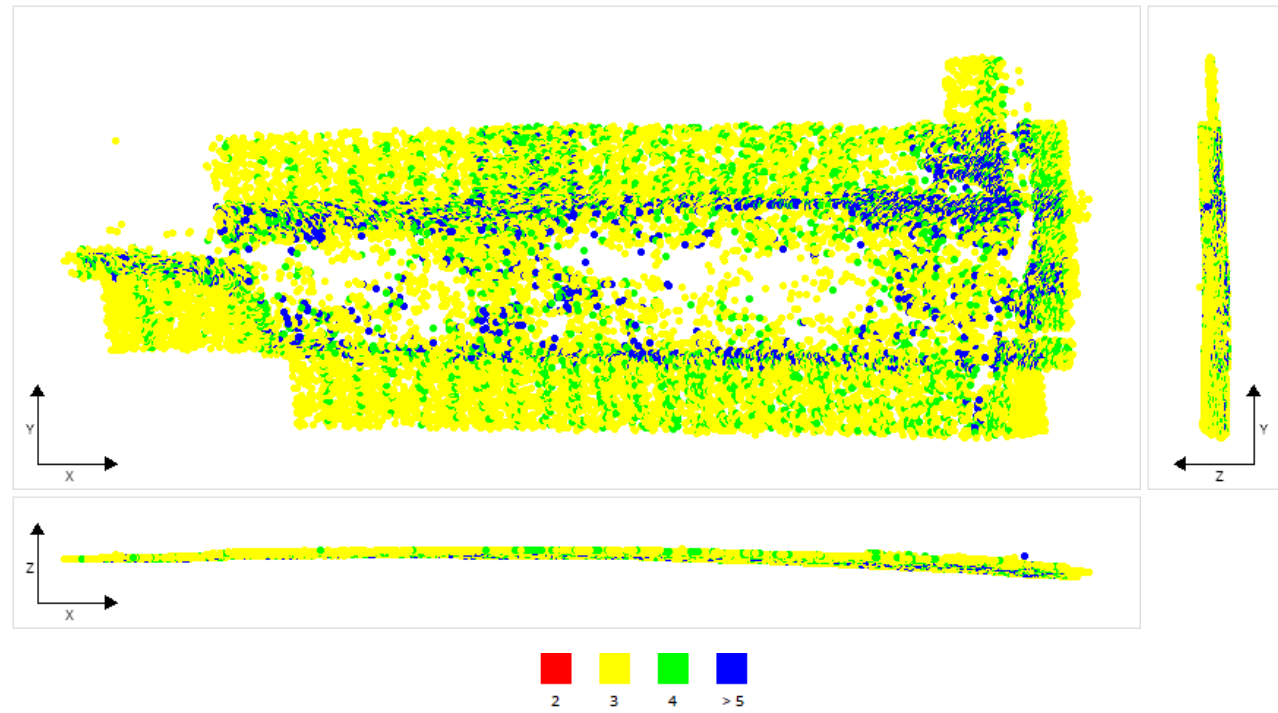
For more information on individual photos, please refer to the [Photos Report](#).

Tie Point Position Uncertainties



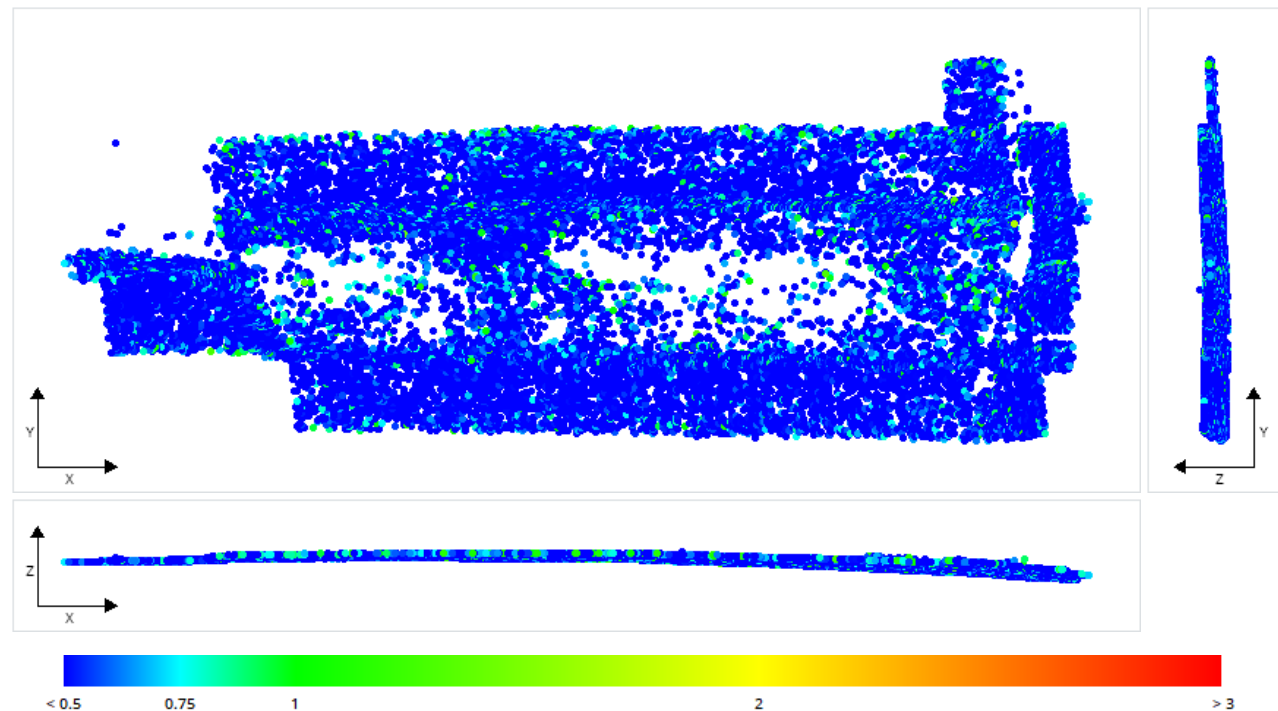
Position Uncertainties: Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) displays of all tie points, with colors representing uncertainty in the individual point position. The values are in meters, with a minimum uncertainty of 0.0092 meters and a maximum of 0.0989 meters. The median position uncertainty equals 0.0385 meters.

Number of Photos Observing the Tie Points



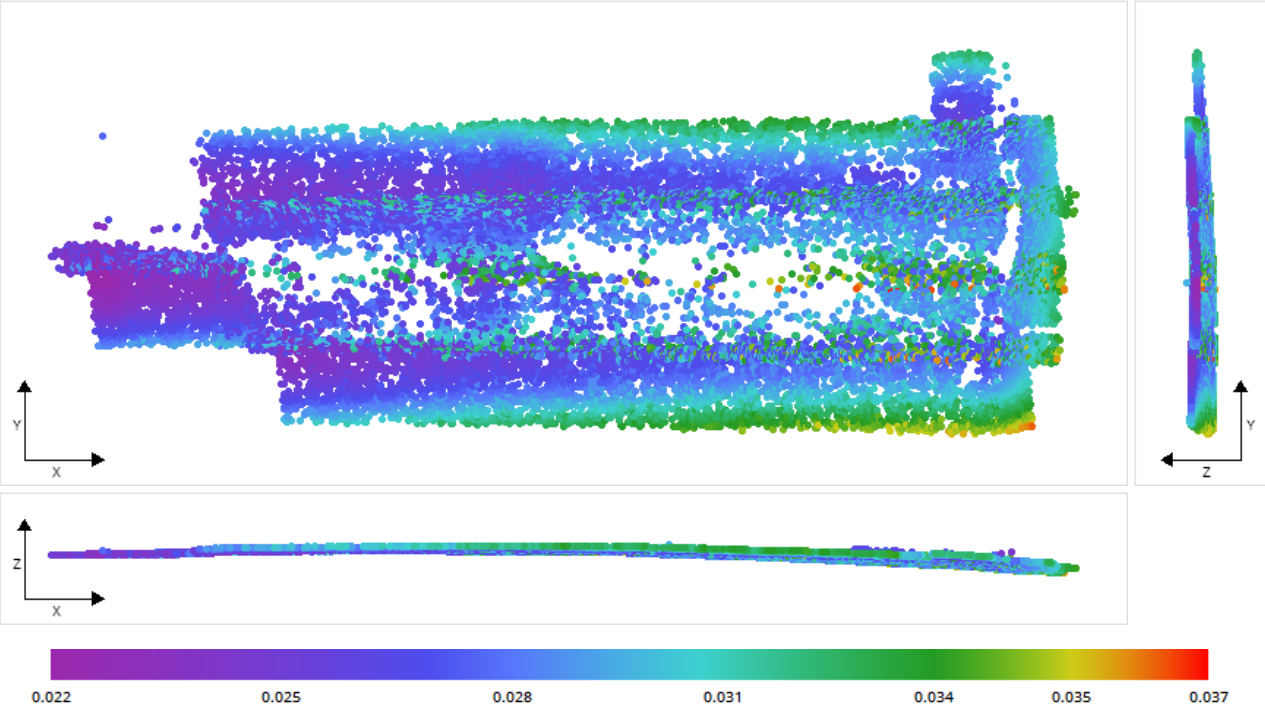
Number of Observations per Tie Point: Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) displays of all tie points, with colors representing the number of photos that have been used to define each point. The minimum number of photos per tie point is 3 and the maximum is 13. The average number of photos observing a tie point is 4.

Reprojection Error



Reprojection Errors per Tie Point: Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) displays of all tie points, with colors representing the reprojection error in pixels. The minimum reprojection error is 0.01 pixels and the maximum is 1.69 pixels. The average reprojection error is 0.40 pixels.

Tie Point Resolution



Resolution: Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) displays of all tie points, with colors representing resolution in the individual point position. The values are in meters/pixel, with a minimum resolution of 0.0218 meters/pixel and a maximum of 0.0372 meters/pixel. The median resolution equals 0.0279 meters/pixel.


Surveys

No survey points available.

Příloha č. 4: Procesní report použitých fotografií první lokality programu Bentley ContextCapture.

Project Summary

Project:	new project
Number of photos:	97
Number of calibrated photos:	97 (100%)
Number of lost or disconnected photos:	0 (0%)
Positioning:	Use photo positioning metadata for rigid registration

 **No issue has been identified:** all photos are successfully connected.

Příloha č. 5: Procesní report kvality aerotriangulace druhé lokality programu Bentley ContextCapture.

Contents

- [Project Summary](#)
- [Camera Calibration](#)
- [Photo Positions](#)
- [Photo Matching](#)
- [Surveys](#)

For more information, please see our online manual: <https://www.acute3d.com/QualityReportManual/en/v1.0/index.html>

Project Summary

Project:	new project
Number of photos:	110
Ground coverage:	347091 square meters
Average ground resolution:	39.6392 mm/pixel
Scale:	1 : 119
Camera model(s):	DJI FC6310
Processing date:	15.11.2019 15:31
Processing time:	6min 24s

Quality Overview

Dataset:	105 of 110 photos calibrated (95%)
Keypoints:	Median of 27997 keypoints per image
Tie points:	29665 points, with a median of 1058 points per photo.
Reprojection error (RMS):	0.44 pixels
Positioning / scaling:	Georeferenced using photo metadata, not using control point

Camera Calibration

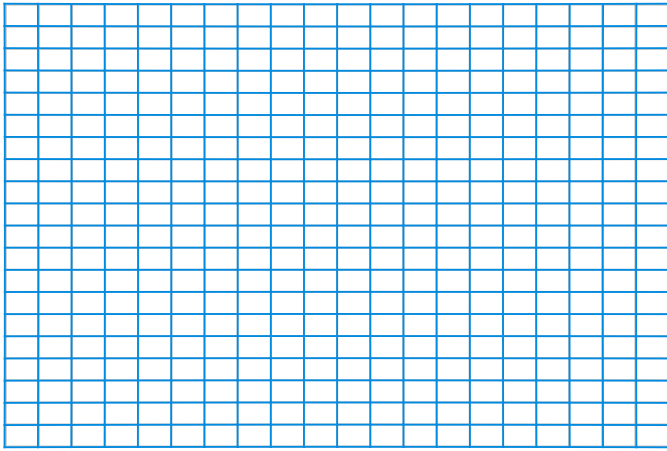
DJI FC6310 8.8mm 5472x3648

Name:	DJI FC6310
Model type:	Perspective
Image dimensions:	5472x3648 pixels
Sensor size:	13.2 mm
Number of photos:	110

Calibration Results

	Focal Length [mm]	Focal Length Equivalent 35 mm [mm]	Principal Point X [pixels]	Principal Point Y [pixels]	K1	K2	K3	P1	P2
Previous Values	8.80	24.00							
Optimized Values	8.79	23.96	2708.61	1890.25	0.0101	-0.0137	0.0117	0	0
Difference Previous / Optimized	-0.01	-0.04							

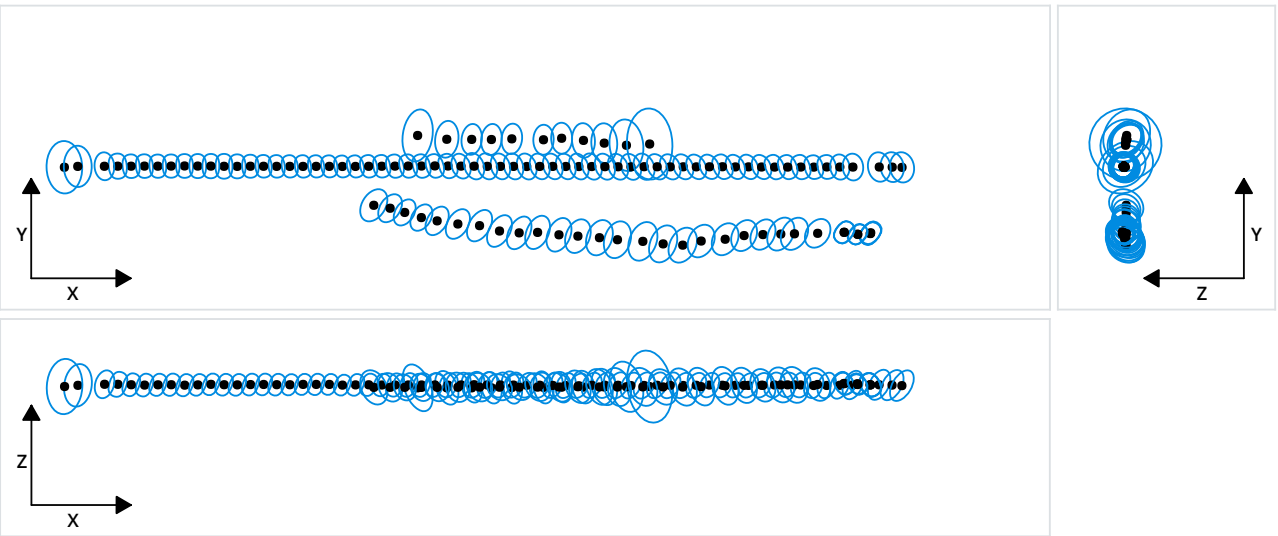
Distortion Grid



Camera Lens Distortion: Gray lines represent the zero distortion grid, and blue lines represent the real camera values.

Photo Positions

Photo Position Uncertainties

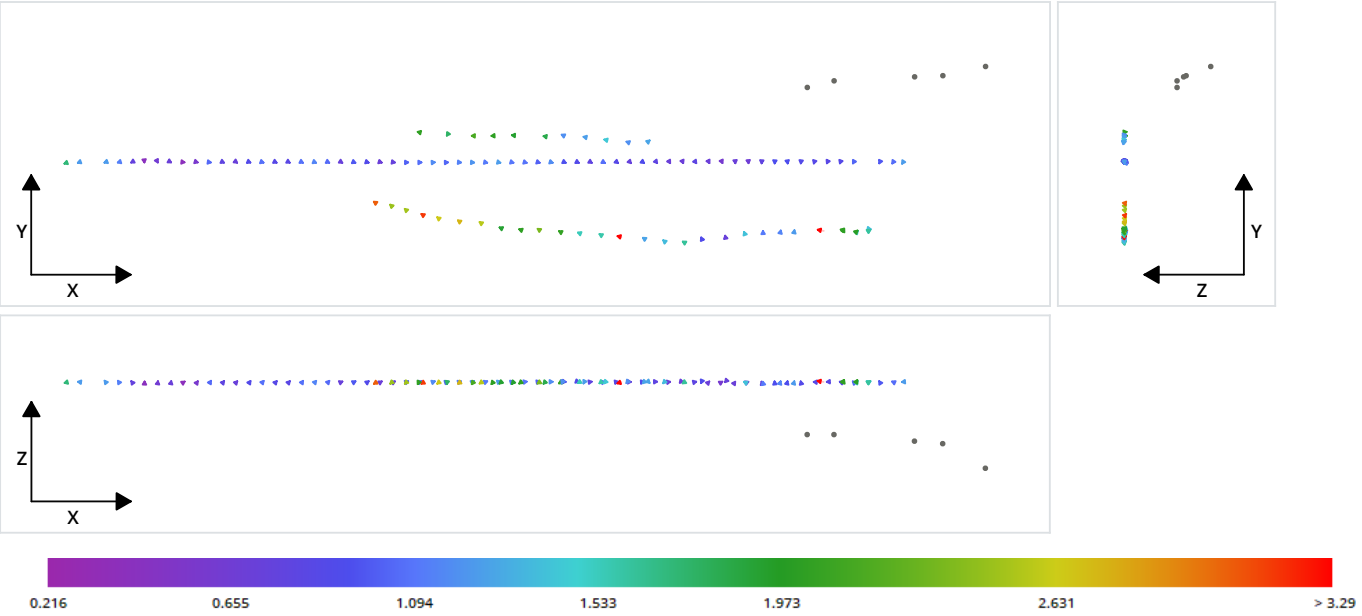


Position Uncertainties: Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) of computed photo positions (black dots). Blue ellipses indicate the position uncertainty, scaled for readability. The minimum and maximum values, as well as the average value, can be found in the table below.

Position Uncertainties			
	X [meters]	Y [meters]	Z [meters]
Minimum	0.002	0.0028	0.0028
Mean	0.0033	0.0048	0.0047
Maximum	0.0088	0.0147	0.015

For more information on individual photos, please refer to the [Photos Report](#).

Distance to Input Positions



Position Distance to Metadata: Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane), with arrows indicating the offset between the metadata positions and the computed photo positions; all arrows start from the metadata positions and point toward the computed positions. Gray points • indicate uncalibrated photos that have metadata. Pink points • indicate calibrated photos that have no metadata. The values are in meters, with a minimum distance of 0.3955 meters and a maximum of 5.1858 meters. The median position distance equals 1.0941 meters.

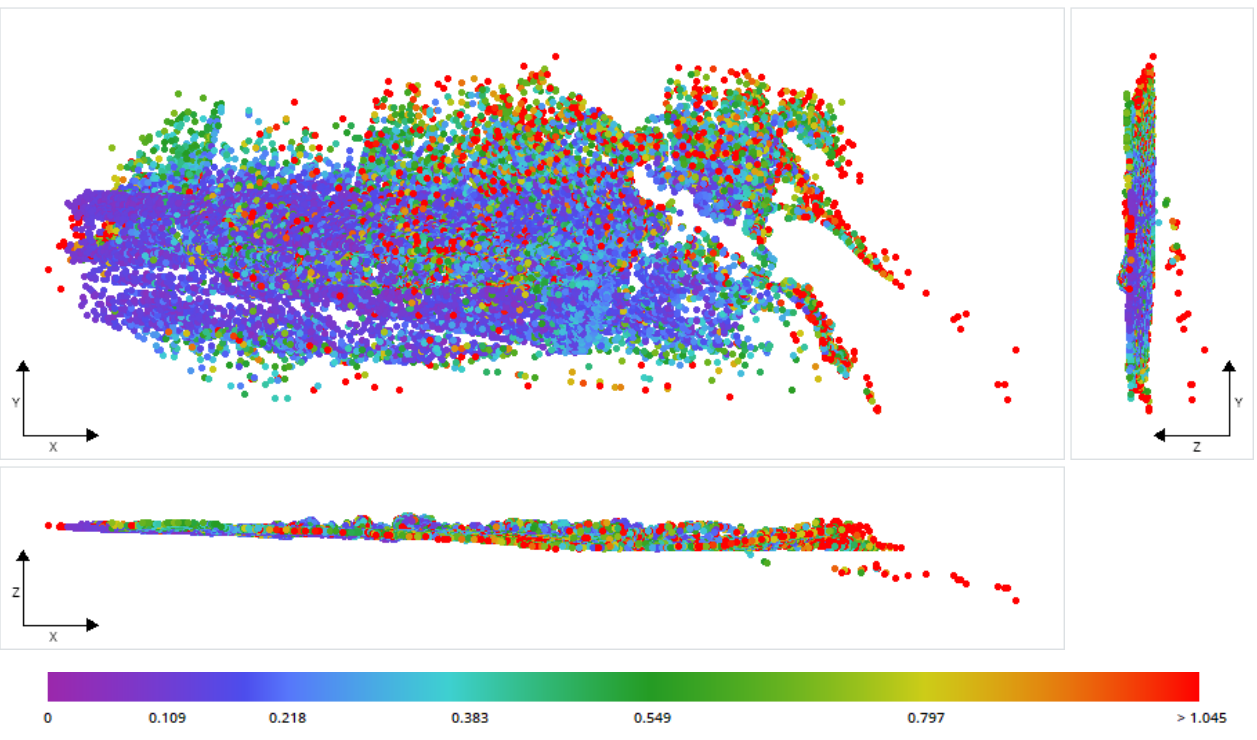
Photo Matching

Quality Measures on Tie Points

Generated Tie Points					
Number of Points	Median Number of Photos per Point	Median Number of Points per Photo	Median Reprojection Error [pixels]	RMS of Reprojection Error [pixels]	RMS of Distances to Rays [meters]
29665	3	1058	0.31	0.44	0.017

For more information on individual photos, please refer to the [Photos Report](#).

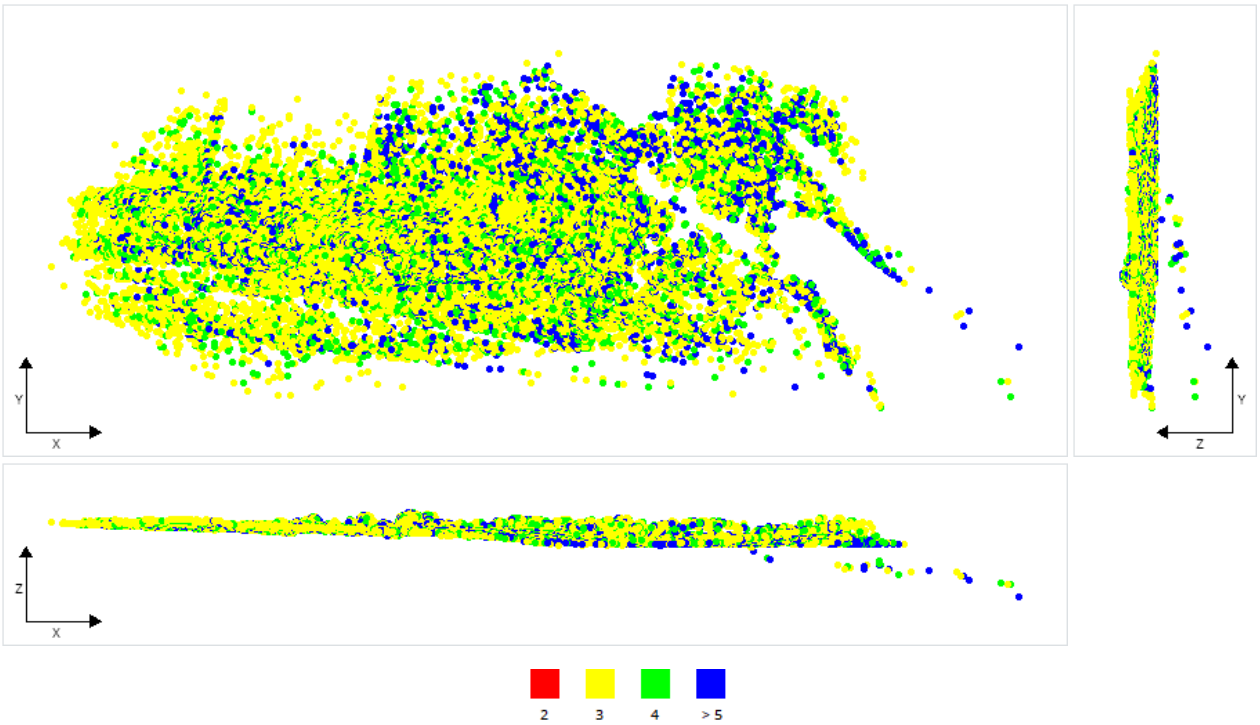
Tie Point Position Uncertainties



Position Uncertainties: Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) displays of all tie points, with colors representing uncertainty in the individual point position. The values are in meters, with a minimum uncertainty of 0.0095 meters and a maximum of 2.6117 meters. The median position

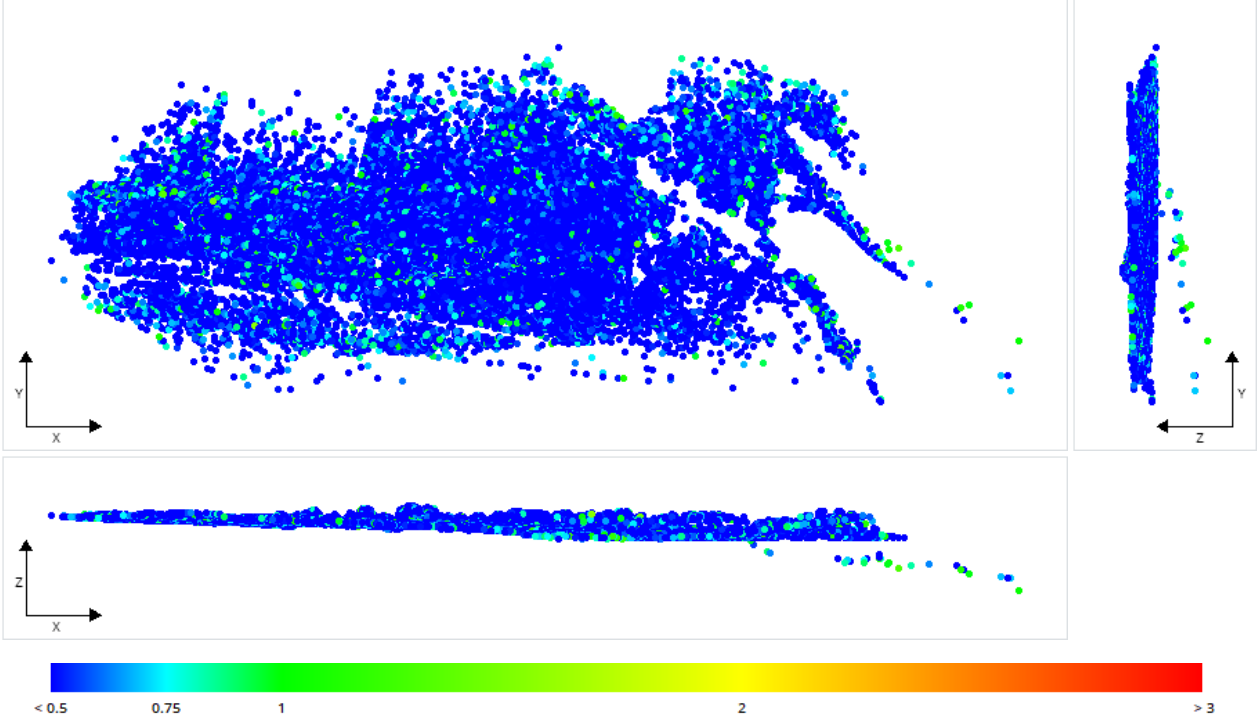
uncertainty equals 0.2175 meters.

Number of Photos Observing the Tie Points



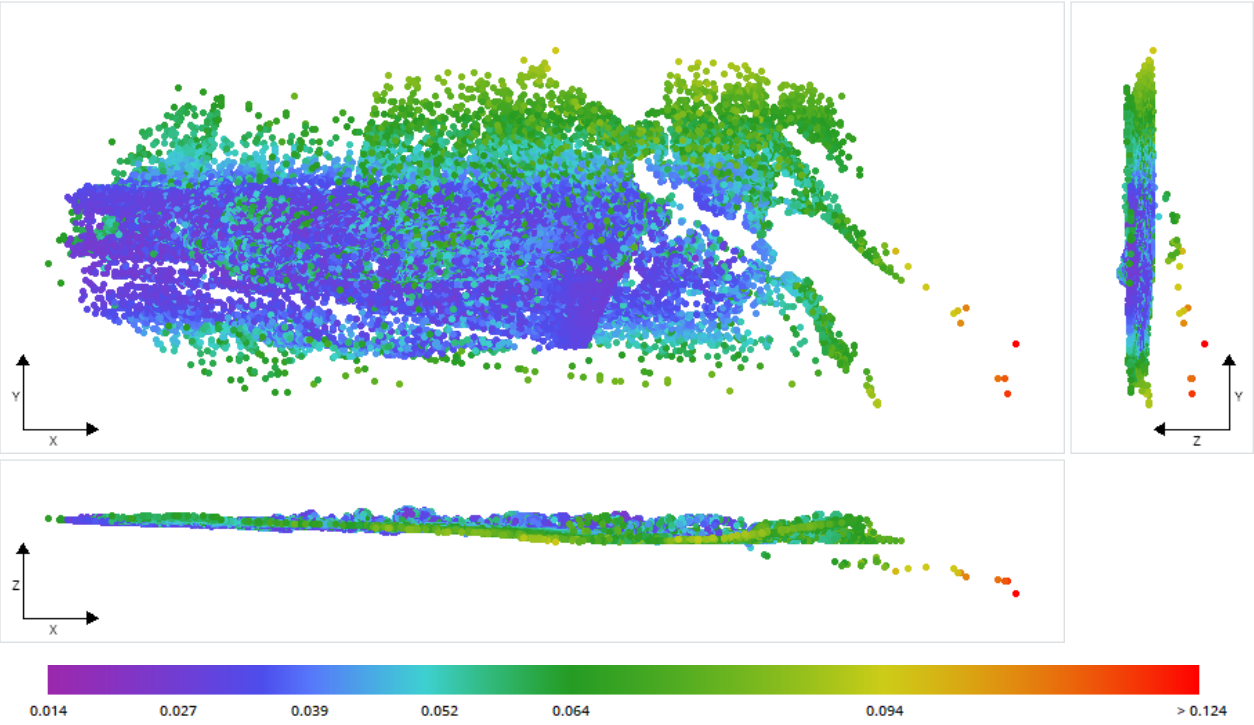
Number of Observations per Tie Point: Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) displays of all tie points, with colors representing the number of photos that have been used to define each point. The minimum number of photos per tie point is 3 and the maximum is 29. The average number of photos observing a tie point is 4.

Reprojection Error



Reprojection Errors per Tie Point: Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) displays of all tie points, with colors representing the reprojection error in pixels. The minimum reprojection error is 0.01 pixels and the maximum is 1.70 pixels. The average reprojection error is 0.39 pixels.

Tie Point Resolution



Resolution: Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) displays of all tie points, with colors representing resolution in the individual point position. The values are in meters/pixel, with a minimum resolution of 0.0233 meters/pixel and a maximum of 0.1243 meters/pixel. The median resolution equals 0.0392 meters/pixel.

Surveys

No survey points available.

Příloha č. 6: Procesní report použitých fotografií druhé lokality programu Bentley ContextCapture.

Project Summary

Project:	new project
Number of photos:	110
Number of calibrated photos:	105 (95%)
Number of lost or disconnected photos:	5 (5%)
Positioning:	Use photo positioning metadata for rigid registration

 **Not all photos are connected.**

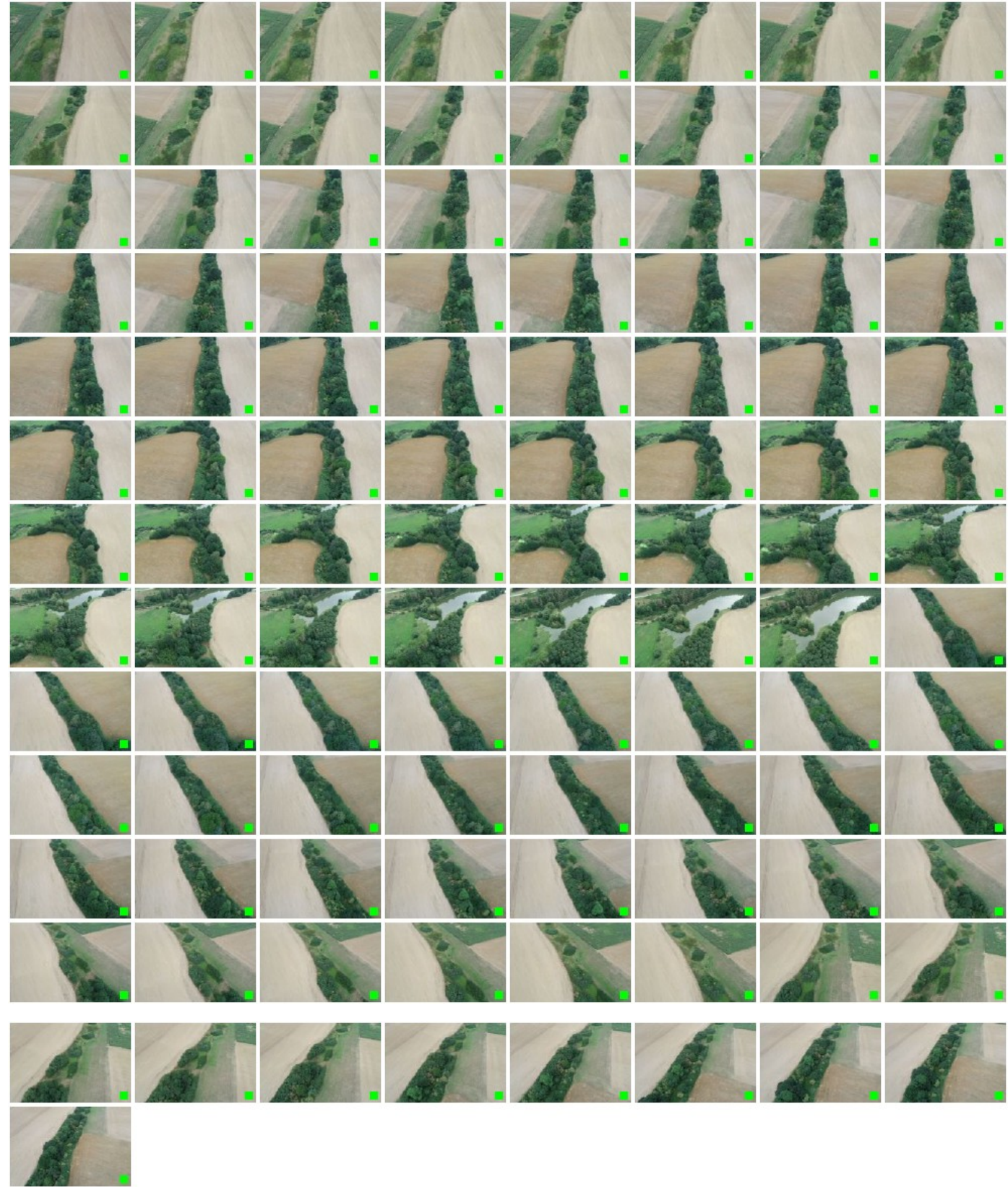
You may try to improve the result by adding more photos or user tie points that overlap between the disconnected components or isolated photos below.

Components

Component 1: 4 photos (not kept in the final result)



Component 2: 105 photos (105 kept in the final result)



Isolated: 1 photo (not kept in the final result)

