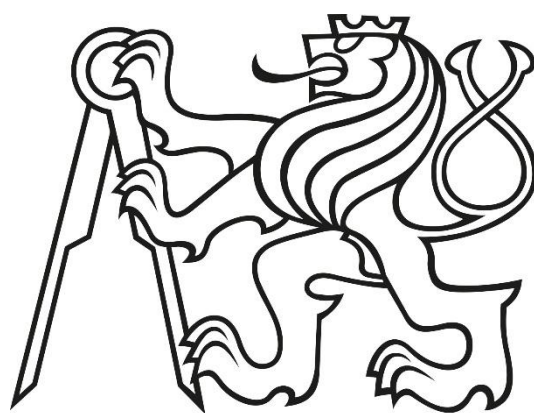


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ



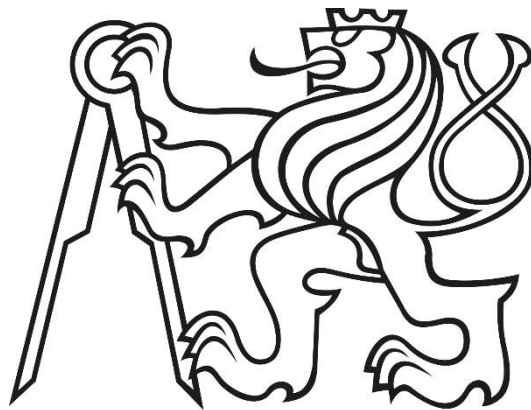
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Michal Janovský

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE
STUDIJNÍ OBOR GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKA



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VYUŽITÍ RPAS PRO DOKUMENTACI A PRŮZKUM ARCHEOLOGICKÉ
LOKALITY

USING OF RPAS FOR DOCUMENTATION AND RECONNAISSANCE OF AN
ARCHAEOLOGICAL SITE

Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Karel Pavelka

Katedra geomatiky

2017

Michal Janovský



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Janovský Jméno: Michal Osobní číslo: 439242

Zadávací katedra: katedra geomatiky

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Využití RPAS pro dokumentaci a průzkum archeologické lokality

Název bakalářské práce anglicky: Using of RPAS for documentation and reconnaissance of an archaeological site

Pokyny pro vypracování:

Proveďte stručnou rešerši literatury a internetových odkazů problematiky RPAS, popište současnou legislativu, popište stručně užitý prostředek a lokalitu, proveďte ve spolupráci s vedoucím práce fotogrammetrický nálet a vyhodnoťte data po podoby tematických map. Na závěr zhodnoťte výsledky.

Seznam doporučené literatury:

RPAS (remotely piloted aircraft system), Pavelka, K. a kol., 2016, ISBN 978-80-01-05648-6
-zdroje na webu od historických zařízení po dnešek, doplněk X (Úřad pro civilní letectví)

Jméno vedoucího bakalářské práce: prof. Dr. Ing. Karel Pavelka

Datum zadání bakalářské práce: 20.2.2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

20.2. 2017

Datum převzetí zadání

Janovský

Podpis studenta(ky)

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je představit technologii RPAS a její využití pro dokumentaci a průzkum archeologické lokality. Práce je rozdělena do dvou částí. První část se zabývá historií, vývojem, rozdělením a legislativou v České republice týkající se RPAS. Druhá část se zabývá zpracováním dat RPAS a jejich využitím pro dokumentaci archeologické lokality. Pro zpracování dat byly použity výpočetní a obslužné programy Pix4D a ArcMap, pro provedení letu eMotion od firmy SenseFly. Výsledkem zpracování dat jsou tematické mapy a analýza jejich informačního obsahu.

KLÍČOVÁ SLOVA

RPAS, UAV, dron, bezpilotní prostředek, legislativa, fotogrammetrie, archeologie, tematické mapy,

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to introduce the RPAS technology and its use for documentation and reconnaissance of an archaeological site. The thesis is divided into two parts. The first part deals with history, development, division and legislation in the Czech Republic concerning RPAS. The second part concerns on processing of RPAS, data and its use in documentation of an archaeological site. Programs Pix4D and ArcMap were used for processing of the data, software eMotion was used for flight execution. The outputs of data processing are thematic maps and analysis of their information content.

KEYWORDS

RPAS, UAV, drone, unmanned aerial vehicle, legislation, photogrammetry, archaeology, thematic maps

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci „*Využití RPAS pro dokumentaci a průzkum archeologické lokality*“ vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením prof. Dr. Ing. Karla Pavelky.

V Praze dne

.....

Michal Janovský

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu prof. Dr. Ing. Karlu Pavelkovi za poskytnutí zajímavého tématu s možností vrátit se do dětských let při práci s dronem. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Jaroslavu Šedinovi za pomoc se zpracováním dat. V neposlední řadě bych rád poděkoval Petře Pasovské za pomoc při korektuře práce a Petře Millarové za pomoc při překladu abstraktu do anglického jazyka.

Použité zkratky

ČUZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
RPAS	Remotely piloted aircraft system
DMT	Digitální model terénu
GPS	Global positioning system
GNSS	Global navigation satellite system
ÚCL	Úřad pro civilní letectví
INS	Inertial navigation system
IMU	Inertial measurement unit
DMP	Digitální model povrchu
UAV	Unmanned aerial vehicle
UAS	Unmanned aerial system

Obsah

1	Úvod	4
2	Rešerše literatury.....	5
3	RPAS	7
3.1	Definice.....	7
3.2	Historie.....	8
3.3	Výhody.....	9
3.4	Využití.....	9
3.5	Základní typy RPAS.....	10
3.5.1	Vzducholodě	10
3.5.2	Vrtulníky.....	11
3.5.3	Multikoptéry	12
3.5.4	Letadla	13
4	Legislativa České republiky	14
4.1	Úřad pro civilní letectví	14
4.2	Předpis Ministerstva dopravy L2, Pravidla létání	15
4.2.1	Dodatek 5 a Doplněk R	15
4.2.2	Doplněk X – Bezpilotní systémy	15
5	Zpracování	17
5.1	Příklad očekávaných výsledků zpracování	17
5.2	Použité vybavení	19
5.2.1	Bezpilotní letadlo eBee	19
5.2.2	Použité kamery	22

5.2.3	Software pro ovládání dronu	25
5.3	Pořízení snímků.....	26
5.3.1	Lokalita č.1 – Ledčice (ohrazení)	26
5.3.2	Lokalita č.2 – Ledčice/Černouček (pole)	29
5.3.3	Lokalita č.3 – Černouček (mohyly)	30
5.3.4	Lokalita č.4 – Březno u Loun	32
5.3.5	Export dat pro zpracování	33
5.4	Vyhotovení DMP a ortofota.....	34
5.4.1	Použitý software.....	34
5.4.2	Ortofoto	35
5.4.3	DMP	36
5.5	Vyhotovení tematických map	38
5.5.1	Tvorba indexových map.....	38
5.5.2	Identifikace archeologického objektu	38
6	Výsledná ortofota.....	40
6.1	Lokalita č.1 – Ledčice (ohrazení).....	40
6.2	Lokalita č.2 – Ledčice/Černouček (pole).....	40
6.3	Lokalita č.3 – Černouček (mohyly).....	41
6.4	Lokalita č.4 – Březno u Loun.....	41
7	Tematické mapy a jejich zhodnocení.....	42
7.1	Lokalita č.1 – Ledčice (ohrazení).....	42
7.2	Lokalita č.2 – Ledčice/Černouček (pole).....	45
7.3	Lokalita č.3 – Černouček (mohyly).....	46
7.4	Lokalita č.4 – Březno u Loun.....	47

8	Závěr.....	49
9	Přílohy	51
10	Použitá literatura	52
11	Seznam obrázků	54

1 Úvod

Název bakalářské práce je **Využití RPAS pro dokumentaci a průzkum archeologické lokality**. RPAS je zkratka anglických slov *Remotely piloted aircraft system*, což v překladu označuje *Dálkově řízený letecký systém (systém znamená, že obsahuje vlastní letecký prostředek a pozemní segment k jeho ovládní)*. Technologie RPAS se za poslední desetiletí výrazně posunula vpřed. Díky tomu jsou RPAS dostupnější, levnější, kompaktnější a lze je upravit různým požadavkům vojáků, civilistů, firem i státních složek. Pro geodetické a fotogrammetrické účely se dají využít mnoha způsoby. RPAS je možné osadit laserovým skenerem či fotogrammetrickou komorou či specializovanou jinou kamerou (infrachervenou, termální či multispektrální) a použít je pro sběr dat, která se dají později zpracovat a využít pro různé účely. V letecké fotogrammetrii se RPAS dají použít jako levná náhrada letadel nebo vrtulníků při snímání menších území pro účel dokumentace a vytváření tematických map. Z důvodů velmi rychlého rozvoje technologií RPAS, nutnosti zvýšení bezpečnosti s ohledem na dění ve světě a zamezení zneužívání těchto technologií k nelegálním účelům, je třeba zavést podmínky pro jejich používání ve formě zákonů a vyhlášek. Tyto podmínky jsou v každém státě světa různé a spravované různými organizacemi.

Cílem bakalářské práce je přiblížit současnou legislativu České republiky týkající se RPAS, provést rešerši literatury na dané téma, představit technologii RPAS, její historii, rozdělení a v neposlední řadě nasnímat určitou archeologickou lokalitu a ze získaných dat vypracovat tematické mapy. Výsledkem jsou mimo vlastní tematické mapy také pojednání o jejich obsahu a využití. Práce je rozdělena do dvou částí. První část se zabývá historií, vývojem, rozdělením a legislativou týkající se RPAS, dále obsahuje rešerši literatury a stručný popis použitého RPAS. Druhá část se zabývá softwarem pro ovládní RPAS, softwarem pro zpracování dat, tvorbou tematických map a zhodnocením výsledků.

2 Rešerše literatury

EISENBEIB Henri, *UAV photogrammetry*, 2009, [2]

Jedná se o disertační práci, ve které autor pojednává o využití RPAS, které jsou často označovány tradiční zkratkou UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), popisuje jednotlivé typy UAV, zpracování dat a také prezentuje svůj dlouhodobý výzkum v této oblasti. Tento autor již vydal mnoho děl, přičemž toto je nejrozsáhlejší, nejkomplexnější a pravděpodobně nejznámější v oboru.

NAGAI Masahiko, *UAV Borne mapping by multi sensor integration*, 2008, [4]

Práce popisuje zkušenosti s použitím více snímačů připevněných k bezpilotnímu vrtulníku pro účel nasnímání rozsáhlého území. Použitím vícero snímačů bylo získáno většího překrytu snímků a za pomoci vlastní inerciální měřicí jednotky byly získány přesné hodnoty vnější orientace. Ve výsledku autor porovnává získané výsledky, kvalitu a dostupnost dat s daty leteckými, či družicovými.

COLOMINA Ismael, *Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing*, 2014, [3]

Jedná se o odborný článek v mezinárodním časopise, zabývající se rozvojem v té době nejnovějších bezpilotních prostředků, snímání, navigace, orientace a obecně zpracováním dat, jak ve fotogrametrii, tak v dálkovém průzkumu Země. Obsah článku je zaměřen na segment *nano-micro-mini* UAS.

NIETHAMMER Uwe, UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results. 2012, [14]

Autor pojednává v odborném článku v mezinárodním časopise, zabývající se využitím bezpilotní multikoptéry pro dokumentaci sesuvů půdy. Zpracovává se analýza sesuvu půdy, kdy lokalita sesuvu byla dříve nasnímana pomocí letecké fotogrammetrie a po sesuvu byla nasnímana pomocí multikoptéry.

METNI Najib; HAMEL Tarek, A UAV for bridge inspection: Visual servoing control law with orientation limits., 2007, [15]

Jedná se o odborný článek v mezinárodním časopise, který popisuje projekt o využití UAV v civilním prostředí. Konkrétně se v tomto díle jedná o využití bezpilotních prostředků pro inspekci mostů a monitorování provozu na nich.

DOHERTY Patrick; RUDOL Piotr, A UAV search and rescue scenario with human body detection and geolocalization., 2007 [16]

Pro vývoj umělé inteligence pro bezpilotní systémy je třeba vytvářet úkoly, na kterých se takováto umělá inteligence vyvíjí a zkouší. Tato práce se zabývá právě dvěma takovými úkoly. V prvním úkolu UAV prohledává lokalitu a snaží se identifikovat zraněné civilisty. V druhém úkolu se těmto zraněným civilistům snaží doručit léky a jiné zásoby.

3 RPAS

V této kapitole jsou představeny nejběžnější typy RPAS, jejich vlastnosti a využití. - si historii RPAS a si definicí RPAS. Vznik a rozvoj RPAS probíhal především díky vojenství a až později se začal uplatňovat v civilní sféře. Mezi dnešní nejběžnější RPAS patří letadla či okřídlené systémy, multikoptéry, vrtulníky a vzducholodě. Existuje však i mnoho jiných typů RPAS, které však nejsou tak obvyklé a známé. Mezi tyto RPAS může patřit například rogalo, drak či paraglide. Obecně lze RPAS rozdělit podle mnoha kritérií, avšak nejběžnější z nich jsou hmotnost, účel a pohon.

3.1 Definice

RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*) je poměrně nové označení pro prostředky známé také pod zkratkou UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) nebo UAS (*Unmanned Aerial System*). RPAS označení nenalezneme ani v současné legislativě. Jde ale o nejpřesnější označení pro tzv. bezpilotní letecké prostředky.

Bezpilotními prostředky se trochu nešťastně označují prostředky, které jsou pilotovány dálkově, bez přítomnosti pilota na palubě, tj. nikoliv bez pilota obecně, jak název trochu navozuje; existuje osoba, zodpovědná za použití RPAS (pilot).

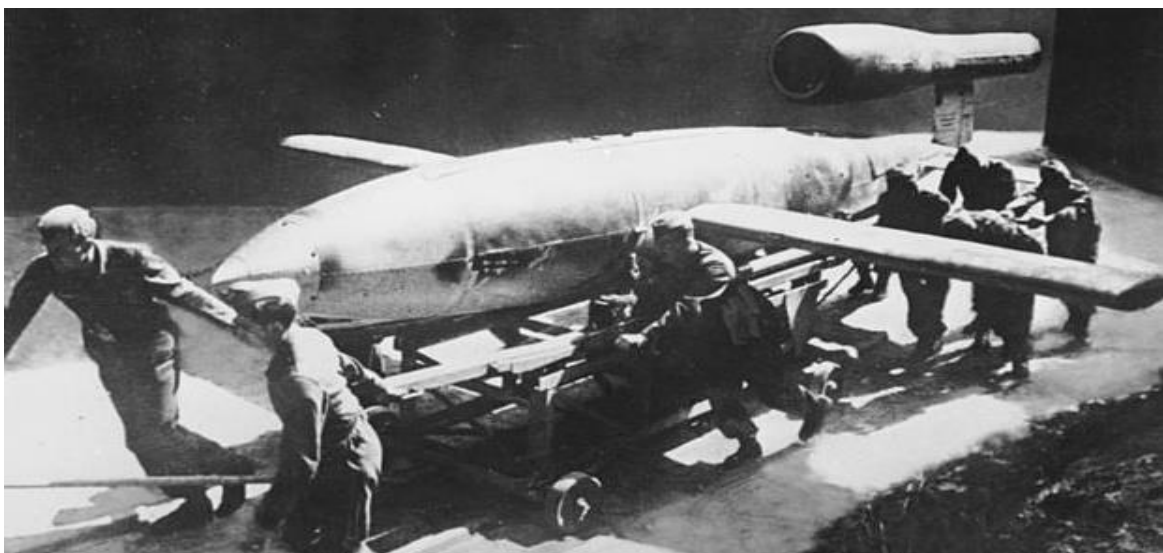
ÚCL (Úřad pro civilní letectví, ČR) definuje bezpilotní prostředek jako *prostředek určený k provozu bez pilota na palubě*. [1][5][6]

3.2 Historie

Historii RPAS lze rozdělit na dvě části, a to na historii bezpilotních prostředků a historii bezpilotních systémů.

Bezpilotní prostředky byly poprvé použity v 19. století za Rakouska-Uherska. Šlo o první pokusy použití bezpilotních prostředků pro bombardování nepřátel. Další pokusy o bombardování za pomoci bezpilotních prostředků byly při americké občanské válce. Pro tyto pokusy byly použity balony s připevněnými bombami, které měly být shozeny na nepřátele. Oba tyto pokusy však selhaly z důvodu vlivu počasí a nemožnosti přímého ovládní spouštění bomb. O mnoho úspěšnější bylo použití bezpilotních prostředků za 1. sv. války. Byly použity balóny, k nimž bylo připevněno snímáčí zařízení, kterým se určila poloha nepřátelského postavení. [20][21]

Skutečné bezpilotní systémy se objevily až s rozvojem technologií v období 2. sv. války. První bezpilotní systém byla nechvalně známá nacistická raketa V-1, která byla poprvé odpálena v červnu 1944 na Londýn. [2][1][7]



Obrázek 1: raketa V-1; upraveno podle [7]

3.3 Výhody

Základní výhody vychází z původního určení RPAS, které na svém počátku sloužily zejména k vojenským účelům. Hlavní výhodou je, že se RPAS dá řídit bez posádky na palubě. To umožňuje využít prostor k jiným účelům nebo ke zmenšení prostředku, čímž se sníží váha a výrobní cena.

V dnešní době je výhodou, že bezpilotními prostředky můžeme nahradit letadla, vrtulníky či jiná zařízení, jejichž pořizovací a provozní cena by mohla být pro využití v geodetické či jiné praxi příliš vysoká. Lze říci, že díky postupu technologií dálkového ovládní, mikroelektroniky a bateriovému pohonu se bezpilotní prostředky zmenšily natolik, že je lze naložit například do zavazadlového prostoru auta. [1]

3.4 Využití

RPAS se dají využít k mnoha účelům, přičemž každý typ RPAS je vhodný pro jiný účel. V této práci se uvažuje výhradně civilní využití. Obecně se RPAS dají použít pro meteorologické účely, zjišťování kvality ovzduší, fotogrammetrické účely, Dálkový průzkum země, ve stavebnictví, pro obecný monitoring, či sportovní a rekreační účely.

Zde jsou nejdůležitější fotogrammetrické účely, mezi které patří tvorba ortofota, tvorba 3D modelů povrchu (DMP), určování kubatur a tvorba tematických map. [1]

3.5 Základní typy RPAS

Z hlediska konstrukce existuje v současné době mnoho typů RPAS. Určité typy mohou být poměrně vzácné a některé mohou být pro účely skenování či snímkování nevhodné. Mezi tyto méně časté typy RPAS patří například rogallo, drak či balon to již bylo v kap.3. V práci jsou popisovány typy RPAS, které jsou nejčastěji používané pro fotogrammetrické práce. [1]

3.5.1 Vzducholodě

Podle stavby se definuje několik typů vzducholodí: bez pevné kostry, s pevnou kosterou nebo s pevným kýlem. Vzducholodě jsou naplněny plynem lehčím než vzduch, který jim umožňuje létat. V dnešní době se používá především hélium. Vzducholodě jsou na rozdíl od balónu vybaveny motory, díky nimž je možné vzducholodě ovládat. V porovnání s balóny nejsou proto tolik náchylné na směr větru. Přídavná zařízení, jako je například měřická komora, se umísťují na spodní část vzducholodě.

Vzducholodě mohou vydržet ve vzduchu poměrně dlouhou dobu, ale rychlost, kterou se pohybují, je poměrně malá. Díky své velikosti se hůře přepravují či skladují.

V praxi se hodí především ke kontinuálnímu snímání jedné oblasti. [7][1]



Obrázek 2: Bezpilotní vzducholod' z ČVUT; upraveno podle [8]

3.5.2 Vrtulníky

Hlavní charakteristikou vrtulníků jsou dva rotory, a to hlavní rotor a pomocný rotor. Hlavní rotor vytváří vztlak a umožňuje vrtulníku vzlétnout. Listy hlavního rotoru je možné naklánět, čímž se naklání vrtulník kolem vertikální osy. Ke kompenzaci krouticího momentu vyvinutého hlavním rotorem slouží pomocný rotor.

Úpravou rychlosti otáček pomocného rotoru se vrtulník otáčí kolem vertikální osy. Velkou výhodou helikoptéry je možnost pohybovat se ve vertikálním směru a startovat a přistávat ze stejného místa.

Vrtulníky se v praxi používají pro získávání ortofoto snímků, šikmých snímků či snímků fasád.

Profesionální helikoptéry se hůře shánějí (jsou velmi drahé) a použití neprofesionální helikoptéry bývá problematické. [7][1]



Obrázek 3: Survey Copter; upraveno podle [9]

3.5.3 Multikoptéry

Multikoptéry, také zvané nejčastěji lidově či slangově drony, připomínají svým tvarem hvězdu. Uprostřed je tělo obsahující elektronické součásti dronu, jako je například navigace, autopilot, závěsná kamera apod. Z těla dronu vedou ramena, na nichž jsou umístěné motůrky s vrtulemi. Vrtulí je zpravidla sudý počet, přičemž ovládním jejich otáček se multikoptéra řídí. Stejně jako helikoptéra se multikoptéra dokáže pohybovat také ve vertikálním směru.

Oproti vrtulníkům jsou drony stabilnější a snáze se k nim připevní měřická komora, či jiná zařízení. Některé drony se dají i složit a připevnit například na cestovní tašku, což s vrtulníkem udělat nelze. S multikoptéry se také lépe manipuluje.

V terénu mají širokou škálu využití. Dají se využít ke stejným účelům jako vrtulníky, k tomu jsou pohyblivější, rychlejší a skladnější.

Největší výhodou dronů je, že jsou finančně dostupné, lze použít i neprofesionální dron a upravit ho tak, aby splňoval naše požadavky. [12][1]



Obrázek 4: Hoverfly Erista Multicopter; upraveno podle [10]

3.5.4 Letadla

Typů letadel (okřídlených systémů) existuje mnoho. Některá bezpilotní letadla připomínají svým tvarem běžná letadla a jiná jsou výrazně odlišná (typ samokřídlo). Z tohoto důvodu zde nebude uveden vyčerpávající popis bezpilotních letadel.

Letadla jsou klasickým prostředkem používaným ve fotogrammetrii. Bepilotní verze letadel je důsledkem snahy o snížení pořizovacích a provozních nákladů běžných letadel. Bepilotní letadla jsou levnější, menší, skladnější, ovladatelnější a pro konkrétní účely a lokality vhodnější.

Z důvodu fotogrammetrických je nutné přesně určit prvky vnější orientace, k čemuž slouží INS (GNSS + IMU). Pro ustálení komory ve svislém směru se používají gyroskopy či závěsy.

Ve fotogrammetrii se letadla využívají pro snímkování velkých území pro pozdější tvorbu ortofota či digitálního modelu terénu či povrchu. [7][1]



Obrázek 5: RQ-21A Blackjack; upraveno podle [11]

4 Legislativa České republiky

S nástupem nových technologií a s rozmachem bezpilotních prostředků bylo třeba zavést regulace v jejich provozu, aby se zajistila bezpečnost nejen leteckého provozu, ale i občanů a majetku.

Vzhledem k nízkým letovým drahám bezpilotních prostředků je třeba zajistit bezpečnost letu s ohledem na pozemní překážky (stromy, elektrické vedení aj.).

Dalším důvodem zavedení legislativy, omezující činnost bezpilotních prostředků, je zamezení jejich užívání k neetickým či nezákonným účelům.

Legislativa je dána zákonem č. 49/1997 Sb. (zákon o civilním letectví) a jeho prováděcí vyhláškou č. 108/1997 Sb. Provoz bezpilotních prostředků se u nás řídí předpisem ministerstva dopravy L2 „Pravidla létání“, dodatkem 5 a doplňky R a X.
[5][6][7][13]

4.1 Úřad pro civilní letectví

Úřad je podřízen Ministerstvu dopravy ČR a v jeho čele stojí generální ředitel a má sídlo v areálu letiště Václava Havla v Praze.

ÚCL vykonává dohled nad civilním letectvím, licencuje piloty, certifikuje letadla a letecká technická zařízení a provádí kontrolu nad provozováním leteckých prací (mezi které spadá i letecká fotogrammetrie), vydává povolení a výjimky, přezkušuje piloty, a další [6][7].

4.2 Předpis Ministerstva dopravy L2, Pravidla létání

Předpis *L2 – Pravidla létání*, 153/2014-220 ze dne 4.12.2014 nahrazuje starý předpis označený 25344/99-220 ze dne 28.6.1999

Předpis stanovuje pravidla létání, a to na základě standardů a doporučených předpisů (SARPs) Mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO) v souladu s předpisy EU. Předpis je rozdělen do hlav, doplňků a dodatků.

Pro účely této práce se zmíníme o obsahu Doplňku R a Dodatku 5, a poté se zaměříme se na Doplňk X, který je pro účel této práce nejdůležitější. [5]

4.2.1 Dodatek 5 a Doplňk R

Dodatek 5 se zabývá souhrnnými informacemi a pravidly pro balóny bez pilota na palubě. Obsahuje klasifikaci balónů, všeobecná pravidla jejich užívání, požadavky na vybavení, návody, jak hlásit svoji polohu, či jak ukončit provoz balónu.

Doplňk R se zabývá pravidly pro provoz balónu bez pilota na palubě. Obsahuje základní pojmy a kategorizaci balónů a dále tři části zabývající se pravidly platnými pro všechny, volné a upoutané balóny bez pilota na palubě. [5]

4.2.2 Doplňk X – Bezpilotní systémy

Doplňk X je zásadním předpisem pro provoz bezpilotních systémů v civilní oblasti. Tento doplněk je rozdělen do jednotlivých témat, ze kterých budou zmíněny ty nejdůležitější. [5]

Doplněk X obsahuje několik definicí bezpilotních prostředků, a to autonomní letadlo, bezpilotní letadlo, bezpilotní systém a model letadla, ke kterým se vztahují dále uvedené předpisy, návody a nařízení.

V této práci budou představeny pouze ty nejzákladnější z nich, musíme však brát na vědomí, že tento výpis zahrnuje pouze základní pravidla, ke kterým se vztahují výjimky a povolení, které je mohou upravit či kompletně změnit [5]

- 1) Bepilotní letadlo se smí užívat pouze tak, aby nedošlo k ohrožení bezpečnosti ve vzduchu, ohrožení osob, věcí či životního prostředí.
- 2) Bepilotní letadlo musí být provozováno v přímém dohledu pilota, přičemž pilot se nesmí pohybovat pomocí technického zařízení.
- 3) Za provedení bezpečného letu je odpovědná osoba, která bezpilotní letadlo dálkově řídí.
- 4) Bepilotní letadlo by mělo umožnit pilotovi zasáhnout během letu do řízení, bezpilotní letadlo o hmotnosti nad 0,91kg musí disponovat bezpečnostním systémem umožňujícím okamžité ukončení letu.
- 5) Bepilotní prostředek se smí pohybovat do 300 m nad zemí, 150 m od obydlených oblastí, 5,5 km od vztažného bodu letiště a nesmí se pohybovat nad ochrannými pásmy, zakázanými, omezenými či jinými zónami.
- 6) Bepilotní letadlo nesmí být použito ke shazování předmětů za letu, k přepravě nebezpečných látek nebo zařízení, která by mohla způsobit obecné ohrožení.

5 Zpracování

V této kapitole do praktické části práce, která se zabývá snímáním lokalit pomocí RPAS eBee a jejich následným zpracováním.

Pro nasnímání a zpracování byly vybrány tři lokality. První lokalita se nalézá u obce Ledčice jihozápadně od silnice č. 8. Druhá lokalita se nalézá mezi obcemi Ledčicemi a Černoučkem na východ od silnice č. 24623. Třetí lokalita je jihozápadně od obce Černouček.

Cílem zpracování je vytvořit DMT a ortofoto jednotlivých lokalit a z nich dále vypracovat tematické mapy, na kterých by byly zřetelné zájmové archeologické objekty.

5.1 Příklad očekávaných výsledků zpracování

V minulých letech proběhlo nasnímání několika lokalit. Jednou z nich je lokalita Ctiněves, na níž jsou demonstrovány dva rozdílné výsledky, které se dají získat.

Na ortofotu z roku 2016 jsou dobře viditelné archeologické objekty nalézající se v poli okolo fotbalového stadionu. V roce 2017 bylo však toto pole oseto řepkou a archeologické objekty na ortofotu nejsou viditelné.

Na následujících obrázcích jsou vidět výsledné ortofota vzniklá z naměřených dat.

Tyto dvě ortofota reprezentují dva možné výsledky zpracování. Prvním výsledkem je ortofoto, na které jsou známky o výskytu archeologických objektů zřetelné a lehce viditelné. Druhým výsledkem je ortofoto téže oblasti o rok později, na kterém není žádný archeologický objekt vidět. Existuje i třetí možnost, že známky archeologických objektů jsou těžko viditelné, ale dají se identifikovat speciálním zpracováním dat.



Obrázek 6: Ortofoto, Ctiněves, NIR kamera, červenec 2016



Obrázek 7: Ortofoto, Ctiněves, NIR kamera, duben 2017

5.2 Použité vybavení

Pro snímání byl použit RPAS firmy SenseFly **eBee** a tři různé fotogrammetrické komory od téže firmy. Pro ovládání dronu byl použit notebook s nainstalovaným programem **eMotion 2**

5.2.1 Bezpilotní letadlo eBee

Firma SenseFly se zabývá výrobou bezpilotních letadel a softwaru pro ně určených. Jedním z jejich produktů je i bezpilotní letadlo eBee, které je firmou označováno jako dron. Letadlo je vyrobeno z lehkých materiálů, díky čemuž dosahuje hmotnosti pod jeden kilogram. Letadlo je složené z několika částí, které se dají vyměnit při případném poškození či opotřebení, což ve výsledku znamená, že pokud by přece jen došlo k poškození, není třeba pořídit celý letoun znovu, ale stačí nahradit poškozené součástky. Mezi takovéto části patří například obě křídla nebo tlačná vrtule.

Nejdůležitější součástí dronu je jeho tělo, to obsahuje nejdůležitější a nejdražší součásti dronu. Nachází se zde motor napájený Lithio-polymerovou baterií, INS, přijímač signálu a kamera.

Právě kamera je jednou z nejdůležitějších součástí dronu. Určuje přesnost, kvalitu a využití získaných snímků, a i následných produktů vzniklých jejich zpracováním.

Spolu s bezpilotním letadlem eBee získáme i kvalitní fotoaparát WX s rozlišením 18.2 MP. Dají se však pořídit i další kamery, které již mají více specifické využití, jako například termální nebo multispektrální kamera.

Jelikož je letoun vyráběn z lehkých a křehkých materiálů a jeho příslušenství je poměrně drahé, je třeba zajistit jeho řádné zajištění při přepravě. K tomu slouží dodávaný úložný box. Do něj se vejde nejenom letoun samotný ale i veškeré jeho příslušenství (kromě počítače, ten není součástí balení a pilot si jej musí zajistit sám) [17], [18].



Obrázek 8: Snímek letounu eBee v laboratoři fotogrammetrie ČVUT

Ačkoliv je letoun značně odlehčený a mohlo by se zdát, že tomu bude odpovídat i jeho cena, opak je pravdou. Jde o profesionální automatizované zařízení, ke kterému je možné pořídit různé specializované kamery. V zahraničí je jeho cena okolo \$25 000 což je v přepočtu přes 600 000 Kč [18].

5.2.1.1 Technické specifikace letadla eBee

Hardware [17]

Váha	0,69 kg
Rozpětí křídel	96 cm
Materiál	EPP plasty, karbonová struktura
Pohon	Elektrická tlačná vrtule, 160W motor
Baterie	11.1 V, 2150 mAh
Kamera (dodávaná)	WX (18.2 MP)
Kamery (volitelné)	G9X, S110 NIR/RE, Sequoia, thermoMAP
Rozměry přepravního kufříku	55 x 45 x 25 cm

Ovládání [17]

Maximální délka letu	50 min
Rychlost	40-90 km/h (11-25 m/s)
Dosah rádiového přijímače	až 3 km
Maximální pokrytí	až 12 km ²
Odolnost vůči větru	až 45 km/h (12 m/s)
Velikost pixelu (GSD)	až 1.5 cm
Relativní přesnost 3D modelu	1-3x GSD
Absolutní horizontální přesnost (s vlíčovými body)	až 3 cm
Absolutní vertikální přesnost (s vlíčovými body)	až 5 cm
Absolutní horizontální/vertikální přesnost (bez vlíčovacích bodů)	1-5 m
Multi-dron operace	Ano, včetně předcházení vzdušných kolizí
Automatické 3D plánování letu	Ano
Přesnost přistání	5 m

5.2.2 Použité kamery

Pro účely nasnímání daných lokalit byly zvoleny tři fotogrammetrické kamery. Jedná se o dvě kamery od společnosti SenseFly, která je i výrobcem letounů eBee, a jednu kameru od externí firmy.

5.2.2.1 S110 NIR

Tato kamera pořizuje data v *near infrared (NIR) band* neboli pásmu blízkém infračervené, tedy v pásmu, kde dochází k vysoké odrazivosti rostlin.

Na rozdíl od ostatních kamer se tato dá používat jako standardní ruční fotoaparát. Ostatní kamery disponují na zadní straně krytkou a jsou určeny pouze pro použití v letadle eBee. Tato kamera je standardní výbavou letounů eBee firmy SenseFly. [17]

Tato kamera byla použita pro nasnímání první lokality.



Obrázek 9: použitá kamera S110 NIR

5.2.2.2 ThermoMAP

Termální kamera ThermoMAP umožňuje eBee zachytit termální video a statické snímky, které umožňují vytvářet kompletní termální mapy lokality, například mapovat distribuci vody, kontrolovat zavlažovací systémy nebo posuzovat funkčnost solárních panelů.

ThermoMAP je určena výhradně pro použití spolu s dronem eBee a nedá se použít jako samostatná kamera. Snímky pořízené touto kamerou jsou v porovnání s ostatními kamerami podstatně menší, a jejich počet pořízený při snímání lokality je mnohonásobně větší.

Kamera je dodávána firmou *SenseFly* a jde o volitelnou výbavu dronů eBee. Cena této kamery je přibližně \$12 000 tedy v přepočtu 300 000 Kč. [17]



Obrázek 10: použitá kamera ThermoMAP

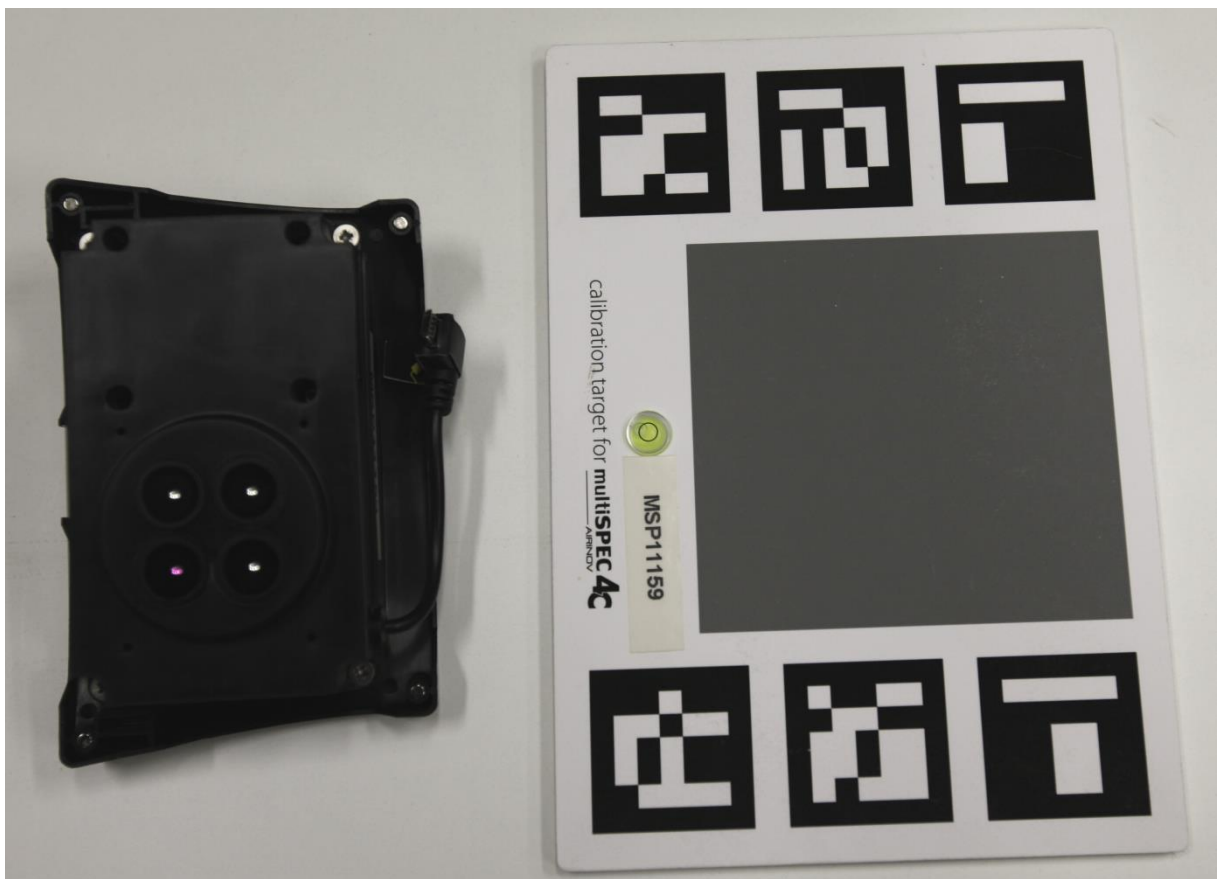
5.2.2.3 multiSPEC 4C

Multispektrální kamera multiSPEC 4C měří odražené světlo ve 4 různých spektrálních pásmech: zelené, červené, red edge a NIR.

Důsledkem použití více spektrálních pásů je zisk většího množství dat, více druhů ortofoto a DMT (pro každé spektrum jedno) což činí tuto kameru z časového hlediska velmi efektivní.

Stejně jako kamera ThermoMAP, ani tato kamera se nedá využít mimo dron. Zvláštností této kamery je, že je nutné ji kalibrovat před každým letem, z toho důvodu je k ní dodávána i kalibrační deska.

Cena kamery je přibližně \$4 500 tedy v přepočtu přes 110 000 Kč. [19]



Obrázek 11: použitá kamera multiSPEC 4C a její kalibrační pole

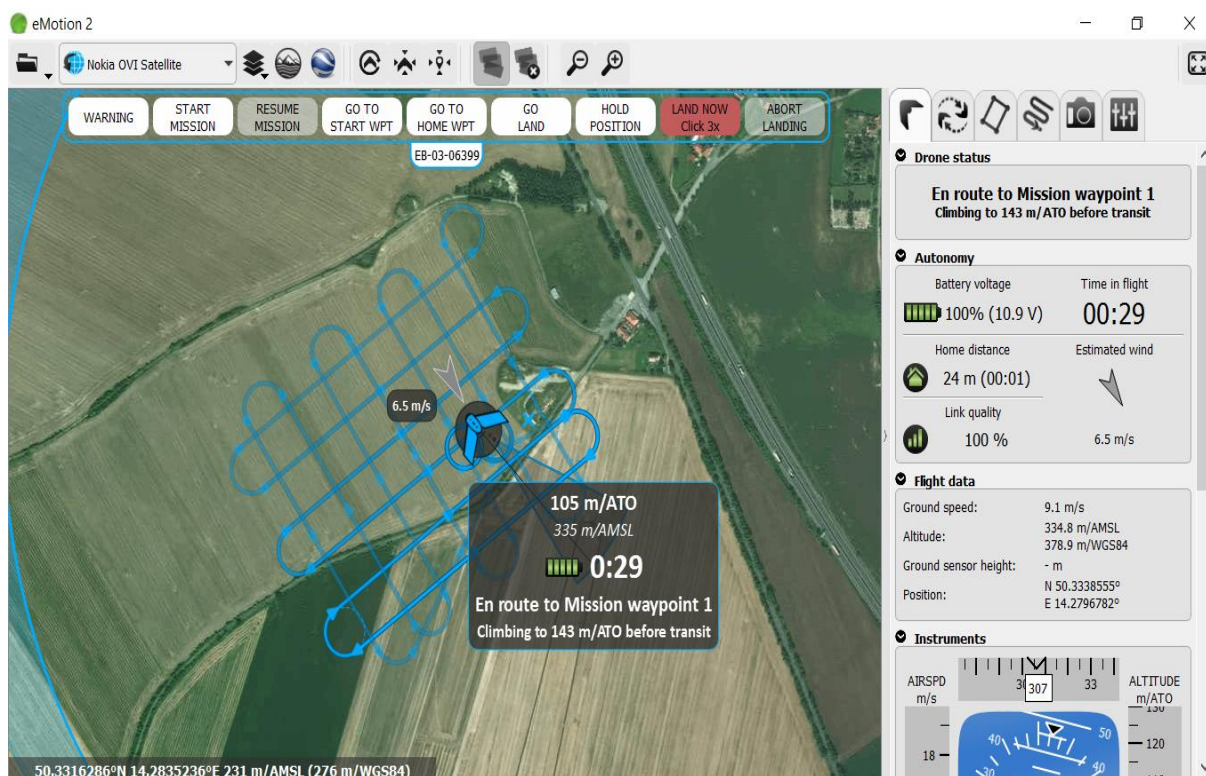
5.2.3 Software pro ovládání dronu

K ovládání dronu eBee byl použit software dodávaný jeho výrobcem, a to program **eMotion 2**. Tento program je možné nainstalovat nejen na přenosný počítač, ale i na tablety, popřípadě chytré mobily. Ke komunikaci s dronem je používáno internetové připojení.

V programu se dá nejen RPAS ovládat, ale i plánovat a simulovat budoucí projekty (lety). Program automaticky detekuje typ kamery použitý dronem, obsluha pak může upřesnit parametry požadovaného výstupu, pořizování snímků a další.

Pomocí tohoto programu se dá upravovat činnost dronu i za letu. Lze nařídít dronu čekat (začne kroužit na jednom místě), přistát (letoun zastaví dosavadní činnost a přistane na předem určené místo) nebo nouzově přistát (dron začne okamžitě přistávat v místě, kde se nachází).

Nevýhodou je, že program není přeložen do českého jazyka.



Obrázek 12: uživatelské rozhraní programu eMotion 2

5.3 Pořízení snímků

Všechny lokality byly nasnímány bezpilotním letadlem eBee, přičemž pro každou lokalitu byly použity různé kamery.

Snímání prvních tří lokalit proběhlo 20. 4. 2017 v odpoledních hodinách. Během snímání nebyly dobré meteorologické podmínky. Bylo polojasné počasí, což pro zpracování není příliš vhodné, jelikož jsou na snímcích vidět světlé skvrny, které se navíc na každém snímku díky pohybu mraků objeví na jiném místě. Povětrnostní podmínky také nebyly vhodné, rychlost větru dosahovala až 7 m/s, což mělo vliv na dráhu letadla a natočení snímků. Poslední čtvrtá lokalita byla nasnímána 21. 4. 2017 v pozdních odpoledních. Během snímání byl velmi silný vítr, který komplikoval snímání.

5.3.1 Lokalita č.1 – Ledčice (ohrazení)

První lokalita se nalézá v poli jihozápadně od autobusové zastávky Ledčice (okres Mělník, Středočeský kraj) u silnice č. 608.



Obrázek 13: zobrazení archeologické lokality, Ledčice, mapy.cz

V této lokalitě se nalézají největší z archeologických objektů ze všech snímaných lokalit. Jedná se o kamenné ohrazení, jehož zbytky se nalézají pod povrchem země. Toto ohrazení je zřetelně vidět z podkladového ortofota z *mapy.cz*. Cílem pro tuto lokalitu je nasnímat ono ohrazení, popřípadě nalézt další archeologické objekty v této lokalitě.

Tato lokalita byla nasnímana infračervenou, termální i multispektrální kamerou.

Při prvním snímání infračervenou kamerou bylo zjištěno, že boční vítr velmi ovlivňuje dráhu letu. Z tohoto důvodu byly plány letu pro zbylé kamery pozměněny tak, aby letová dráha byla po(proti) větru, a ne bočně k němu.

Během snímání termální kamerou došlo k technickým potížím a snímání muselo být opakovaně přerušeno. Technickou závadu se však podařilo vyřešit a lokalita byla úspěšně nasnímana.

Na následujících obrázcích můžete vidět mapy letového plánu s vyznačenými body, ve kterých byly pořízeny snímky. První mapa obsahuje dráhu letu a místa pořízení snímků při snímání infračervenou kamerou, druhá mapa obsahuje dráhu letu a místa pořízení snímků při snímání multispektrální kamerou.

Zde stojí za povšimnutí, jakým způsobem dokáže boční vítr ovlivnit dráhu letu. Boční vítr nejen že odfoukává dron ze své dráhy, ale také způsobuje, že pořízené snímky jsou více nakloněné, což může vést k potížím při zpracování (tvorbě ortofota).

Vliv větru se dá omezit úpravou dráhy dronu tak, aby dron létal po(proti) větru jako je tomu u druhého obrázku. To způsobí zvýšení (snížení) rychlosti letu dronu, ale neovlivní to náklon snímků nebo dráhu letu.



Obrázek 14: mapa letového plánu, Ledčice, před úpravou dráhy



Obrázek 15: mapa letového plánu, Ledčice, po úpravě dráhy

5.3.2 Lokalita č.2 – Ledčice/Černouček (pole)

Druhá lokalita se nalézá mezi obcemi Černoučkem a Ledčicemi na východ od silnice spojující tyto dvě obce.



Obrázek 16: archeologická lokalita, Černouček/Ledčice, mapy.cz

Lokalita se rozkládá na částech několika polí. Je zde k nalezení mnoho malých archeologických objektů, které jsou rozesety po poli. Úkolem pro tuto lokalitu je pokusit se je zaznamenat termální kamerou a porovnat jejich polohu s podkladovými daty.

Tato lokalita byla nasnímána termální kamerou. Před začátkem snímání se termální kamera musela zahřát do provozní teploty. To se provedlo tak, že se dron s kamerou vypustil do vzduchu, a před začátkem snímání kroužil na jednom místě, dokud se kamera nezahřála do provozní teploty.

Po předchozích zkušenostech byla dráha letu nastavena ve směru větru.

Na následujícím obrázku je zobrazena mapa letového plánu spolu s místy pořízení snímků termální kamerou. Počet snímků z takového snímání se pohybuje v tisících. Konkrétně v tomto případě bylo pořízeno téměř tři tisíce snímků.

Na obrázku je též vidět místo ve kterém dron kroužil, než se zahřála termální kamera do provozní teploty.



Obrázek 17: mapa letového plánu, Ledčice/Černouček, termokamera

5.3.3 Lokalita č.3 – Černouček (mohyly)

Třetí lokalita se nalézá v poli jihozápadně od obce Černouček (okres Litoměřice, Ústecký kraj).

Tato lokalita obsahuje několik archeologických objektů, které jsou na podkladovém ortofotu z mapy.cz velmi dobře viditelné. Z důvodu malé kapacity zbylých baterií z předešlého snímání byla zaměřena pouze oblast s jedním archeologickým objektem.



Obrázek 18: archeologická lokalita, Černouček, mapy.cz

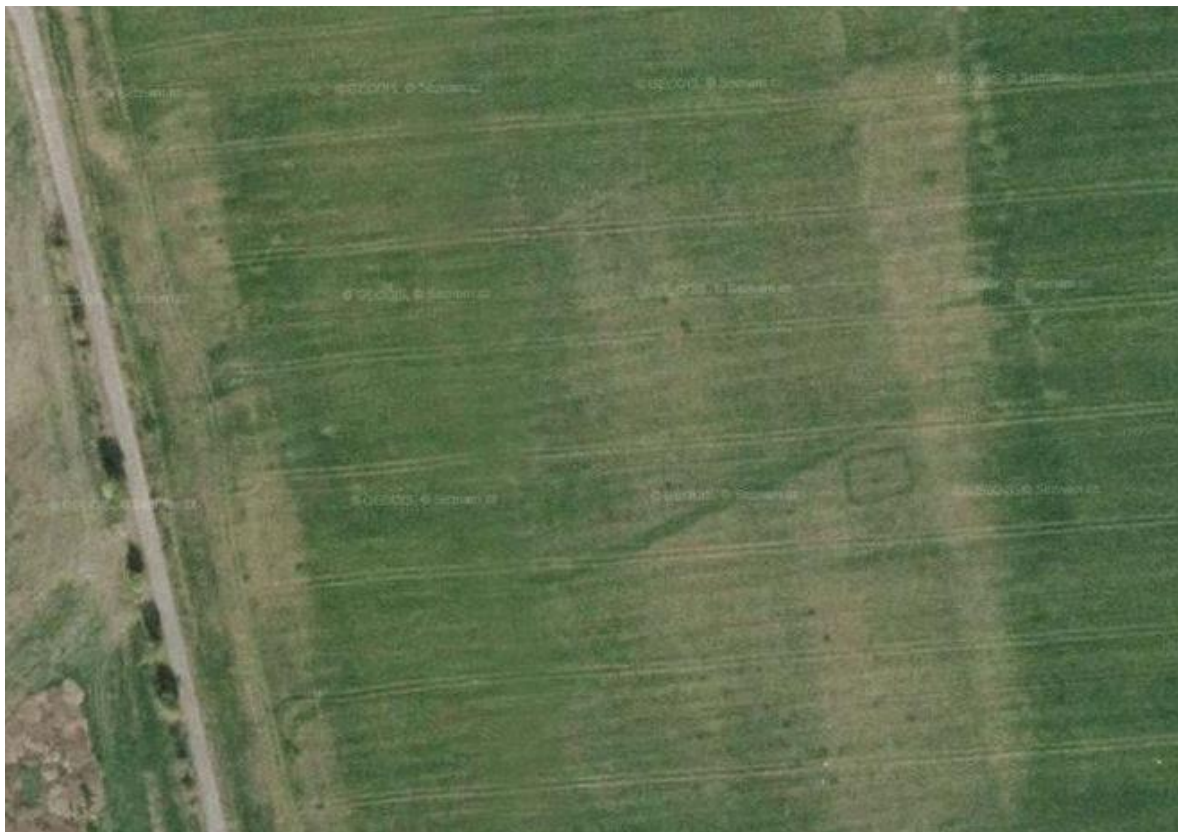
Tato lokalita se nachází v blízkosti zastavěného území, a proto musel být letový plán zvolen tak, aby se RPAS nedostal k zastavěnému území blíže než 150 m, aby nedošlo k porušení právních předpisů ČR. Snímání bylo provedeno multispektrální kamerou



Obrázek 19: mapa letového plánu, Černouček, multispektrální k.

5.3.4 Lokalita č.4 – Březno u Loun

Čtvrtá lokalita se nalézá v poli severozápadně od *Lenešické tuňky*, mezi obcemi Březno a Lenešice (okres Louny, Ústecký kraj), poblíž povodí řeky Ohře.



Obrázek 20: zobrazení archeologické lokality, Březno, mapy.cz

V této lokalitě se nalézá jeden viditelný archeologický objekt obdélníkového tvaru. Tento objekt je viditelný pouze na ortofotu z roku 2006 dostupném na mapy.cz.

V lokalitě se nenalézají žádné jiné viditelné archeologické objekty. Cílem snímání této lokality je zaznamenat tento objekt a případně nalézt další archeologické objekty či půdní známky po nich.

Od ostatních lokalit se tato liší především svojí lokací a datem zaměření. Jelikož se jedná o nový projekt v jiné lokaci, kde vítr nebyl tolik silný (oproti prvním třem lokalitám) vygenerovaná dráha letu nebyla nikterak upravována.

Snímání lokality bylo provedeno infračervenou a multispektrální kamerou.



Obrázek 21: mapa letového plánu, Březno, multispektrální

5.3.5 Export dat pro zpracování

Po nasnímání všech lokalit bylo třeba vyexportovat snímky, aby mohly být dále použity ke zpracování. Při exportu snímků byly provedeny dva zásadní úkony.

Zprvé byla provedena transformace snímků z formátu RAW a TIFF do formátu JPG z důvodů zmenšení objemu dat a zajištění kompatibility formátu snímků a výpočetního programu. Zadruhé byly zapsány informace o poloze snímků z IMS do textového souboru. Po provedení těchto úkonů bylo možno snímky dále zpracovávat.

5.4 Vyhotovení DMP a ortofota

Dalším krokem ve zpracování dat je tvorba digitálního modelu povrchu (DMP) a ortofota (také označované jako snímkové mozaiky). Pro získání obou těchto výstupů byl použit program **Pix4Dmapper Pro**. Tyto dva výstupy se vytvářejí souběžně a mohou být použity k dokumentaci lokality, či dalšímu zpracování.

5.4.1 Použitý software

Ke zpracování všech snímků byl použit program **Pix4Dmapper Pro**.

Tento program dokáže z leteckých snímků vytvořit georeferencované 2D mapy a 3D modely. Zpracování dat v tomto programu může být přímo v počítači uživatele nebo dálkově přes *cloud* úložiště.

Práce v tomto programu je velmi jednoduchá. Pro zpracování snímků do formy DMP a ortofota, stačí vytvořit projekt, nahrát snímky spolu s textovým souborem obsahujícím prvky vnější orientace, zadat typ projektu a několik základních parametrů pro zpracování.

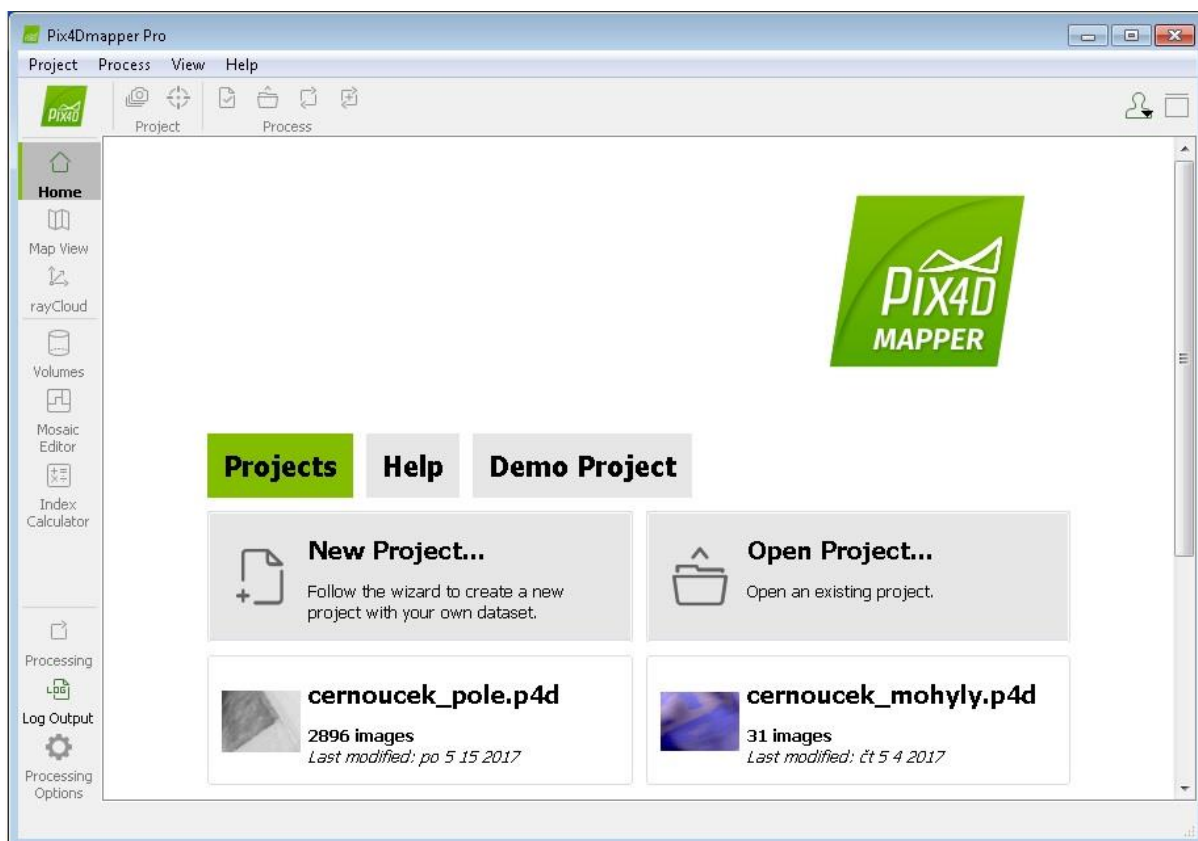
Mezi tyto parametry patří například datový formát výstupu. Zbylé parametry mohou být ponechány v implicitním stavu.

Program poté začne zpracovávat data. Doba, jakou bude celý proces zpracování trvat, je závislá od množství zpracovávaných dat a konfigurace počítače, na kterém je zpracování prováděno. Program je náročný na paměť RAM a na rychlost procesoru počítače.

Pro jednu lokalitu o 100 snímcích je doba zpracování dat (v našem případě) asi 1 hodina.

Výstupem při první části zpracování jsou DMP a ortofoto. Tento software se používá i k dalšímu zpracování dat, konkrétně ke zpracování DMP do formy tematických (indexových) map.

Veškeré výstupy z tohoto programu se ukládají i do formátu GEO TIFF, tedy do formátu TIFF, který je georeferencovaný (obsahuje informace o jeho poloze).



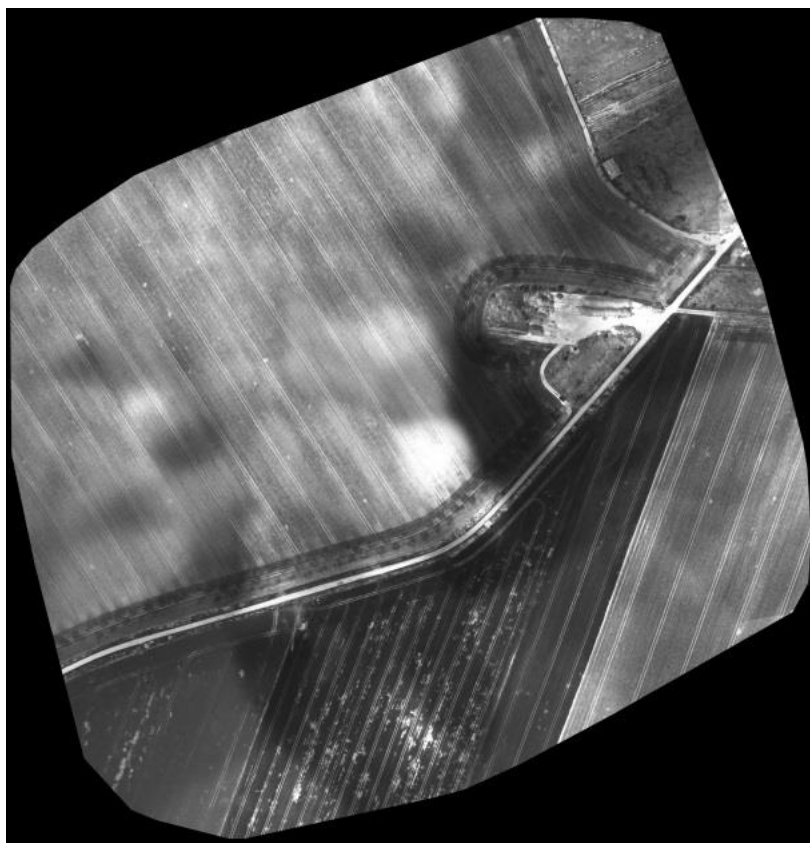
Obrázek 22: program Pix4Dmapper Pro

5.4.2 Ortofoto

Ortofoto, také označované jako snímková mozaika, je ortografické zobrazení země.

Ortofoto vzniká spojením více snímků do jednoho pomocí spojovacích bodů (body dobře identifikovatelné na více snímcích). Po určení těchto bodů se provede transformace a oříznutí snímků a vzniká mozaika. Tento postup je plně automatizován.

Ortofoto může být dále použito jako podklad pro práce v terénu a plánování.



Obrázek 23: Lokalita 1, ortofoto, multispektrální kamera, červený kanál

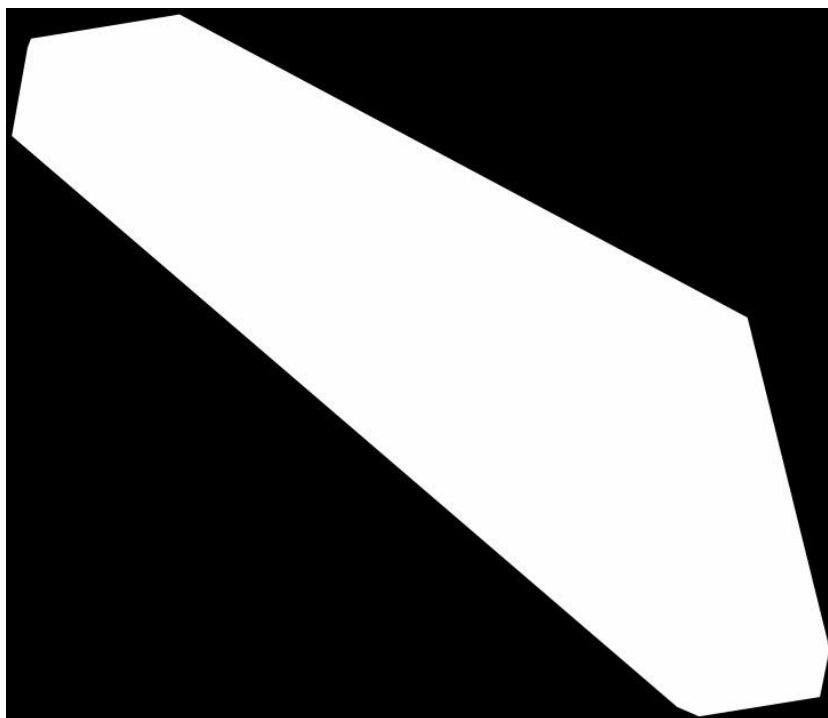
5.4.3 DMP

Digitální model povrchu (DMP), také *digital surface model* (DSM), představuje digitální model terénu doplněný o veškeré umělé a přírodní objekty.

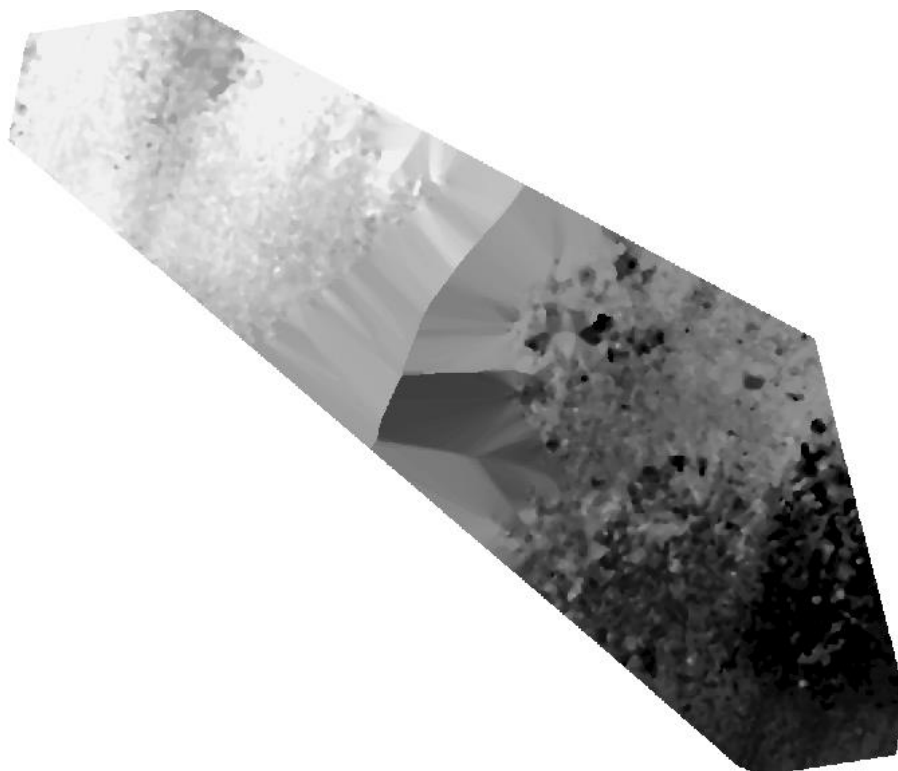
Na rozdíl od ortofota se DMP nedá zobrazit v běžných prohlížečích obrazových dat. To je způsobeno tím, že jednotlivé pixely DMP obsahují číselné hodnoty s plovoucí desetinou čárkou (16 bit), které běžně nejdou interpretovat.

DMP se dále používá pro vytváření a úpravu tzv. indexových map. Jde o znázornění indexů, dodatečných informací vázaných k jednotlivým pixelům. Typy indexů se liší podle kamery, kterou byl snímek, na němž se pixel nachází vyfocen.

Příklady indexů: teplotní index, hodnoty RGB, hodnoty NIR a další odvozené indexy.



Obrázek 24: Lokalita 3- mohyly u Černoučku, NIR kamera, DMP v softwaru IrfanView



Obrázek 25: Lokalita 3 - mohyly u Černoučku, NIR kamera (špatné letové podmínky i pokrytí snímky dávají nekvalitní DMP), v softwaru Geomatica

5.5 Vyhotovení tematických map

Před vytvoření výsledných tematických map je nejprve potřeba vygenerovat mapy indexové. Indexové mapy se musí správně barevně znázornit, ořezat a nastavit, aby se z jejich obsahu daly pohledově vyhledat anomálie, které by naznačovaly výskyt archeologických objektů pod povrchem země.

5.5.1 Tvorba indexových map

Po vytvoření projektu, nahrání snímků a jejich zpracování do podoby DMP lze použít ke generování indexových map a jejich následné úpravě funkce *Index Calculator* v programu **Pix4Dmapper Pro**.

Indexové mapy se dají vygenerovat pro všechny barevné kanály, ve kterých byly snímky pořízeny. Jednotlivé barevné kanály mají různou odraznost od vegetace, čehož se dá využít tak, že pro lokality bez vegetace se použijí pro zpracování jiné barevné kanál než pro lokality s vegetací.

Každý pixel DMP má svoji hodnotu indexů. Rozpětí hodnot indexů je rozděleno na intervaly, ke kterým je přiřazena barva z vybrané palety barev. Tyto intervaly se dají modifikovat a může se změnit i počet intervalů. Toto barevné zobrazení pixelů o určitých hodnotách indexů se dá aplikovat na celý DMP nebo pouze na jeho části.

Je snaha docílit takového barevného zobrazení indexů, aby v indexové mapě bylo možné identifikovat anomálie, které by naznačovaly výskyt archeologického objektu.

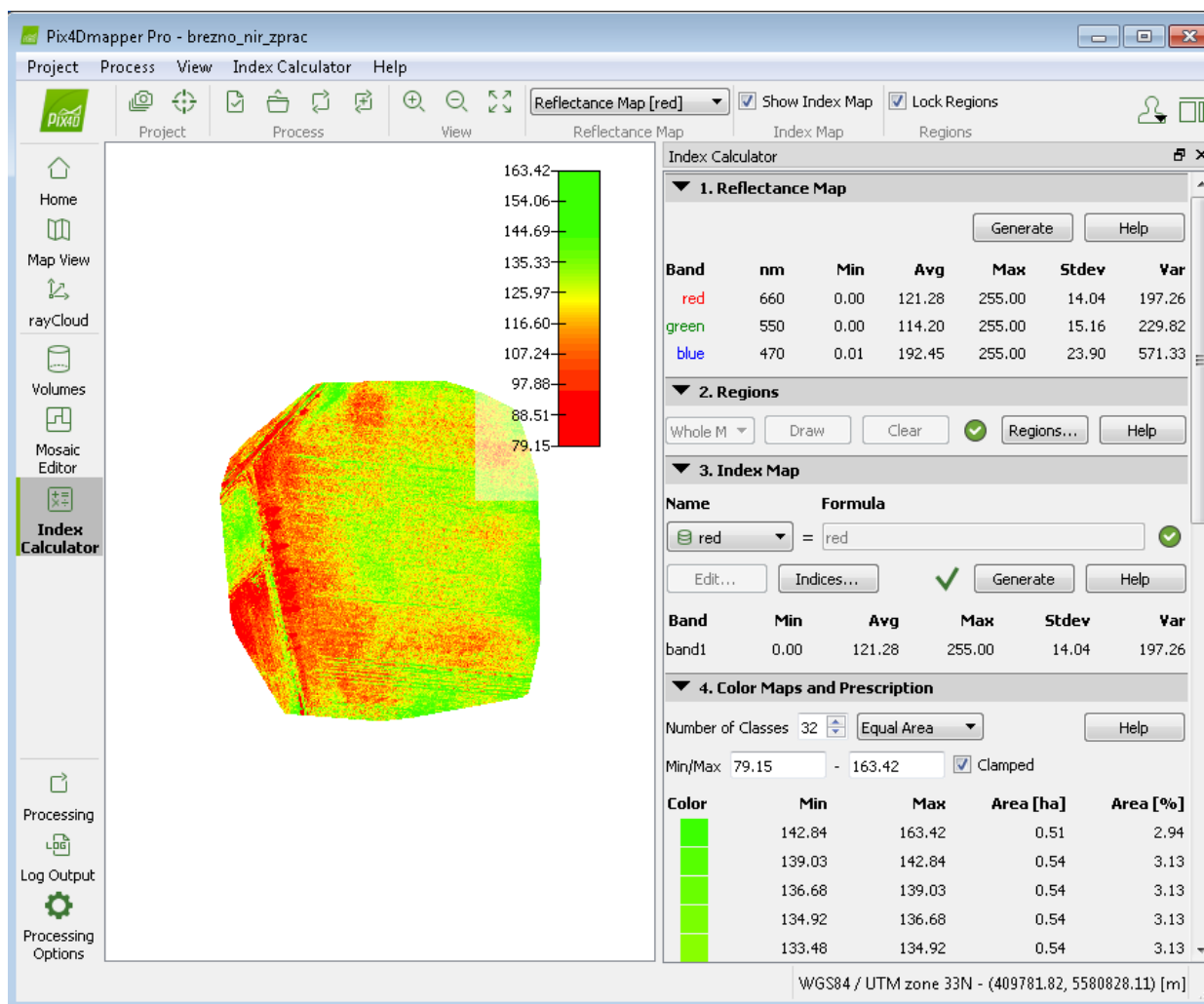
5.5.2 Identifikace archeologického objektu

Archeologické objekty byly identifikovány dvěma způsoby.

První způsob spočívá čistě v práci s indexovou mapou, kde je snaha vizuálně identifikovat archeologické objekty podle barevných anomálií v mapě. Tímto způsobem se dají nalézt dobře viditelné archeologické objekty.

Druhý způsob spočívá ve vyexportování indexové mapy do programu **ArcMap**, kam byly importovány podkladová data (ortofoto z ČUZK a ze seznam.cz). Z podkladových dat byly zvektorizovány viditelné znaky archeologických objektů. Zobrazením vektorizované kresby nad indexovou mapou se získá přibližná poloha, kde v indexové mapě by se měly archeologické objekty nalézat.

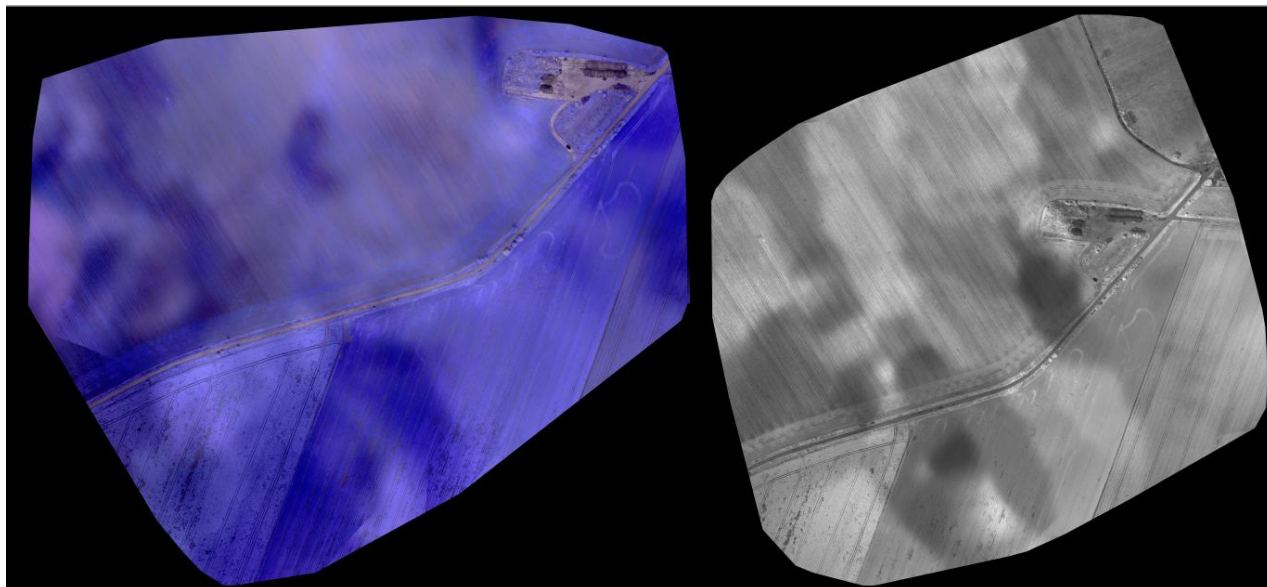
Dále se zpět v *index calculatoru (Pix4Dmapper Pro)* provede výřez daných oblastí a vytvoří se indexová mapa pouze pro tyto oblasti, čímž se pro zadanou oblast využije všech indexových intervalů (32 barev) a výrazně se zvětší schopnost rozlišit barevné anomálie v dané oblasti. Touto metodou se dají nalézt nezřetelné archeologické objekty.



Obrázek 26: Lokalita 4, NIR, práce s indexy

6 Výsledná ortofota

6.1 Lokalita č.1 – Ledčice (ohrazení)



Obrázek 27: Lokalita 1, ortofota, NIR a multispektrální kamera.

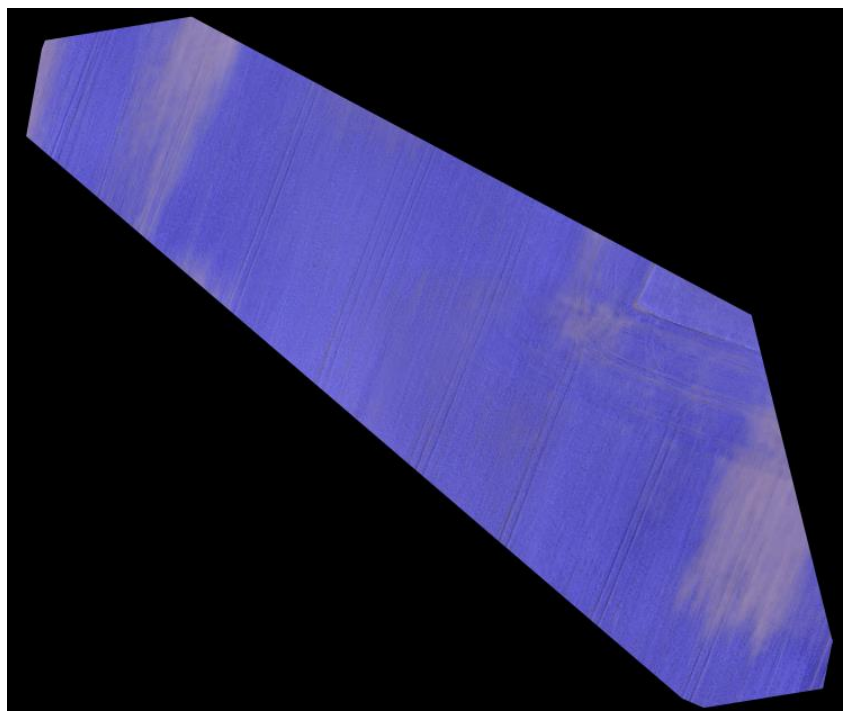
6.2 Lokalita č.2 – Ledčice/Černouček (pole)



Ortofoto vytvořené z termálních snímků nebylo u lokality č.1 uvedeno, protože půdní znaky na něm nejsou viditelné. U druhé lokality je zde uvedeno pouze pro ukázkou, jak takové ortofoto vypadá.

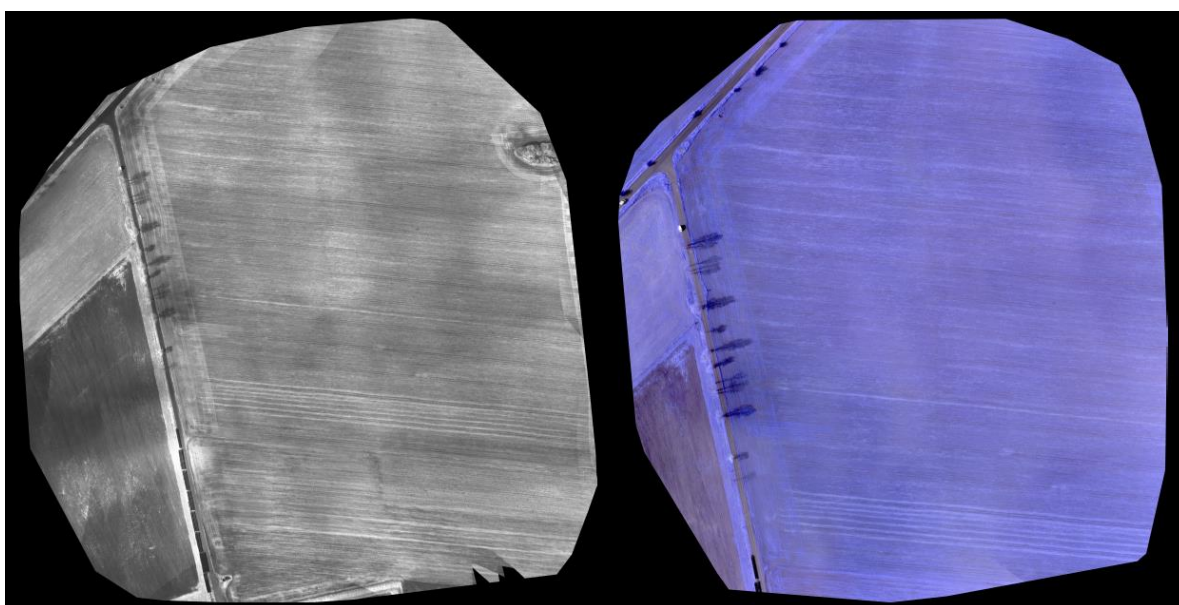
Obrázek 28: Lokalita 3, ortofoto, termální kamera

6.3 Lokalita č.3 – Černouček (mohyly)



Obrázek 29: Lokalita 3, ortofoto, multispektrální kamera.

6.4 Lokalita č.4 – Březno u Loun



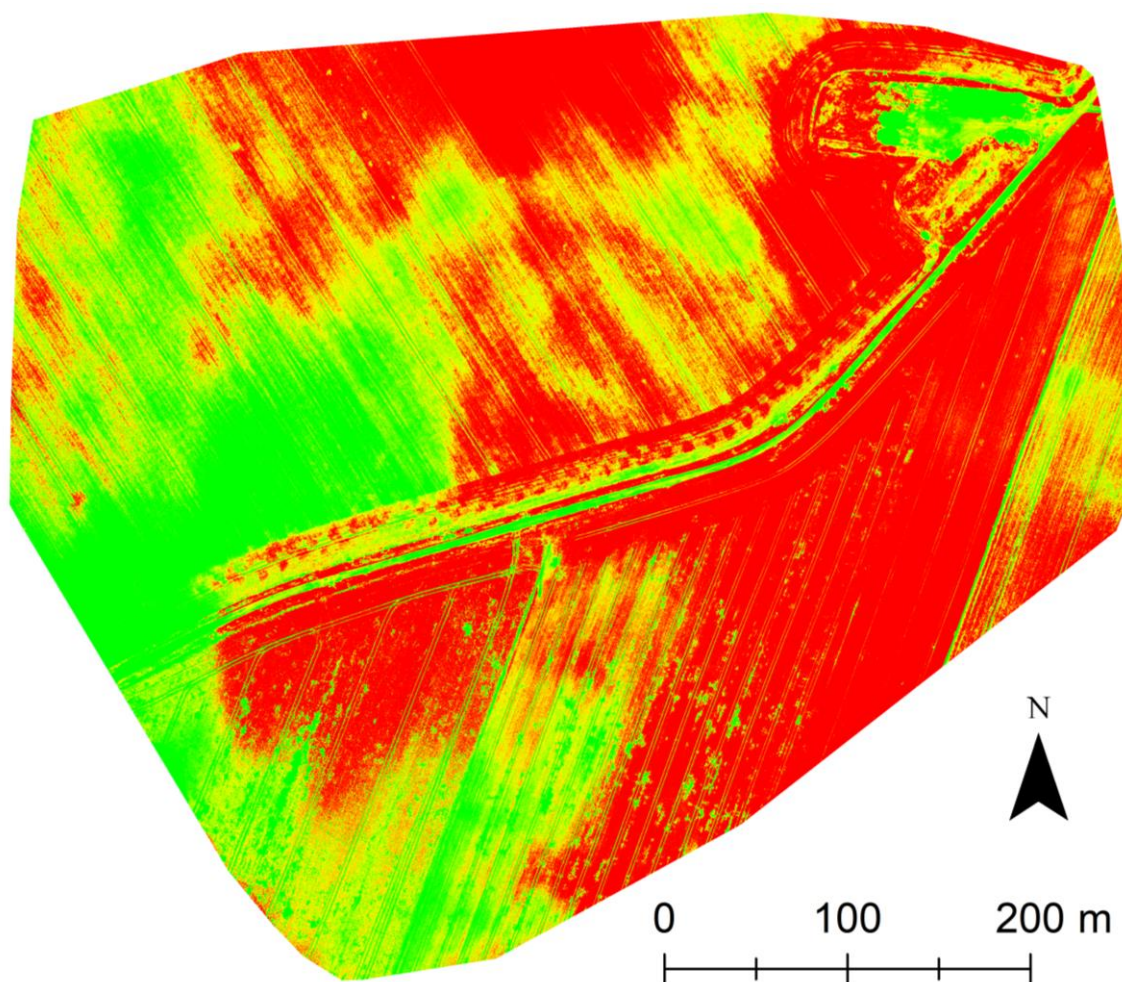
Obrázek 30: Lokalita 4, ortofota, NIR a multispektrální kamera

7 Tematické mapy a jejich zhodnocení

V této kapitole jsou zobrazeny výsledné mapy nasnímaných lokalit a krásný popis, čím byly lokality nasnímány a jaké archeologické objekty, či známky po nich byly nalezeny. V případě nenalezení žádných archeologických objektů jsou uvedeny možné příčiny, proč tomu tak je.

Indexy zobrazené v mapách jsou rozděleny do 32 intervalů, které jsou znázorněny barevně. Pro účel prezentování byla vždy vybrána jedna mapa z každé kamery.

7.1 Lokalita č.1 – Ledčice (ohrazení)

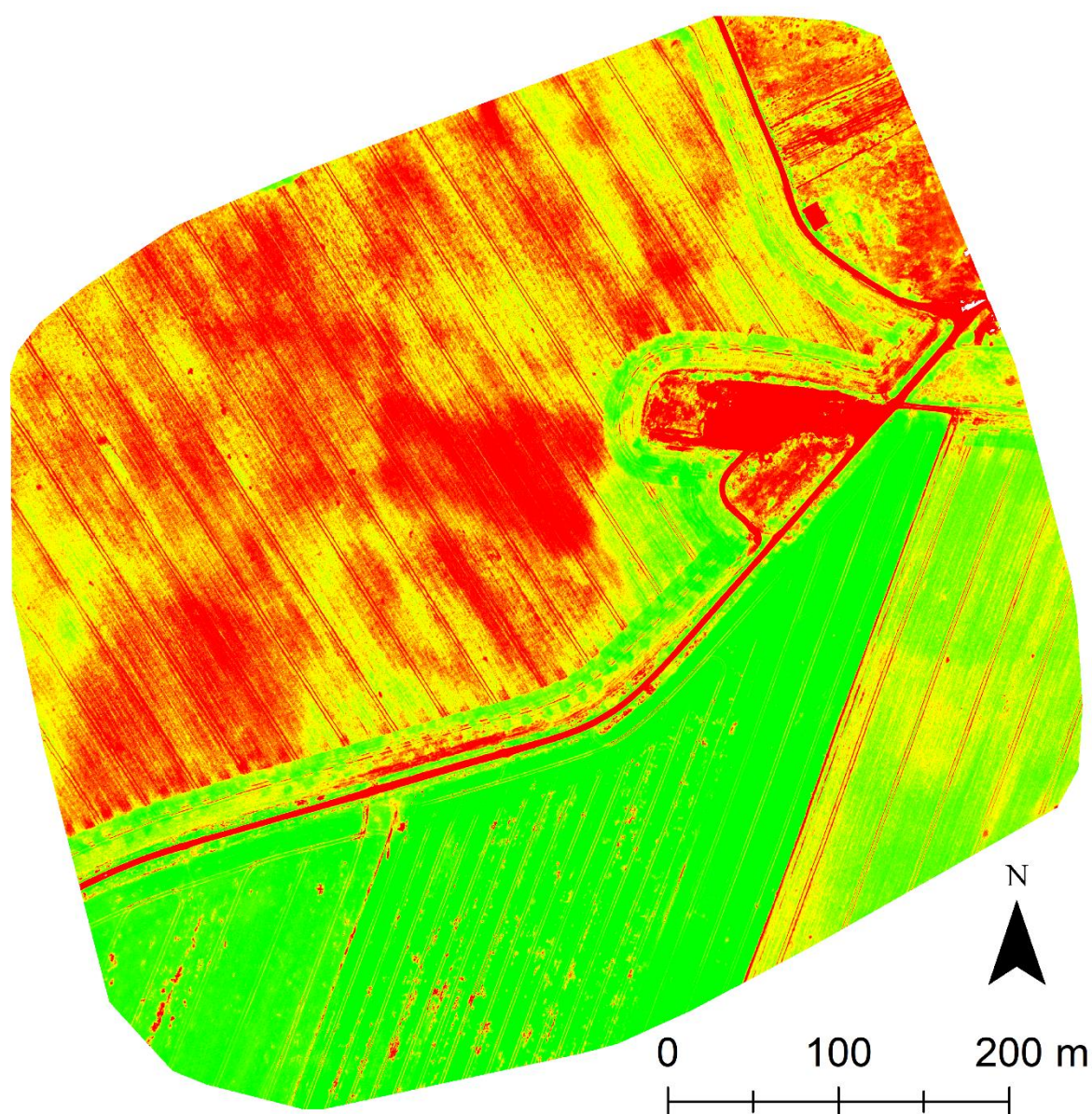


Obrázek 31: Lokalita 1, tematický ortofoto plán, infračervená kamera

První lokalita byla nasnímána všemi třemi dostupnými kamerami.

V žádném z výstupů není vidět rozsáhlý hledaný archeologický objekt, který by se měl nalézat nad silnicí uprostřed snímané lokality. V daných místech jsou sice vidět jisté anomálie a změny barvy (hodnot indexů), ale žádné z nich nikterak nepřipomínají hledaný objekt.

Toto může být způsobeno již rostoucí vegetací či suchem v posledním období.

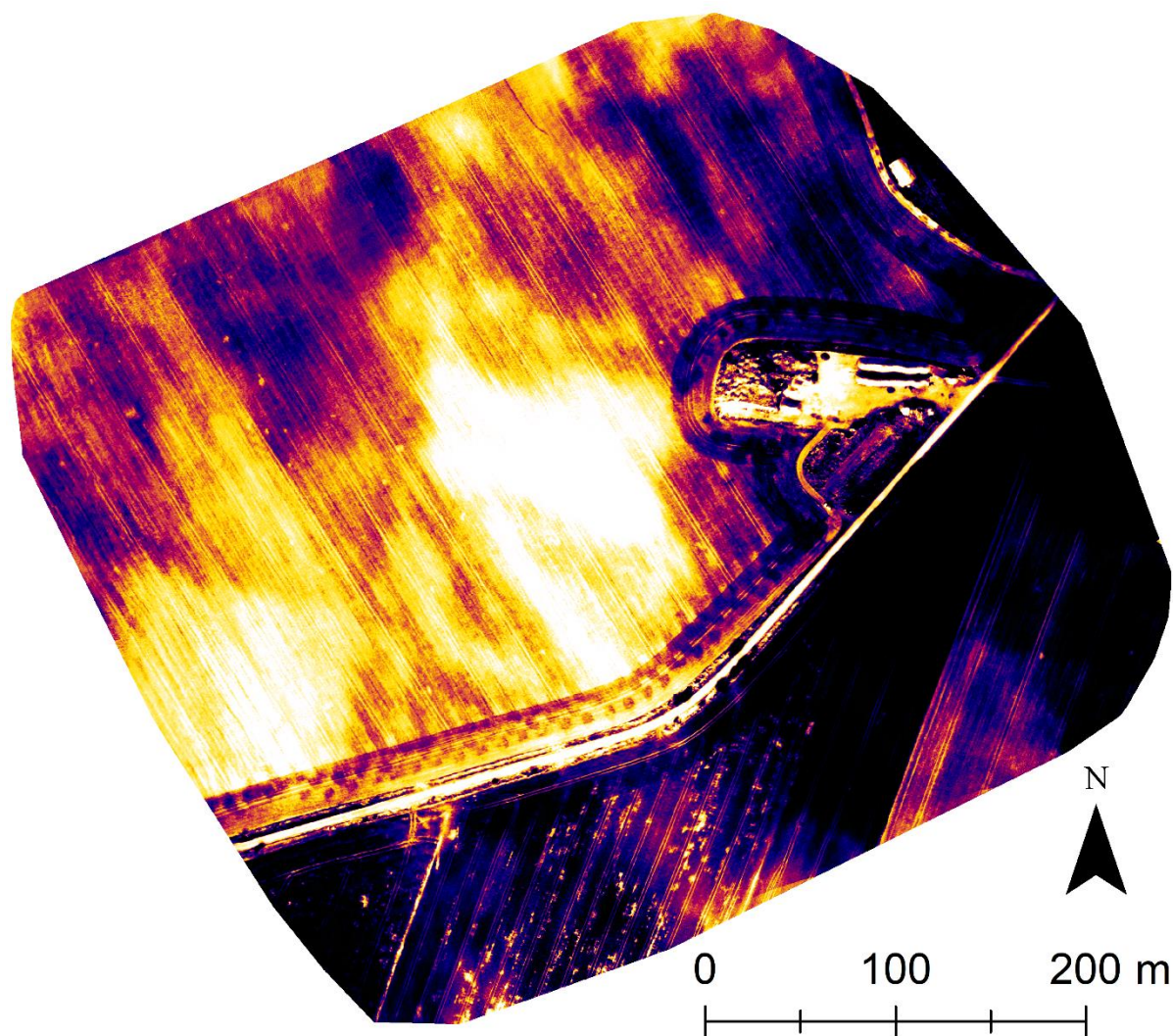


Obrázek 32: Lokalita 1, tematický ortofoto plán, multispektrální kamera

V lokalitě však byly na všech výstupech na stejných místech nalezeny malé anomálie, a to konkrétně v severozápadní části lokality a v jižní části lokality. V severozápadní části se může jednat o půdní znaky malých archeologických objektů (pravděpodobně hrobových jam nebo odpadních jam).

V jižní části jsou však tyto anomálie příliš nepravidelné a blízko u sebe, takže se můžeme domnívat, že jde pouze o anomálie.

Jelikož žádný z těchto útvarů se nenašel v podkladových datech (ortofota ČUZK a seznam.cz) nemůžeme si být jisti identitou těchto anomálií. Bylo by třeba opakovat snímkování v jiném období a potvrdit či vyvrátit tyto teorie.



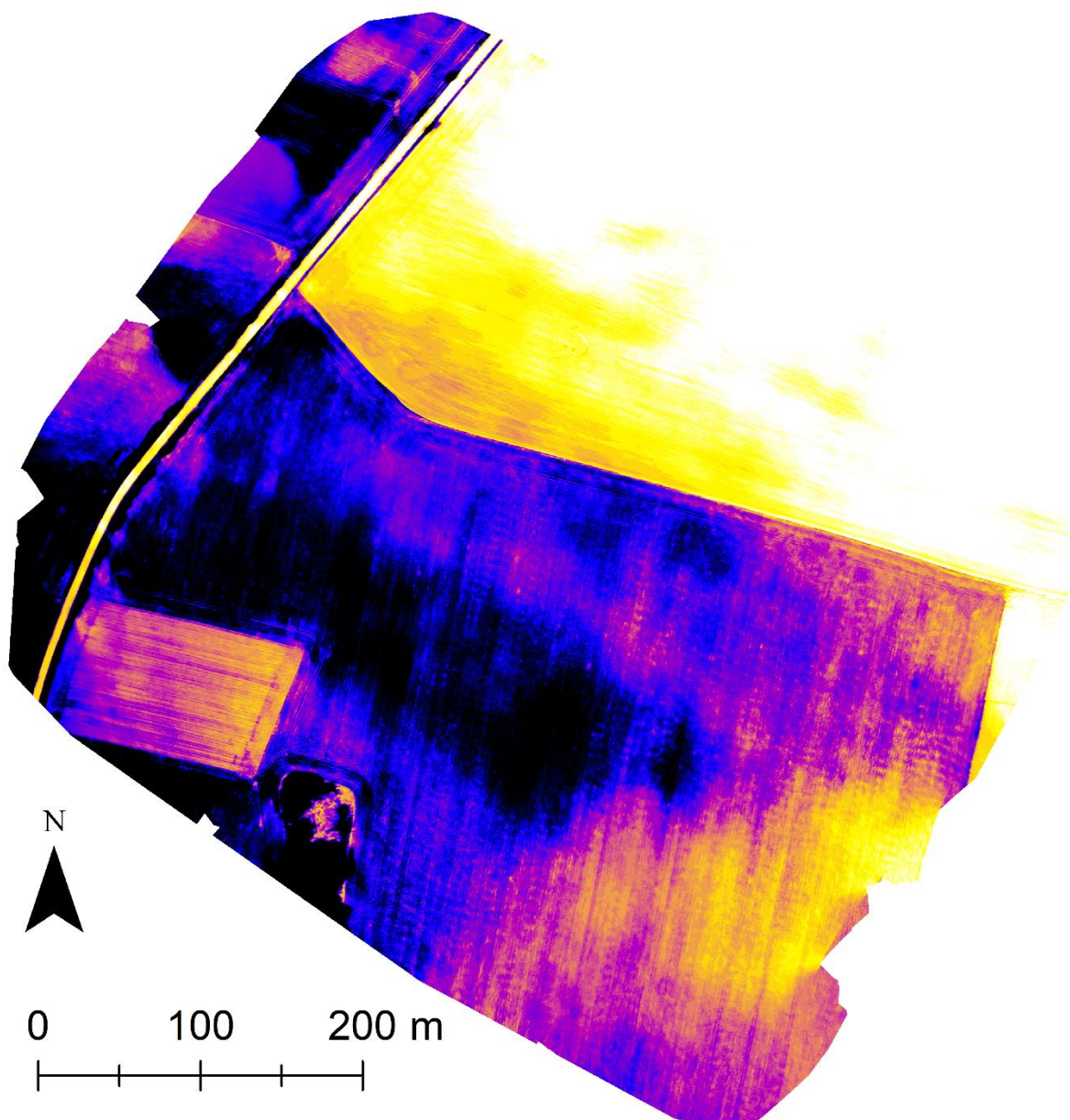
Obrázek 33: Lokalita 1, tematický ortofoto plán, termální kamera

7.2 Lokalita č.2 – Ledčice/Černouček (pole)

Druhá lokalita byla nasnímana termální kamerou. Z výsledné mapy nejsou žádné znaky ukazující na archeologické objekty zřetelné.

Severní část lokality (pole nad cestou) bylo zoráno, a tudíž zde není možné cokoliv najít.

Ve zbytku lokality byla již vyrostlá vegetace, což může být příčina nepřítomnosti viditelných znaků výskytu archeologických objektů.



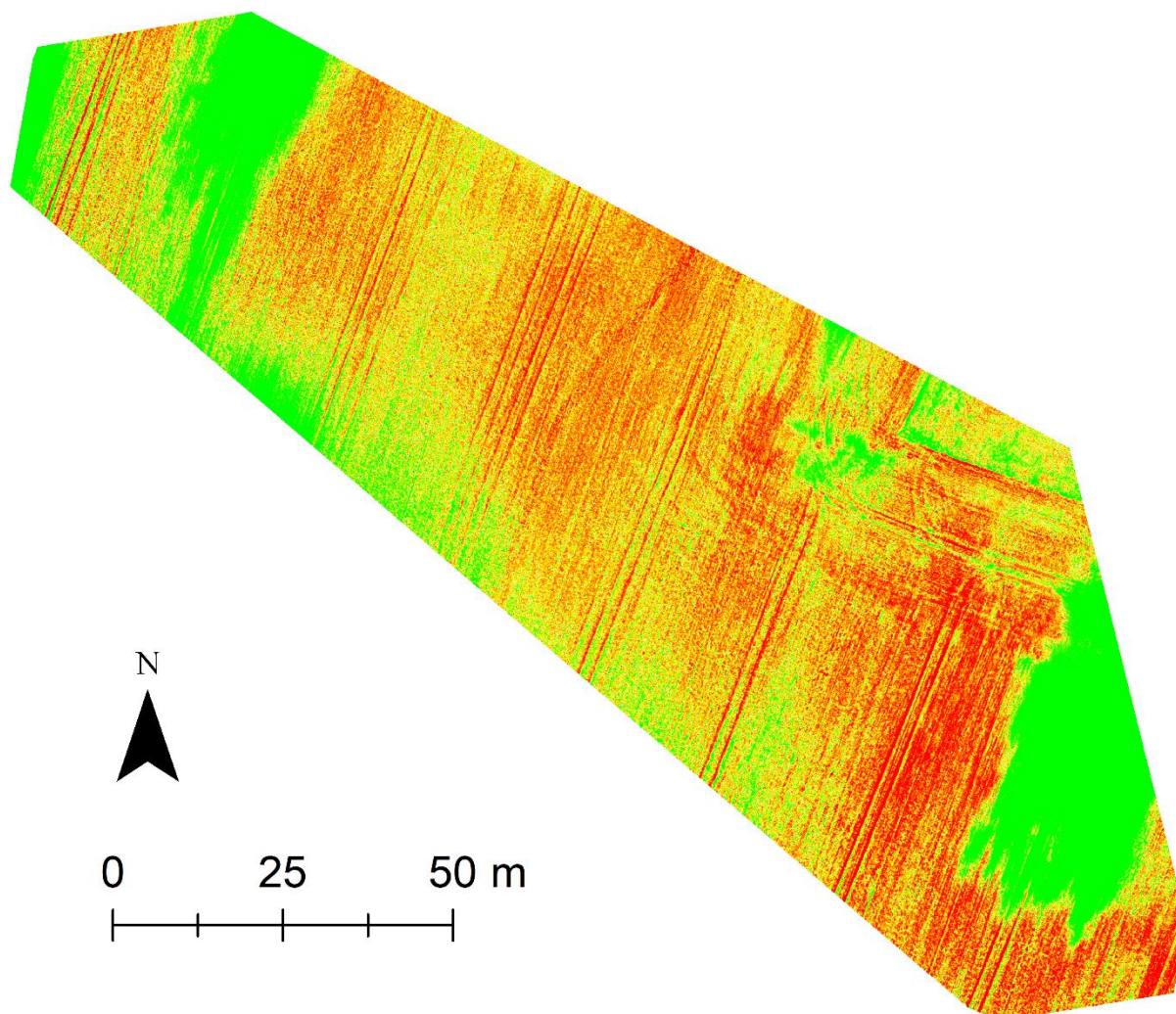
Obrázek 34: Lokalita 2, tematický ortofoto plán, termální kamera

7.3 Lokalita č.3 – Černouček (mohyly)

Třetí lokality byla nasnímána multispektrální kamerou. Na první pohled nejsou znaky o výskytu archeologických objektů patrné, ale přesto byl jeden větší objekt nalezen.

Po zvektorizování podkladového ortofota a zobrazení vektorizované kresby nad mapou bylo zjištěno, že uvnitř obrysu archeologického objektu se nalézají plochy, ve kterých je červená barva sytější a připomíná kruh. Tento úkaz není při pohledu na mapu lokality zřetelný, ale při zaměření se na onu oblast je vidět výraznější „výplň“ hledaného objektu.

Nalezený objekt se nalézají přibližně ve středu území (vedle malého území zobrazeného zelenou barvou). Tento archeologický objekt můžeme považovat za nalezený.

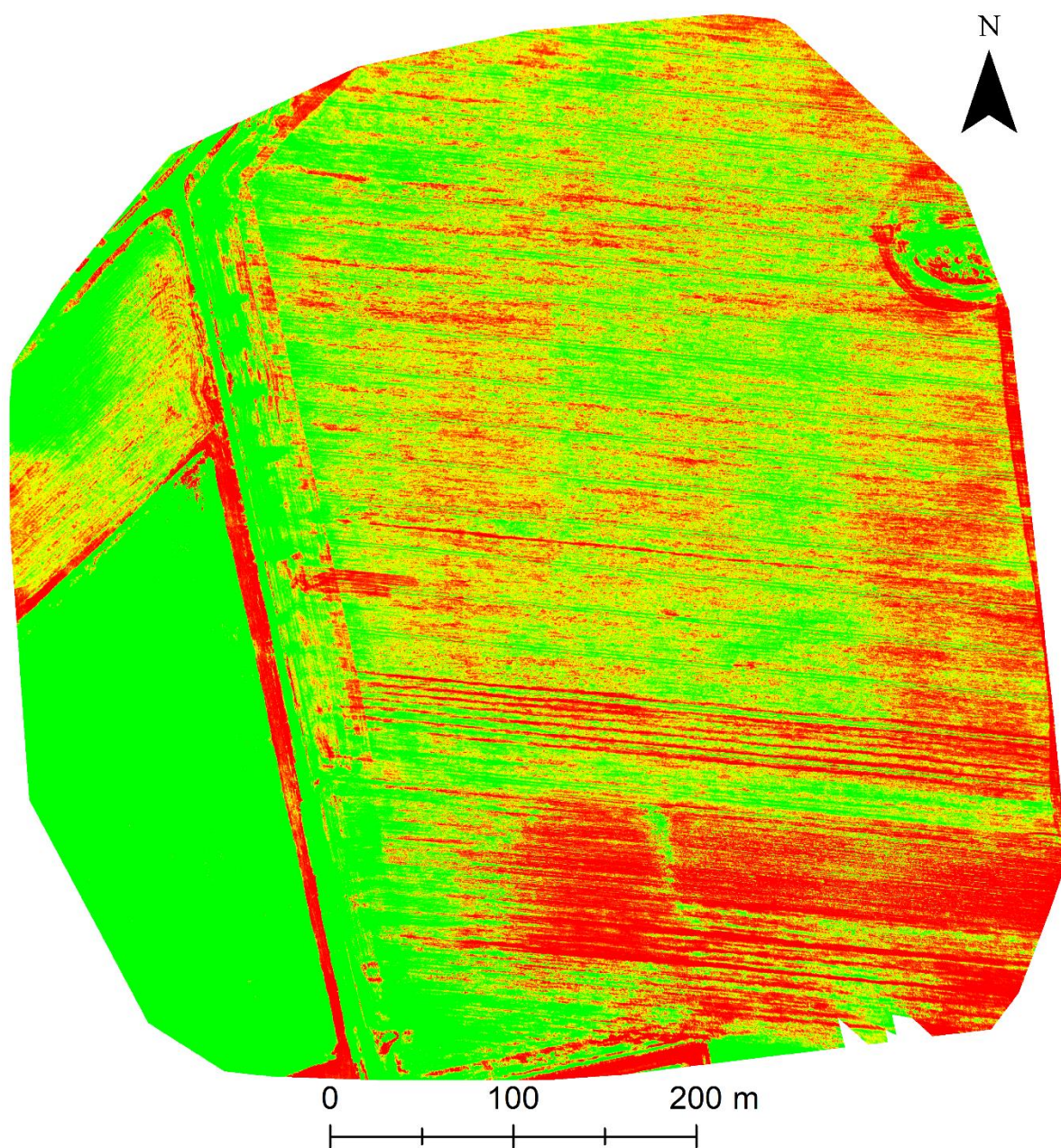


Obrázek 35: Lokalita 3, tematický ortofoto plán, multispektrální kamera

7.4 Lokalita č.4 – Březno u Loun

Poslední lokalita byla nasnímana infračervenou a multispektrální kamerou.

Pro tuto lokalitu bylo použito pouze jedno podkladové ortofoto (seznam.cz), na ortofotu z ČUZK nejsou žádné známky po archeologických objektech. V ortofotu ze seznamu je hledaný archeologický objekt sotva zřetelný, ale je vidět.

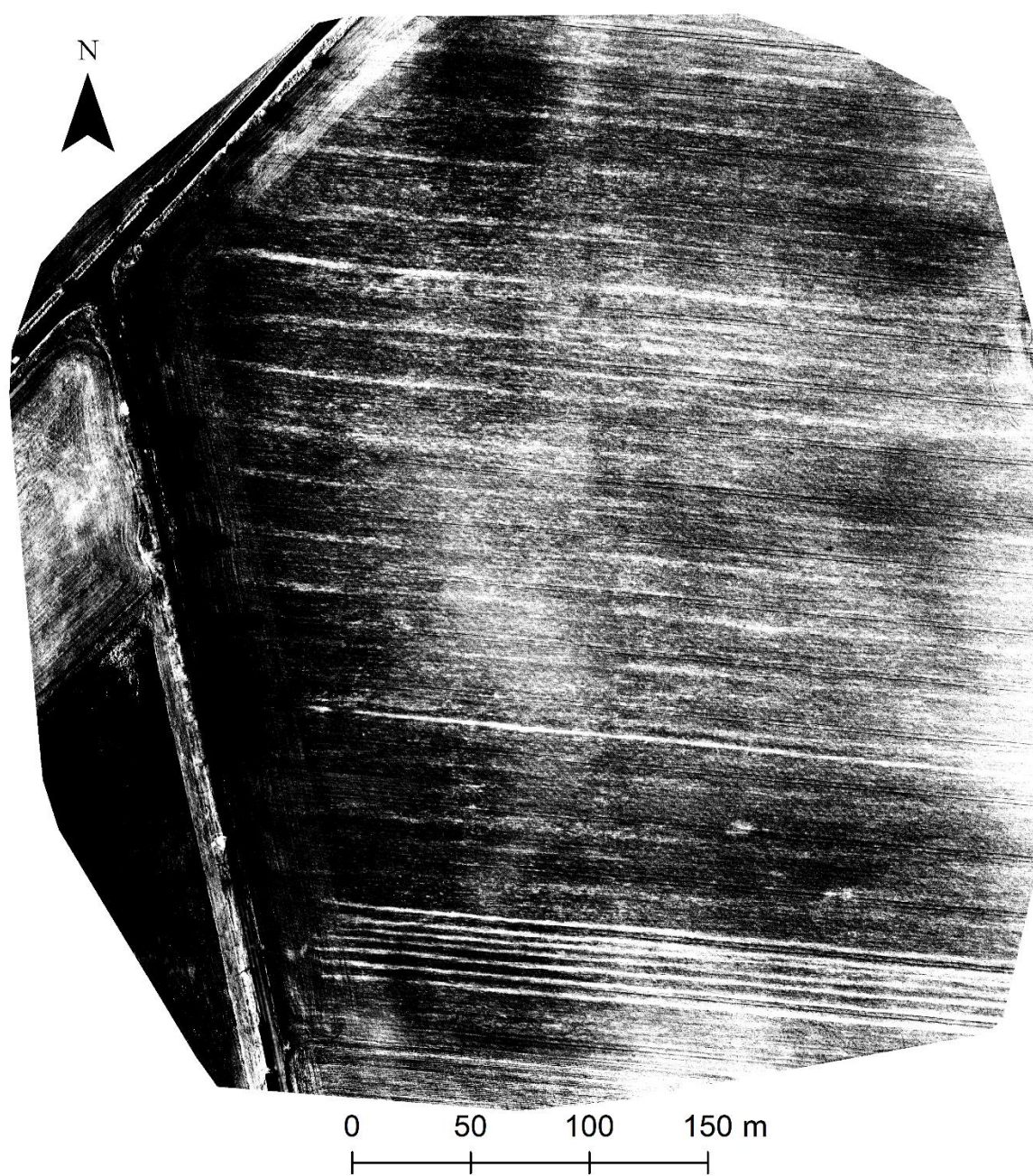


Obrázek 36: Lokalita 4, tematický ortofoto plán, multispektrální kamera

Hledaný objekt v této lokalitě není z vytvořených map viditelný.

Jediné dvě anomálie viditelné v této lokalitě se nalézají na mapě vytvořené v odstínech šedi. Anomálie se nalézají v dolní polovině mapy. Jelikož nejsou ony anomálie vidět na žádné jiné mapě, dá se uvažovat, že nejde o archeologické objekty.

Pro ověření této hypotézy by bylo vhodné nasnímat lokalitu v jiném časovém období.



Obrázek 37: Lokalita4, tematický ortofoto plán, infračervená kamera

8 Závěr

Cílem bakalářské práce je přiblížit současnou legislativu České republiky týkající se RPAS, provést rešerši literatury na dané téma, představit technologii RPAS, její historii, rozdělení a v neposlední řadě nasnímat určité archeologické lokality a ze získaných dat vypracovat tematické mapy.

Jako první byla provedena literární rešerše. Cílem literární rešerše bylo představit práce jiných autorů, které se týkají podobných témat, jako je téma bakalářské práce. V tomto případě byla stručná literární rešerše provedena pro díla týkající se RPAS obecně a díla, která se týkají využití RPAS v oboru i mimo něj. Některé z těchto děl byly dále použity jako zdroj informací pro další zpracování bakalářské práce. Pro vyhledávání vhodných děl pro literární rešerši byla použita stránka Google Scholar.

V další kapitole jsou uvedeny základní informace o bezpilotních prostředcích a systémech, jejich historie, definice a základní typy, které jsou v dnešní době nejvíce rozšířené. Ačkoliv je tato práce převážně o současných civilních RPAS, jsou zde k nalezení zmínky o prostředcích, které nejsou běžné, či o vojenském využití RPAS v historii. Informace o RPAS byly čerpány z literatury a internetových zdrojů uvedených na konci práce v kapitole „Použitá literatura“.

Jako poslední v teoretické části práce se nalézá přiblížení současné legislativy České republiky. Jsou zde základní informace o úřadu civilního letectví, o *předpisu Ministerstva dopravy L2 - Pravidla létání*, a doplňcích a dodatcích které se týkají RPAS. Podrobněji byla představena nejdůležitější část předpisu L2 a to *Doplňek X – Bezpilotní systémy* který obsahuje pravidla, povinnosti a návody pro používání bezpilotních systémů.

Druhá polovina bakalářské práce se již zabývá hlavním tématem bakalářské práce, a to využitím RPAS pro dokumentaci a průzkum archeologické lokality.

Jako první v rámci praktické části bakalářské práce byly představeny použité pomůcky. Pro nasnímání všech lokalit byl použit bezpilotní letoun eBee od firmy SenseFly. Tento letoun je lehký, snadno přenosný a dá se osadit různými kamerami. Výhodou letounu eBee je také to, že je dodáván i se softwarem eMotion2, který slouží k jeho ovládání. Pro nasnímání lokalit byly použity tři různé kamery, infračervená, multispektrální a termální, přičemž každá z nich dokáže získávat data v jiných spektrálních kanálech.

Program použitý při snímkování je eMotion2. Jde o sofistikovaný software, který umožňuje plánovat snímkové lety a ovládat bezpilotní zařízení. Kromě běžného počítače se dá nainstalovat i na tablety, což díky delší výdrži baterie tabletu umožňuje být v terénu po delší dobu.

Celkem byly nasnímány čtyři lokality, přičemž některé byly nasnímány pomocí více kamer a jiné pouze jednou. Snímání bylo provedeno ve dvou různých termínech.

Pro zpracování snímků byl použit program Pix4Dmapper Pro. Tento program umožňuje zpracování leteckých snímků do formy ortofota a DMP najednou. Tento proces je téměř celý automatizovaný. Dále se v tomto programu zpracovávají tzv. indexové mapy, které barevně zobrazují další informace (indexy), které snímky obsahují.

Indexové mapy byly vytvořeny pro všechny lokality, všechny kamery a všechny indexy jimi pořízené. Z indexových map byly vyhledávány známky o přítomnosti archeologických objektů nalézajících se pod povrchem země.

Ve většině případů nebyly stopy po archeologických objektech nalezeny, pouze v lokalitě č. 3 byl nalezen jeden hledaný archeologický objekt. Příčinou nenalezení stop po archeologických objektech může být mnoho. Mezi takové důvody může patřit dlouhodobé sucho za poslední rok, umělá úprava povrchu (orání půdy, povrchové práce) či růst vegetace ve snímaném území. Letošní rok (jaro) pro vizualizaci archeologických objektů pomocí vegetačních příznaků nebyl (oproti loňskému roku) příznivý. Obecně lze vyznívat, že příznivé podmínky nastávají cca jednou za 5 i

více let. Přesto je obsah práce jakousi sondou do moderních a často diskutovaných metod využití RPAS.

V první lokalitě byly nalezeny malé objekty, které by mohly být hroby či jiné archeologické objekty. Pro potvrzení těchto hypotéz by však bylo vhodné snímkování zopakovat v jiném časovém období.

Výsledné mapy a ortofota mohou být použity pro dokumentaci nebo jako podklad pro další zpracování.

9 Přílohy

Veškeré přílohy jsou přiloženy k práci ve formě DVD.

Přílohy jsou rozděleny do tří složek podle místa snímkování a obsahují podsložky s jednotlivými lokalitami. Jsou zde také umístěny výřezy obrazovky z programu eMotion2 a další použité obrázky.

V jednotlivých složkách jsou umístěny podsložky s originálními snímky ve formátech TIFF a RAW a snímky transformované do formátu JPG. Jsou zde také umístěny textové soubory obsahující informace o poloze všech snímků.

Dále se zde nalézá projekt, data a výstupy z programu Pix4Dmapper.

10 Použitá literatura

- [1] PAVELKA, Karel, Jaroslav ŠEDINA, Jan PACINA, Ladislav PLÁNKA, Jakub KARAS a Václav ŠAFÁŘ. RPAS - Remotely Piloted Aircraft System. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2016. ISBN 978-80-01-05648-6.
- [2] EISENBEIß, Henri. UAV photogrammetry. Zurich, Switzerland:: ETH, 2009. [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: http://www.igp-data.ethz.ch/berichte/Blaue_Berichte_PDF/105.pdf
- [3] COLOMINA, Ismael; MOLINA, Pere. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2014, 92: 79-97. [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271614000501>
- [4] NAGAI, Masahiko, et al. UAV Borne mapping by multi sensor integration. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci, 2008, 37: 1215-1221. [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Masahiko_Nagai/publication/237362847_UAV_borne_mapping_by_multi_sensor_integration/links/02e7e5344ea38f30ba000000.pdf
- [5] Předpis Ministerstva dopravy L2 – Pravidla létání [online]. Česká republika [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/print/L-2_cely.pdf
- [6] Úřad pro civilní letectví [online]. Česká republika Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube>
- [7] In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-16].
- [8] *Hospodářské noviny* [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://domaci.ihned.cz/c1-57880550-na-pude-cvut-vznikla-unikatni-vzducholod-ktera-najde-dokonce-i-podvody-na-stavbe>
- [9] EADS převezme kontrolu nad Survey Copter. Overblog [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://rpdefense.over-blog.com/article-pierrelatte-eads-prend-le-controle-de-survey-copter-88227092.html>
- [10] Hoverfly Erista Multicopter. In: Unmanned Systems Technology [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://www.unmannedsystemstechnology.com/2013/03/hoverfly-founder-seeks-faa-partnership-for-film-flight-school-certification/hoverfly-erista-multicopter/>

- [11] Canada's new fixed-wing drones are runway free. In: CBC News [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://www.cbc.ca/news/canada/nova-scotia/canada-surveillance-drones-military-1.3680290>
- [12] Anatomy of a multirotor drone. In: *DroneTrest* [online]. [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: <http://www.dronetrest.com/t/anatomy-of-a-multirotor-drone/1386>
- [13] *Zákony pro lidi* [online]. [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/>
- [14] NIETHAMMER, U., et al. UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results. *Engineering Geology*, 2012, 128: 2-11. [online]. [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013795211000755>
- [15] METNI, Najib; HAMEL, Tarek. A UAV for bridge inspection: Visual servoing control law with orientation limits. *Automation in construction*, 2007, 17.1: 3-10. [online]. [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580507000052>
- [16] DOHERTY, Patrick; RUDOL, Piotr. A UAV search and rescue scenario with human body detection and geolocalization. *AI 2007: Advances in artificial intelligence*, 2007, 1-13. [online]. [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-540-76928-6_1
- [17] SenseFly: Drones For Professionals, Mapping & Photogrammetry, Flight Planning & Control Software: senseFly SA [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <https://www.sensefly.com/home.html>
- [18] *Uncrate: SenseFly eBee Drone* [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://uncrate.com/article/sensefly-ebec-drone/>
- [19] Airinov: Multi-spectral image sensor / high-speed - MULTISPEC 4C [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/airinov/product-177048-1770619.html>
- [20] BLOM, John David. *Unmanned Aerial Systems: a historical perspective*. Combat Studies Institute Press, 2010. [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.261.2109&rep=rep1&type=pdf>
- [21] Spies That Fly: Time Line of UAVs. In: *PBS* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.pbs.org/wgbh/nova/spiesfly/uavs.html>

[22] Pix4Dmapper. *Pix4D - Drone Mapping Software for Desktop + Cloud + Mobile* [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <https://pix4d.com/product/pix4dmapper-pro/>

11 Seznam obrázků

Obrázek 1: raketa V-1; upraveno podle [7]	8
Obrázek 2: Bezpilotní vzducholod' z ČVUT; upraveno podle [8]	10
Obrázek 3: Survey Copter; upraveno podle [9]	11
Obrázek 4: Hoverfly Erista Multicopter; upraveno podle [10]	12
Obrázek 5: RQ-21A Blackjack; upraveno podle [11]	13
Obrázek 6: Ortofoto, Ctiněves, NIR kamera, červenec 2016	18
Obrázek 7: Ortofoto, Ctiněves, NIR kamera, duben 2017	18
Obrázek 8: Snímek letounu eBee v laboratoři fotogrammetrie ČVUT	20
Obrázek 9: použitá kamera S110 NIR	22
Obrázek 10: použitá kamera ThermoMAP	23
Obrázek 11: použitá kamera multiSPEC 4C a její kalibrační pole	24
Obrázek 12: uživatelské rozhraní programu eMotion 2	25
Obrázek 13: zobrazení archeologické lokality, Ledčice, mapy.cz	26
Obrázek 14: mapa letového plánu, Ledčice, před úpravou dráhy	28
Obrázek 15: mapa letového plánu, Ledčice, po úpravě dráhy	28
Obrázek 16: archeologická lokalita, Černouček/Ledčice, mapy.cz	29
Obrázek 17: mapa letového plánu, Ledčice/Černouček, termokamera	30
Obrázek 18: archeologická lokalita, Černouček, mapy.cz	31
Obrázek 19: mapa letového plánu, Černouček, multispektrální k.	31

Obrázek 20: zobrazení archeologické lokality, Březno, mapy.cz.....	32
Obrázek 21: mapa letového plánu, Březno, multispektrální.....	33
Obrázek 22: program Pix4Dmapper Pro	35
Obrázek 23: Lokalita 1, ortofoto, multispektrální kamera, červený kanál	36
Obrázek 24: Lokalita 3- mohyly u Černoučku, NIR kamera, DMP v softwaru IrfanView	37
Obrázek 25: Lokalita 3 - mohyly u Černoučku, NIR kamera (špatné letové podmínky i pokrytí snímky dávají nekvalitní DMP), v softwaru Geomatica	37
Obrázek 26: Lokalita 4, NIR, práce s indexy.....	39
Obrázek 27: Lokalita 1, ortofota, NIR a multispektrální kamera.	40
Obrázek 28: Lokalita 3, ortofoto, termální kamera.....	40
Obrázek 29: Lokalita 3, ortofoto, multispektrální kamera.	41
Obrázek 30: Lokalita 4, ortofota, NIR a multispektrální kamera	41
Obrázek 31: Lokalita 1, tematický ortofoto plán, infračervená kamera.....	42
Obrázek 32: Lokalita 1, tematický ortofoto plán, multispektrální kamera.....	43
Obrázek 33: Lokalita 1, tematický ortofoto plán, termální kamera	44
Obrázek 34: Lokalita 2, tematický ortofoto plán, termální kamera	45
Obrázek 35: Lokalita 3, tematický ortofoto plán, multispektrální kamera.....	46
Obrázek 36: Lokalita 4, tematický ortofoto plán, multispektrální kamera.....	47
Obrázek 37: Lokalita4, tematický ortofoto plán, infračervená kamera.....	48