

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní

**Využití termálních dat pro monitoring krajiny
vybraného zájmového území**

Martin Krátký

Bakalářská práce

2019

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin Krátký**
Osobní číslo: **E16071**
Studijní program: **B6209 Systémové inženýrství a informatika**
Studijní obor: **Regionální a informační management**
Název tématu: **Využití termálních dat pro monitoring krajiny vybraného
zájmového území**
Zadávací katedra: **Ústav systémového inženýrství a informatiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je využití termálních dat pro sledování změn v krajině. Student projde celým procesem zpracování termálních snímků až po výslednou interpretaci.

Osnova práce:

- Dálkový průzkum Země a digitální zpracování obrazu.
- Infračervená část spektra.
- Monitoring krajiny.
- Bezpilotní prostředky.
- Současný stav řešené problematiky.
- Charakteristika zájmového území.
- Příkladová studie (příprava dat, zpracování, vizualizace, interpretace).
- Závěr.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

HALOUNOVÁ, Lena a Karel PAVELKA. Dálkový průzkum Země. V Praze:

Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03124-1.

LILLESAND, Thomas M., Ralph W. KIEFER a Jonathan W. CHIPMAN.

Remote sensing and image interpretation. 6th ed. Hoboken: Wiley, c2008. ISBN

978-0-470-05245-7. LONGLEY, Paul. Geographic information systems & science.

3rd ed. Hoboken: John Wiley, c2011. ISBN 978-0-470-72144-5.

MÍŘIJOVSKÝ, Jakub. Bezpilotní systémy: sběr dat a využití ve fotogrammetrii. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci pro katedru geoinformatiky, 2013. ISBN 978-80-244-3923-5.

TUČEK, Ján. Geografické informační systémy: principy a praxe. Praha:

Computer Press, 1998. ISBN 80-7226-091-X.

Vedoucí bakalářské práce:

Mgr. Pavel Sedlák, Ph.D.

Ústav systémového inženýrství a informatiky

Datum zadání bakalářské práce:

3. září 2018

Termín odevzdání bakalářské práce:

30. dubna 2019

doc. Ing. Romana Provozničková, Ph.D.
děkanka

L.S.

doc. Ing. Pavel Petr, Ph.D.
vedoucí ústavu

V Pardubicích dne 3. září 2018

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 30. 4. 2019

Martin Krátký

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Mgr. Pavlovi Sedlákoví, Ph.D. za jeho odbornou pomoc, názory, připomínky, rady a poskytnuté materiály.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá využitím termálních dat z UAV pro monitoring krajiny zájmového území. Obsahem práce je příprava termálních dat, jejich zpracování, vizualizace a interpretace.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zpracování termálních dat, zpracování dat z UAV, UAV, dron, infračervené záření, dálkový průzkum Země

TITLE

Use of thermal data to observe changes in the landscape of the selected area of interest

ANNOTATION

This bachelor thesis deals with utilization of thermal data from UAV for landscape monitoring of the area of interest. The content of this thesis is preparation of thermal data, their processing, visualization and interpretation.

KEYWORDS

Thermal data processing, UAV data processing, UAV, drone, InfraRed, remote sensing

OBSAH

Seznam obrázků	9
Seznam zkratek	11
Úvod	12
1 Dálkový průzkum Země	13
2 Digitální zpracování obrazu	15
2.1 Předzpracování obrazu	15
2.2 Zvýraznění obrazu	15
2.3 Klasifikace	16
2.4 Postklasifikační úpravy	16
2.5 Interpretace a prezentace výsledků	16
3 Monitoring krajiny	17
4 Bezpilotní prostředky	18
4.1 UAV platformy	18
4.2 UAV fotogrammetrie	19
4.3 Specifikace vybraných UAV	19
5 Infračervená část spektra	21
5.1 Historie infračerveného záření	22
5.2 Využití infračerveného záření	22
5.3 Termokamera	23
5.4 Konstrukce termokamery	23
5.4.1 Optika	23
5.4.2 Detektor	24
5.4.3 Elektronika pro zpracování a prezentaci obrazu	24
5.5 Fotografování v blízké IR oblasti	24
5.6 Fotografování v daleké IR oblasti	25
6 Současný stav řešené problematiky	26
7 Charakteristika zájmového území	29

8	Využití termálních snímků při studiu rybníka Skříň.....	31
9	Příprava dat.....	31
10	Zpracování dat	34
11	Vizualizace dat	43
12	Interpretace dat.....	47
	Závěr	49
	Použitá literatura	50
	Přílohy	55

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Rozsah elektromagnetického spektra (Zdroj: (Thierry Courvoisier, ©2019)) ...	21
Obrázek 2 Princip snímání vlastního tepelného záření v daleké IR oblasti (Zdroj: (Dzik, 2003)).....	25
Obrázek 3 Zájmové území (Zdroj: vlastní zpracování)	29
Obrázek 4 Postup zpracování studie (Zdroj: vlastní zpracování)	31
Obrázek 5 Tarot 690 s kamerou FLIR Duo R (Zdroj: vlastní zpracování).....	31
Obrázek 6 Termální snímek člověka pořízený kamerou FLIR Duo R (Zdroj: vlastní zpracování).....	32
Obrázek 7 Softwarové prostředí FLIR Tools (Zdroj: vlastní zpracování).....	32
Obrázek 8 Snímek v IR a viditelném spektru (Zdroj: vlastní zpracování)	33
Obrázek 9 Softwarové prostředí Image Composite Editor (Zdroj: vlastní zpracování)	34
Obrázek 10 Zájmové území v programu Image Composite Editor (Zdroj: vlastní zpracování)	35
Obrázek 11 Mozaika prvního letu (Zdroj: vlastní zpracování).....	35
Obrázek 12 Zájmové území prvního snímkování v programu Image Composite Editor (Zdroj: vlastní zpracování).....	36
Obrázek 13 Softwarové prostředí PTGui (Zdroj: vlastní zpracování).....	36
Obrázek 14 Zájmové území prvního letu v programu PTGui (Zdroj: vlastní zpracování).....	37
Obrázek 15 Termální mozaika prvního letu v programu PTGui (Zdroj: vlastní zpracování)	38
Obrázek 16 Termální mozaika druhého letu v programu PTGui (Zdroj: vlastní zpracování)	38
Obrázek 17 Termální mozaika třetího letu v programu PTGui (Zdroj: vlastní zpracování).....	39
Obrázek 18 Upravený termální snímek (Zdroj: vlastní zpracování).....	40
Obrázek 19 Upravená termální mozaika prvního letu v programu PTGui (Zdroj: vlastní zpracování).....	40
Obrázek 20 Upravená termální mozaika druhého letu v programu PTGui (Zdroj: vlastní zpracování).....	41
Obrázek 21 Upravená termální mozaika třetího letu v programu PTGui (Zdroj: vlastní zpracování).....	41
Obrázek 22 Mozaika ve viditelném spektru z videa (Zdroj: vlastní zpracování)	42
Obrázek 23 Vizualizace prvního letu z 15 m (Zdroj: vlastní zpracování)	43

Obrázek 24 Vizualizace druhého letu z 15 m (Zdroj: vlastní zpracování)	43
Obrázek 25 Vizualizace třetího letu z 11 m (Zdroj: vlastní zpracování)	43
Obrázek 26 Vizualizace snímku vyříznutého z videa 19. října 2018 (Zdroj: vlastní zpracování)	44
Obrázek 27 Vizualizace druhého snímku vyříznutého z videa 19. října 2018 (Zdroj: vlastní zpracování)	44
Obrázek 28 Vizualizace prvního snímku ze dne 23. listopadu 2018 (Zdroj: vlastní zpracování)	45
Obrázek 29 Vizualizace druhého snímku ze dne 23. listopadu 2018 (Zdroj: vlastní zpracování)	45
Obrázek 30 Vizualizace třetího snímku vyříznutého z videa 19. října 2018 (Zdroj: vlastní zpracování)	46
Obrázek 31 Vizualizace třetího snímku ze dne 23. listopadu 2018 z prvního letu (Zdroj: vlastní zpracování)	46
Obrázek 32 Vizualizace třetího snímku ze dne 23. listopadu 2019 ze třetího letu (Zdroj: vlastní zpracování)	46

SEZNAM ZKRATEK

DPZ	Dálkový průzkum Země
FIR	Far InfraRed
FOV	Field of view
GIS	Geografický informační systém
IR	InfraRed
MIR	Mid InfraRed
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIR	Near InfraRed
OS	Operační systém
UAS	Unmanned Aerial System
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UV	Ultraviolet

ÚVOD

Dálkový průzkum Země se zabývá pořizováním a sběrem družicových a leteckých snímků a s nimi spojenými operacemi, jako je jejich zpracování a analýza. DPZ nachází využití v mnoha oborech lidské činnosti. Setkáváme se s ním v mapování, v krizovém řízení, zemědělství, využívá se ke klasifikaci krajinného pokryvu a je zastoupen v mnoha dalších oblastech. V rámci DPZ se nevyužívají pouze snímky ve viditelné části elektromagnetického spektra, ale jsou zde zastoupeny i multispektrální snímky. V dálkovém průzkumu Země se tedy setkáváme kromě viditelného záření s ultrafialovým, mikrovlnným, infračerveným a tepelným zářením. Termální data mají svoje využití i ve výše zmíněném krizovém řízení, kde se používají například pro detekci a monitoring lesních požárů nebo k vyhledávání ztracených osob. Dalším z mnoha využití termálních dat je monitorování povrchových teplot.

V poslední době zažilo velký rozmach snímkování za pomoci bezpilotních prostředků neboli UAV. Především se jedná o rozmach multirotorových systémů, které jsou většinou známé pod pojmem dron. Snímkování pomocí UAV přináší i některé výhody. Je možné snímat menší oblast s větším detailem, bezpilotní prostředky dokáží snímat místa, kam by se sám člověk nedostal. Jedná se o platformu s poměrně snadnou ovladatelností a jsou to finančně dostupnější platformy. Snímkování pomocí UAV je stále mladá a značně dynamická oblast. A proto na toto téma vzniká mnoho prací.

Cílem této bakalářské práce je využití termálních dat pro monitoring krajiny vybraného zájmového území. V první části práce jsou objasněny a vysvětleny pojmy dálkový průzkum Země, digitální zpracování obrazu, monitoring krajiny, bezpilotní prostředky, infračervená část elektromagnetického spektra a funkce termokamery. Dále se práce zaměřuje na současný stav řešené problematiky a charakteristiku rybníka Skříň, který představuje zájmové území této práce. Druhá část bakalářské práce je zaměřena na přípravu, zpracování, vizualizaci a interpretaci nasnímaných termálních dat.

1 DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ

Dálkový průzkum Země (DPZ) lze definovat jako metodu, s jejíž pomocí získáváme informace o objektech a jevech bezkontaktními metodami. Využívá řadu metod a různých technologií pro získání kvantitativních a kvalitativních informací o těchto jevech a vlivu na jejich okolí (Halounová, Pavelka, 2005, s. 1). Bezkontaktními metodami rozumíme zařízení, která jsou nad povrchem Země. Mohou jimi být drony, letadla, družice nebo jiná zařízení.

Dle Halounové a Pavelky (2005, s. 1) je existence této metody založena na přenosu informací pomocí elektromagnetického záření, přičemž dané využívané elektromagnetické záření tvoří jen omezenou část známého rozsahu elektromagnetického záření. Metoda dálkového průzkumu má mnoho využití. Je využívána například v astronomii, geofyzice, ale i jiných oborech. Výsledky dálkového průzkumu pak mohou být využívány v řadě různých oborů, jako je geodézie, mapování, zemědělství, archeologie. Patří sem i všechny oblasti, které se zabývají časovými změnami na zemském povrchu.

Pro dálkový průzkum Země existuje řada definic. Podle Lillesanda, Kiefera a Chipmana (2008) je dálkový průzkum věda a umění získávat informace o objektech, oblastech nebo jevech prostřednictvím analýzy dat získaných zařízením, které není v kontaktu s oblastí nebo zkoumaným jevem. Dle Svatoňové a Lauermannova (2010, s. 7) je DPZ definován jako zkoumání, měření a zobrazování objektů a jevů v krajinné sféře bez přímého fyzického kontaktu s nimi. Článek Highlight Article Definitions of „Remote Sensing“ (Alfröldi, 1993) shrnuje některé definice. Bob Ryerson definuje DPZ jako skupinu technik, zabývajících se pořizováním snímků a jiných forem dat pořízených měřeními na dálku, zpracováním a analýz těchto dat. Dle Andrewa Bashfielda je dálkový průzkum nejdražší způsob, jak udělat obrázek. A Jon Huntington definuje dálkový průzkum jako umění rozdělit svět do malých barevných čtverečků, se kterými si jde hrát na počítači, a tak dosáhnout jejich neuvěřitelného potenciálu.

Jedním z možných dělení dálkového průzkumu Země je rozdělení na metody konvenční a nekonvenční, jak uvádí Dobrovolný (1998, s. 9). Konvenční metoda využívá fotografické snímky z družicových a leteckých nosičů. Tyto snímky jsou pořizovány centrální projekcí a jejich obraz vzniká v jediném okamžiku. Fotografické snímky jsou interpretovány v analogové formě. K výhodám patří možnost zachytit značný detail, i když jejich kvalita závisí na technických parametrech objektivu fotografické komory (Svatoňová, Lauermann, 2010, s. 16). To značí i objekty, které jsou okem nepostřehnutelné. Dají se však pořizovat v úzkém intervalu vlnových délek. Další výhodou je využití ve fotogrammetrii k vytváření přesných topografických map velkých měřítek, sestavování digitálního modelu terénu. Nekonvenční metody jsou

metody, při kterých snímky vznikají postupně, tzv. řádkováním, s využitím radiometrů a skenerů. Skenery snímají zemský povrch postupně po úzkých řádcích. Tento záznam je v digitální podobě a díky jinému pořízení má odlišné zkreslení v porovnání s fotografiemi. Vyznačuje se menším prostorovým detailem, ale může být pořizován v široké části elektromagnetického spektra (Halounová, Pavelka, 2005 s. 3, Dobrovolný, 1998 s. 8). Dalším z možných dělení je rozdělení dle elektromagnetického záření na systémy pasivní. Tyto systémy snímají elektromagnetické záření, které se odráží od zemského povrchu. Zdrojem záření je Země nebo Slunce. Příkladem nepřímé metody je termovize. Dále existují aktivní systémy, které mají vlastní zdroj záření, který vysílají k Zemi, a poté snímají jeho odraz. Mezi přímé systémy můžeme zahrnout radar nebo lidar.

2 DIGITÁLNÍ ZPRACOVÁNÍ OBRAZU

Dobrovolný (1998, s. 105) datuje počátky digitálního zpracování obrazu k první polovině 70. let dvacátého století. K tomu ho vedly dvě skutečnosti: rozvoj výpočetní techniky a dostupnost digitálních dat poskytovaných družicemi LANDSAT. Číslicová forma uložení obrazové informace a možnost výpočetní techniky umožnily zautomatizování řady postupů a urychlení výpočetních postupů. To vedlo ke zvýšení přesnosti a snížení nákladů. S rozvojem geoinformačních technologií, GIS, se obrazové materiály z DPZ stávají nejdůležitějším zdrojem pro různé prostorové analýzy.

Digitální zpracování obrazu můžeme rozdělit do čtyř typů operací. A to na předzpracování obrazu, zvýraznění obrazu, klasifikaci a postklasifikační úpravy (Kolář, Halounová, Pavelka, 1997, s. 89-90).

2.1 Předzpracování obrazu

Účelem předzpracování obrazu je odstranění chyb, které vznikají při pořizování fotografických snímků anebo při vytváření skenovaných obrazových záznamů. Může se jednat o chyby systematické neboli opakovatelné, které jsou způsobeny rotací či zakřivením Země, změnou výšky nebo změnou polohy nosiče. Také se mohou objevit chyby náhodné (Dobrovolný, 1998, s. 108). Náhodné chyby představují šumy. K odstranění, či potlačení těchto chyb a nepřesností využíváme geometrické, radiometrické a atmosférické korekce. (Kolář, Halounová, Pavelka, 1997, s. 90)

2.2 Zvýraznění obrazu

Zvýrazněním obrazu je možné docílit úprav ke zvýšení množství informace, kterou můžeme z dat získat. Existuje mnoho technik a algoritmů, které slouží k úpravě vzhledu snímků a k usnadnění jejich vizuální interpretace (Lillesand, 2008). Dobrovolný (1998, s. 121) uvádí, že k digitálnímu zvýraznění se používá radiometrické, prostorové a spektrální zvýraznění. První dvě skupiny (radiometrické, prostorové) pracují na rozdíl od třetí (spektrální) pouze s jedním spektrálním pásmem.

2.3 Klasifikace

Podle Koláře, Halounové a Pavelky (1997, s. 116-128) se jedná o proces, ve kterém se jednotlivé objekty zařazují do kategorií dle určitého klasifikátoru. Klasifikátorem se rozumí určitá rozhodovací pravidla. Rozlišujeme dva typy klasifikace, a to klasifikaci řízenou a neřízenou. Při řízené klasifikaci je třeba definovat výběr trénovacích ploch. Ty představují jednotlivé třídy. Klasifikátor dále vyhledá podobné pixely a zařadí je do tříd. Při neřízené klasifikaci se určí minimální a maximální počet shluků, do kterých chceme klasifikovat, a počet opakování algoritmu k co nejpřesnějšímu výsledku. Klasifikace je založena na tom, že se jednotlivé pixely budou shlukovat podle stejných nebo podobných ploch.

2.4 Postklasifikační úpravy

Kolář, Halounová a Pavelka (1997, s. 128-129) dále uvádí, že k postklasifikačním úpravám se používá postklasifikační filtr, který je založen na logických operátorech. Jednou z možností je majoritní filtr. Pracuje na takovém principu, že přechází přes klasifikovaná data, u kterých je určena majoritní třída. Pokud procházený pixel nemá hodnotu majoritní třídy, změní se jeho hodnota na majoritní.

2.5 Interpretace a prezentace výsledků

V dnešní době převládá počítačová interpretace. Uživatel může využívat mnoho digitálních mapových podkladů na různých softwarových prostředcích. Je vhodné, aby softwarové prostředí obsahovalo některé nástroje pro interaktivní práci s obrazovými daty. Může se jednat o úpravu jasu a kontrastu, zoom, změnu barevné kombinace apod. Výsledky interpretace se většinou ukládají do samostatných vektorových vrstev. Tyto vrstvy se mohou stát součástí databáze GIS a mohou být použity v dalších analýzách a modelech. Nebo se mohou objevit v tvorbě tematických map. Kromě digitálních interpretačních postupů zde existují také postupy standardní, analogové. Využívají se v situacích, kdy není práce na počítačích možná, nebo pokud není efektivní. Může se jednat o práci v terénu. Výsledky interpretace bývají zpravidla zakreslovány přímo do tištěných map. (Gisat, 2015)

3 MONITORING KRAJINY

Krajina má mnoho různých definic. Lokoč a Lokočová (2010) krajinu chápou jako strukturovaný organismus, který je ovládaný a spoluvytvářený. Krajinu formulují přírodní a kulturní procesy, které se navzájem ovlivňují, ale jsou na sobě nezávislé. Je proto nutné vnímat změny v krajině v důsledku vývoje společnosti, stavebním vývojem, rozvojem průmyslu a zemědělství. Zákon o ochraně přírody a krajiny (ČESKO, Zákon č. 114/1992 Sb., O ochraně přírody a krajiny) definuje krajinu jako: „*část zemského povrchu s charakteristickým reliéfem, tvořenou souborem funkčně propojených ekosystémů a civilizačních prvků.*“ Dle Evropské úmluvy o krajině (Evropská úmluva o krajině, 2000) lze krajinu popsat jako: „*část území, tak jak je vnímána lidmi, jejíž charakter je výsledkem činnosti a vzájemného působení přírodních nebo lidských faktorů.*“

Je tedy patrné, že krajina je otevřený systém, který je výsledkem působení přírodních faktorů a zásahů člověka. Přírodní činitelé na krajinu působí od nepaměti a jedná se většinou o dlouhodobé procesy. Kdežto zásah člověka působí na rozdíl od přírody velmi rychle. V rámci sledování změn převážně sledujeme změny způsobené lidskou činností. Především se jedná o změny vzhledu a struktury krajiny způsobené výstavbou, povrchovou těžbou či kácením lesů. Sledování změn v krajině je založeno na sledování jednotlivých složek, jejich zastoupení a sledování dynamiky. Tím se myslí ústup, rozšíření, nebo zmenšení. Změnou krajiny se mění její charakteristiky a vlastnosti, ať už krajinná struktura, biodiverzita, typ krajiny či její ráz (Lipský, 2010). Využívání krajiny se nejlépe monitoruje pomocí družicových nebo leteckých snímků, které pomocí časové řady zobrazují změny dané krajinné struktury.

Sedlářiková a Mulková (2008) uvádí, že jednou z možností, jak znázornit sledování změn v krajině, je využití kartografických metod. Mohou jimi být kartogramy i kartodiagramy. Využívají se pro znázornění kvantitativních změn v krajině. Kvalitativní změny se dají vyjádřit pomocí barev a rastrů pro jednotlivé krajinné pokryvy. Vizualizace změn sleduje časovou a prostorovou dynamiku. Další možnou prezentací jsou tabulky a grafy.

4 BEZPILOTNÍ PROSTŘEDKY

UAV (Unmanned Aerial Vehicle) neboli bezpilotní letoun je letoun bez posádky, který může být řízen na dálku nebo může létat samostatně pomocí předem naprogramovaných letových plánů či dynamických autonomních systémů.

Úřad pro civilní letectví (Úřad pro civilní letectví, 2013) definuje UAV jako letadlo provozované bez pilota (může být součástí bezpilotního systému). V rámci legislativního rámce České republiky se za bezpilotní letadla považují všechna bezpilotní letadla s výjimkou modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nepřesahující 20 kg. Dále Úřad pro civilní letectví definuje UAS (Unmanned Aerial System) neboli bezpilotní systém. Je to systém, který obsahuje bezpilotní letoun, řídicí stanici a další prvky potřebné k umožnění letu. Těmito prvky může být komunikační spojení či například zařízení pro vypuštění a bezpečný návrat letounu.

I když se může zdát, že bezpilotní letouny s námi nejsou moc dlouho, není tomu tak. UAV má poměrně dlouhou a bohatou historii. První použití bezpilotního „letounu“ se datuje do 19. století. Přesněji do roku 1849, kdy rakouská armáda použila balóny s výbušninami k útoku na Benátky (Justin F., © 2014–2019). I nadále je historie spjata s vojenstvím. Koncem první světové války vzniklo první letadlo s autopilotem schopné shazovat bomby. Od té doby výzkum a vývoj neustal. Přední využití UAV našlo především ve vojenském sektoru, ať už k průzkumu území nebo k bombardování cílů (Vyas, 2018). Až začátkem roku 2016 se UAV začaly objevovat v komerční zóně. A to především ke kontrolám potrubí nebo k postřikům polí pesticidy (Justin F., © 2014–2019). Dnes jsou drony všude kolem nás a mají mnoho využití. Dají se používat ke kontrolám úniků tepla, k hledání osob, monitorování území. Mají uplatnění v archeologii, ve stavebnictví, ale jsou využívány i k rekreaci.

4.1 UAV platformy

UAV platformy lze dělit dle mnoha kritérií. Těmito kritérii mohou být výdrž, dosah, velikost, nosnost a mnoho dalších. Nejdůležitějším kritériem, které rozhoduje o UAV, je, zda se jedná o motorový či nemotorový model. Motorový model se dále rozlišuje na UAV se spalovacím motorem. Zde se může jednat o vzducholodě, rogallo, letadlo s fixním křídlem a vrtulník nebo UAV poháněné elektromotorem. Tyto UAV představují vzducholodě, letadla s fixními křídly, vrtulníky a multikoptéry. Nemotorové modely můžeme dělit podle závislosti na povětrnostních podmínkách, tím myslíme, jestli se jedná o draky nebo o platformy, které jsou ve vzduchu udržovány nějakou směsí, ať už se jedná o horký vzduch, vodík či hélium. Jedná se především o balóny a vzducholodě (Miřijovský, 2013, s. 19-22). Dalším možným dělením UAV

je účel použití. Může se jednat o UAV civilní pro rekreační a komerční činnosti nebo UAV vojenské, které slouží nejen k průzkumu a transportu, ale mají i bojové využití.

4.2 UAV fotogrammetrie

Eisenbeiss (2009, s. 2) popisuje UAV fotogrammetrii jako platformu, která je řízená dálkově, poloautonomně nebo autonomně bez pilota a je osazena kamerou, termální nebo infračervenou kamerou, lidarem nebo jejich kombinací. UAV fotogrammetrii můžeme chápat jako nástroj, který umožňuje kombinaci mezi pozemní a leteckou fotogrammetrií, s čímž souvisí vysoký detail snímků. Výhodami použití UAV je jejich cena, náklady na provoz, ale i velikost. Nevýhodami použití UAV ve fotogrammetrii je jejich slabá nosnost, délka doletu a trvání letu, které je ovlivněno kapacitou baterie, jestliže se jedná o platformu s elektromotorem.

Verhoeven (2009) uvádí, že první zmínka o využití fotogrammetrie pomocí UAV pochází z Paříže z roku 1858, kdy Gaspard-Félix Tournachon pořídil fotografii z horkovzdušného balónu ve výšce 80 m. Koncem 19. století se jako nosiče fotoaparátů přidávají draci. Využil jich kupříkladu anglický meteorolog E. D. Archibald, který v roce 1882 připevnil fotoaparát na draka. Další metody přicházely postupně s technologickým pokrokem, a především s rozvojem letectví. Eisenbeiss (2004) uvádí, že v roce 1979 byl proveden první experiment s použitím modelu letadla a snímkování. Przybilla a Wester-Ebbinghaus použili 3 metry dlouhý model letadla s rozpětím křídel 2,6 m a nosností maximálně 3 kg. Snímkování bylo provedeno ve výšce 150 metrů za rychlosti 40 km/h. Účelem tohoto snímkování bylo pořídit snímky archeologického naleziště. O rok později proběhl pokus s modelem vrtulníku, který byl upraven o závěs na kameru. V současnosti se do popředí dostávají multivrtulorové systémy.

4.3 Specifikace vybraných UAV

V současné době má Ústav systémového inženýrství a informatiky Fakulty ekonomicko-správní Univerzity Pardubice v držení čtyři drony. Jedná se o UAV DJI Spark, Phantom 2, Phantom 3 a Tarot 690.

DJI Spark (DJI, © 2019a) se svou váhou 300 g a rozměry 143×143×55 mm je nejmenším zastoupeným dronem. Je osazen baterií 1 480 mAh LiPo 3S, která umožňuje délku letu zhruba 15 minut. Ve sportovním módu dokáže dosáhnout rychlosti až 14 m/s. Rychlost stoupání a klesání je stanovena na 3 m/s.

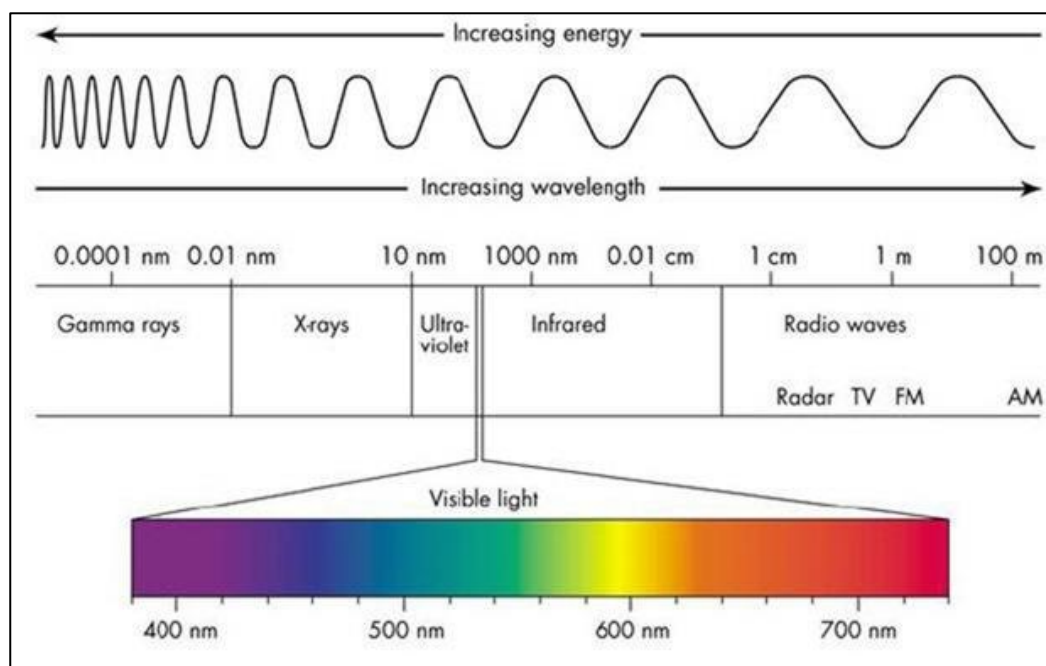
Phantom 2 (DJI, © 2019b) je kvadrokoptéra vážící 1 kg, která je nabíjena baterií 5 200 mAh LiPo. Tato baterie zajišťuje dobu letu na cca 20 minut. Vše záleží na povětrnostních podmínkách a agresivitě létání. Phantom 2 dokáže dosáhnout maximální rychlosti 15 m/s. Jeho maximální rychlost stoupání je 6 m/s a klesání 2 m/s. Dosah vysílače je stanoven na 500 metrů a dosah přenosu videa na 300 m.

Phantom 3 je novější verze dronu Phantom 2, která má několik odlišností. První změnou je váha, která je na rozdíl od 1 kg zvýšena na 1,2 kg. Dalším rozdílem je baterie. Zde se nachází 4 480 mAh LiPo 4S, se kterou UAV vydrží ve vzduchu cca 23 minut. Dle stránek společnosti DJI (DJI, © 2019c) je zvýšena maximální rychlost na 16 m/s a maximální rychlost stoupání a klesání na 5 respektive 3 m/s. V rámci novější verze je zvýšen i dosah vysílače.

Zástupcem hexakoptér je RC Tarot 690. Jedná se o šestirotorový bezpilotní systém se základnou z uhlíkových vláken. Délka letu je cca 25 minut a maximální rychlost je stanovena na 19 m/s. (Petr, 2016)

5 INFRAČERVENÁ ČÁST SPEKTRA

Elektromagnetické spektrum neboli Maxwellova duha zahrnuje celý rozsah elektromagnetického záření, které se dá rozdělit do oblastí dle frekvence a vlnové délky. Frekvence značí, kolikrát vlna kmitne za jednu sekundu, kdežto rozsah záření udává vzdálenost mezi dvěma vrcholy vlny. Přechod z jednoho druhu záření na druhý je zcela plynulý a některé přechody se dokonce překrývají. Záření, které jsme schopni lidským okem vidět, se nazývá viditelné spektrum. Nachází se mezi UV a IR zářením. Maxwellova duha se skládá z gama záření, rentgenového záření, ultrafialového záření, viditelného záření, infračerveného záření, mikrovlnného záření a radiového záření. V dálkovém průzkumu se především používá viditelné, infračervené a mikrovlnné záření (Kolář, 1990, s. 16). Rozsah elektromagnetického spektra je vidět na příloženém obrázku.



Obrázek 1 Rozsah elektromagnetického spektra (Zdroj: (Thierry Courvoisier, ©2019))

Infračervené záření, původně infra-red, které pochází z latiny a znamená „pod červenou“ je část elektromagnetického spektra s vlnovou délkou menší než mikrovlnné záření, ale větší než viditelné světlo. Jedná se o vlnění s vlnovou délkou mezi 760 nm a 1 mm. Vlnová délka záření je závislá na teplotě tělesa. Platí, že čím je těleso teplejší, tím se vlnová délka zkracuje. IR záření se dělí na jednotlivá pásma. Kolář (1990, s. 16) rozdělil oblasti infračerveného záření na blízké, střední a daleké. Blízké infračervené záření má vlnový rozsah 0,72 až 1,3 mikrometrů, střední 1,3 až 4,0 μm a daleké 4,0 až 15,0 μm .

Dalším možným rozdělením je dělení na tři pásma, kde se první NIR (Near InfraRed) neboli blízké infračervené, rozkládá na vlnové délce od 700 nm do 1,4 μm . Dalším pásmem je MIR (Mid InfraRed). Střední infračervené pásmo má vlnový rozsah od 1,4 do 3 μm . Třetím pásmem je vzdálené infračervené FIR (Far InfraRed). Zde je vlnový rozsah od 3 do 14 μm . Dále pokračuje zbytek FIR až do 1 mm (Espinosa-Duró, Faundez-Zanuy, Mekyska, 2011). Jak je z těchto rozdělení vidět rozsah hranic jednotlivých oblastí infračerveného záření není jednoznačně určen a může se v jednotlivých publikacích lišit.

5.1 Historie infračerveného záření

Objevitelem infračerveného záření se stal William Herschel (1738–1822). Tento německý astronom a hudebník se proslavil především objevem planety Uran v roce 1781. O několik let později, v roce 1800, zkoumal sluneční spektrum rozkladem světla na optickém hranolu (Theophanides, 2012). V rámci tohoto průzkumu měřil teplotu v jednotlivých barvách pomocí rtuťového teploměru. Při měření jednotlivých teplot fialového, modrého, zeleného, žlutého, oranžového a červeného světla si všiml, že mají jednotlivé barvy větší teplotu než předchozí. Po tomto zjištění se rozhodl změřit teplotu za hranicí červeného světla a ke svému překvapení zjistil, že tato oblast má největší teplotu ze všech měřených. V důsledku tohoto experimentu usoudil, že našel oblast neviditelného záření, kterým bylo záření infračervené. (Cool Cosmos, 2013)

5.2 Využití infračerveného záření

Infračervené záření vyzařují všechna tělesa, ať už se jedná o lidské tělo či Slunce, ale s rozdílnou vlnovou délkou. Lidské oko není schopno infračervené záření zachytit, ale lidské tělo ho dokáže vnímat jako tepelný vjem, jelikož v místě záření pocítíme pocit tepla a pálení. Jelikož pro infračervené záření platí stejné fyzikální zákony jako pro světlo, je možné vytvářet optické soustavy. Díky nim se dají sestavit dalekohledy, fotoaparáty, kamery s možností využití vlastností infračerveného záření, jako je například procházení tmou a mlhou, nebo zachytávání záření vyzařovaného z těles pro bezkontaktní určení jejich teploty. Jedno z dalších uplatnění, kde se našlo uplatnění infračerveného záření, je elektronika využívaná pro přenos informací na krátkou vzdálenost. Příkladem může být infraport v mobilních telefonech či ovládací zařízení k TV. IR záření se používá v oboru nedestruktivní defektoskopie pro kontrolu strojních dílů. Ve stavebnictví se využívá ke kontrole úniků tepla obvodových

plášťů. Ve formě termogramu se s ním setkáváme také v lékařství (Hlaváčová, 2011). Infračervené záření našlo uplatnění i v chemii, a to jako obor infračervené spektrometrie, která slouží k rozpoznávání chemických látek díky rozdílnému pohlcování IR záření chemickými vazbami. S využitím IR záření se můžeme setkat při procesech ohřevu a sušení. Významným uplatněním pro IR záření je armádní sektor. Zde se setkáváme s přístroji pro noční vidění nebo tepelně naváděnými raketami. Dnes se můžeme s touto technologií nejčastěji setkat u bezpečnostních a senzorických systémů. (Brabec, Bartůněk, 2012)

5.3 Termokamera

Po nedlouhé době, co bylo objeveno infračervené záření, se lidé pokoušeli o jeho vizualizaci a zachycení, tím se myslí tedy jeho převedení na obrazový, okem viditelný signál. K tomuto účelu slouží termokamery. Problém vizualizace a zachycení se dá řešit dvěma způsoby (Hlaváčová, 2011). Za prvé se buď snímá vyzařování infračervených paprsků přímo z povrchu samotného objektu, který je středem našeho zájmu. Druhou možností je snímat odražené záření z povrchu objektu, kterému je tepelná energie dodávána z jiného zdroje. Tímto zdrojem mohou být infrazářiče, halogenové výbojky, lasery, lampy atd. Převáděním vyzařovaného nebo odraženého IR záření na obrazový signál nebo záznam se zabývá termografie. Podobným odvětvím jako termografie je pyrometrie. Ta se zabývá bezdotykovým měřením teplot. Právě pro tyto dvě odvětví má termokamera svoje využití, a to díky zaznamenávání obrazu a určení jeho povrchové teploty.

5.4 Konstrukce termokamery

Konstrukce termokamery se podobá klasickým kamerám či fotoaparátům. Skládá se ze tří nejdůležitějších částí, kterými jsou optika, detektor a elektronika pro zpracování a prezentaci obrazu.

5.4.1 Optika

Jak už bylo zmíněno, termokamery jsou navrženy obdobně jako klasické videokamery. Důvodem je, že pro infračervené záření platí stejné fyzikální zákony jako pro viditelné světlo. Rozdílný je průchod IR záření optickou čočkou klasické videokamery. Proto se v současnosti používá spojka z germánia bez možnosti optického zoomu. Navíc je na povrch čočky nanесena antireflexní vrstva, která zvyšuje propustnost infračerveného záření. (Termokamera.cz, 1999)

5.4.2 Detektor

Funkcí detektoru je převádění dopadajícího infračerveného záření na elektrické signály, které jsou dále elektronikou převedeny na výsledný termogram. Rozlišujeme dva typy detektorů, a to tepelné a fotonové.

Termokamera.cz (1999) uvádí, že tepelné detektory jsou využívány ve většině kamer. Využívají převod energie optického záření na energii tepelnou pomocí jejich čidla, které reaguje na zvýšení teploty v důsledku dopadajícího infračerveného záření. Výjimkou jsou nejdražší termokamery, které jsou osazeny fotonovými detektory za účelem zvýšení jejich citlivosti.

Fotonové detektory fungují na principu počítání fotonů, tj. kvant elektronového záření. V porovnání s tepelnými detektory jsou výrazně citlivější, ale vyžadují chlazení. V důsledku toho jsou těžší než tepelné. Rozdílem je spektrální citlivost. Fotonové detektory jsou úzkopásmové a jsou schopny detekovat záření jen v úzkém rozsahu vlnových délek. Tepelné detektory jsou širokopásmové.

5.4.3 Elektronika pro zpracování a prezentaci obrazu

Podle webu Termokamera.cz (1999) je úkolem elektroniky vyhodnocovat elektronické signály z detektoru. Jednotlivá čidla detektoru předávají signál elektronice a ta jej vyhodnocuje. Elektronika dále používá nástroje a algoritmy pro korekci obrazu. Výsledkem je termogram. Termogram je výsledek termografického měření teploty a je složený z pixelů, kde každý jednotlivý pixel odpovídá povrchové teplotě měřeného objektu. Jeho rozlišení je dáno rozlišením detektoru termokamery.

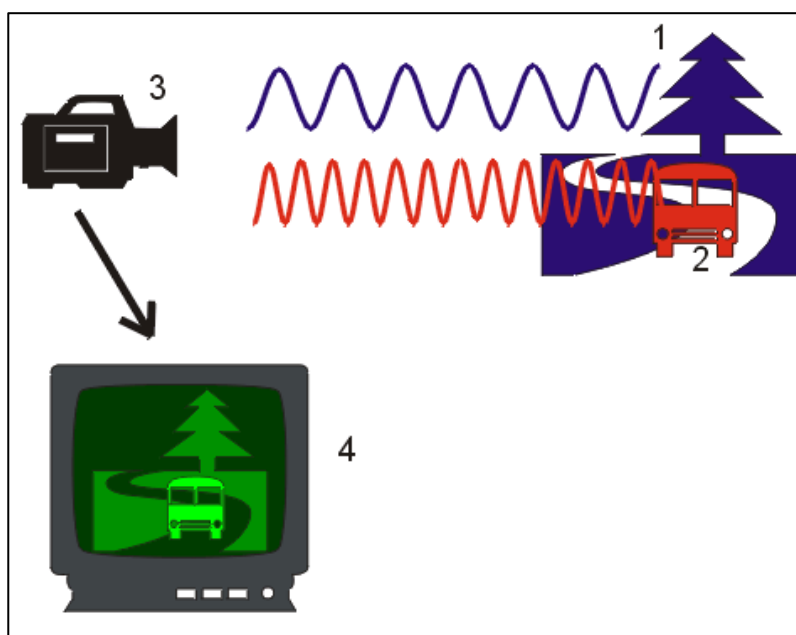
5.5 Fotografování v blízké IR oblasti

Dle Dzika (2003) se jedná o podobný princip jako je fotografování ve viditelném světle. Zde jsou fotografované předměty ozářeny IR zařízením. Předměty odrážejí IR záření v různé míře, z čehož plyne, že získáme obraz ve stupních šedé barvy. Odstín šedé koresponduje s odrazivostí předmětu v infračervené oblasti. Když se snímá scéna ozařuje krátkovlnným IR zářením s vlnovou délkou, která je řádově kratší než vlnová délka vlastního IR záření vydávaného tělesy, nemusí být snímače chlazené. Tento princip se dá popsat tak, že zdroj infračerveného záření ozařuje scénu krátkovlnným zářením s vlnovou délkou blízkou červenému světlu. Snímaný objekt má jistou odrazivost pro IR záření. Odražené záření je modulované odrazivostí snímaného předmětu. Vlnová délka dopadajícího a odraženého záření se nemění. Modulované

záření dopadá na detektor a je vizualizované vyvoláním. Na vyvolaném snímku odpovídá nej-
světlejší hodnota místu, které nejvíce odráží dopadající záření.

5.6 Fotografování v daleké IR oblasti

Při této vizualizaci se zachycuje vlastní IR záření tělesa s vyšší teplotou, než je absolutní nula. To je teoretický stav tělesa, které zastaví svůj pohyb částic, takže z tohoto tělesa už nelze odebírat žádné další teplo. Hodnota absolutní nuly je 0 kelvinů, což je $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Fyzmatik, 2008). Dnešní elektronická zařízení se složitými detektory zachycují vlastní IR záření teplých těles, která převádějí na elektrické signály a většinou je také digitalizují. Aby se snímač nezahřel vlastním tepelným zářením, musí být snímače v těchto zařízeních chlazeny na teplotu nižší, než je teplota objektu, která má být zobrazena. Principem snímání je, že studené pozadí vydává dlouhovlnné IR záření, kdežto o něco teplejší objekt také vydává dlouhovlnné záření, ale s kratší vlnovou délkou. IR kamera je schopna toto záření zachytit a zobrazit ve falešných barvách (Dzik, 2003). Schéma principu je na obrázku 2.



Obrázek 2 Princip snímání vlastního tepelného záření v daleké IR oblasti (Zdroj: (Dzik, 2003))

6 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Termální data mají mnohé využití a na jejich téma bylo napsáno velké množství nejruznějších prací. Zde je výčet prací zabývajících se touto problematikou.

Student univerzity Palackého v Olomouci, Tomáš Purket, napsal v roce 2017 diplomovou práci na téma „*Tvorba termální letecké mozaiky Olomouce*“ (Purket, 2017). Výstupem této práce bylo vytvoření termální mozaiky města Olomouce. K tomu posloužily dvě letecká snímkování, při kterých byly pořízeny tři sady snímků. Při prvním leteckém snímkování v ranních hodinách byla pořízena jedna sada termálních snímků. Při druhém snímkování byly pořízeny dvě sady snímků, a to snímky termální a snímky ve viditelné části elektromagnetického spektra. Souběžně s pořízením leteckých snímků bylo provedeno měření referenční plochy termální kamerou pro vyhodnocení přesnosti, jak zmiňuje autor v kapitole 4.2 Průběh letecké kampaně a referenční měření. K vytvoření mozaiky byl použit software Agisoft PhotoScan Professional. Výsledná mozaika obsahuje místy mezery, které, jak se autor domnívá, vznikly náklonem letadla při snímkování. V rámci porovnání hodnot mozaik a referenčního měření byl zjištěn trend rostoucích teplot pro ranní snímkování a při odpoledním snímkování zase trend klesající teploty. Dále bylo zjištěno, že nepřírozené povrchy, jako např. beton a asfalt, se zahřívají během dne více než povrchy pokryté zelení. Diplomová práce je zde zmíněna, jelikož se zabývá tvorbou termální mozaiky.

Diplomová práce Kácovské (Kácovská, 2017) s názvem „*Termální obraz Přírodního parku Údolí Bystřice*“ se zabývá termálním chováním 34 lokalit. Tyto lokality autorka rozdělila dle charakteru povrchu na povrch s travnatou vegetací, sporou vegetací, lesní porost, urbánní povrchy, vodní plochy a povrchy bez vegetace včetně umělých. V rámci jejího výzkumu v těchto lokalitách proběhla minimálně 3 tepelná měření tepelnou kamerou Fluke, a to v dubnu, srpnu a březnu následujícího roku. Výsledkem této diplomové práce bylo vyhodnocení výsledků snímání termálních záznamů, které byly zpracovány programem SmartView™. Diplomová práce Kácovské se zabývá podobnou problematikou jako tato práce.

Sledováním změn v krajině se zabývá diplomová práce „*Vývoj a predikce krajinných změn třeboňských pískoven*“ Pěchotové (Pěchotová, 2012). V rámci své práce Pěchotová sledovala změnu krajinného krytu pěti pískoven na Třeboňsku v softwarovém prostředí ArcGIS. Využila pro to letecké snímky z let 1952, 1988, 1997, 2004 a 2010. Výsledkem sledování změn zjistila úbytek travnatého porostu v průběhu těžby a zvýšení zastoupení vodních ploch po těžbě. V rámci své práce predikuje budoucí stav v různých variantách obnovy. Svoji práci zakončuje porovnáním termálních projevů krajiny.

Neničková (2012) se ve své diplomové práci s názvem „*Mapování povrchové teploty (LST) základních druhů povrchů*“ snažila vypočítat povrchovou teplotu za využití dat ze satelitů Landsat. Pro svoji práci zvolila dvě časová období, z kterých data zpracovávala. Jednalo se o 7. květen 1986 a 24. květen 2001. Pro základní rozdělení povrchu Neničková použila databázi CORINE Land Cover z roku 2000. Pomocí geografických analýz zjistila, že největší průměrnou teplotu mají zastavěné plochy - skoro 27 °C v roce 1986 a 25 °C v roce 2001. Dále zjistila, že vysoké hodnoty patří orné půdě a naopak nejchladnějším povrchem se staly vodní plochy s 15,5 °C, respektive 15 °C. Práce Neničkové je zmíněna, jelikož se zabývá zpracováním tepelných dat.

V článku „*Combined geomatic and thermal analysis from UAV platforms for archeological heritage documentation*“ (Brumana et al, 2013) se autoři snaží zjistit, zda se dá využít UAV snímání a termální snímkování pro zdokumentování archeologického naleziště. Snímání probíhalo pomocí UAV AscTec Falcon 8 s RGB kamerou Sony NEX-5N a termální kamerou FLIR TAU 640. Jednou z oblastí průzkumu bylo okolí kostela, kde se autorům podařilo odhalit stopy zdi. V druhé oblasti už nezískali žádnou přidanou informaci. Tento článek je zmíněn, jelikož se zabývá stejnou problematikou snímkování pomocí UAV, která je řešena v této práci.

V článku „*Využití dálkového průzkumu Země pro monitoring lesů na Šumavě*“ autor Martin Hais (2009) poukazuje na možnost využití spektrálních projevů, respektive infračerveného spektra, pro sledování změn a srovnání disturbance (narušení systému) lesa. V článku se nejprve zabývá problematikou lýkožrouta smrkového na Šumavě a následného rozpadu smrčín. Dále využitím DPZ pro sledování změn v krajině a v neposlední řadě studuje projevy disturbance lesa ve viditelném, blízkém, středním a vzdáleném IČ spektru. V článku je zmíněna stejná problematika infračerveného spektra, jakou se zaobírá tato práce.

Článek „*Georeferenced thermal infrared images from UAV surveys as a potential tool to detect and characterize shallow cave ducts*“ (Pérez-García et al, 2018) se zaměřuje na možnost využití UAV s termálními kamerami k průzkumu mělkých jeskyní. Jako pilotní oblast tohoto výzkumu byl vybrán skalní masiv Betická Kordillera, jelikož hlavní šachta jeskyně v tomto masivu byla monitorována v různých hloubkách a zaručovala dvě sezónní etapy. Jednou z nich byla stratifikace (členění) vzduchu a teploty v létě a vzestupný proud vzduchu v zimě. Proto bylo možné průzkum provádět při maximálním tepelném kontrastu. Výstupem jsou termální snímky, které odhalují nové výstupy teplého vzduchu kromě známých vstupů do jeskyně. Práce je zmíněna, jelikož je v ní řešena problematika UAV s termálními kamerami.

Studie „*Applications of Low Altitude Remote Sensing in Agriculture upon Farmers' Requests – A case Study in Northeastern Ontario, Canada*“ (Zhang et al, 2014) se zabývá

využitím UAV k získání dat pro kanadské farmáře. Předmětem studie bylo zjištění účinnosti hnojiv, určení drenážních odtoků a zjištění oblastí napadených škůdci. K těmto činnostem byla použita UAV kvadrokoptéra Aeryon Scout od společnosti Aeryon Labs Inc. osazena optickou a infračervenou kamerou. Aeryon Scout dosahuje maximální rychlosti 50 km/h a výdrž baterie je cca 25 minut. Snímkovaná data byla pořízena v prostorovém rozlišení 3,5 a 5 cm z výšky 120 m. Ze snímkování byla vytvořena mozaika v softwarovém prostředí Pix4d Mapper. První část studie, která se zabírala účinností hnojiv, byla zjišťována pomocí snímání pole, které bylo rozděleno na tři části podle použití hnojiv. Na část A bylo použito organické hnojivo, v části C zase konvenční chemické hnojivo. Část pole B byla ošetřena směsí těchto hnojiv. Z porovnání infračervených snímků a vypočteného vegetačního indexu (NDVI) bylo zjištěno, že úsek ošetřený organickým hnojivem byl v IR spektru nejtmavější a vypočtený NDVI index měl nejnižší. Naopak tomu bylo při použití chemického hnojiva. Nicméně autoři studie došli k závěru, že výsledek není statisticky signifikantní. Druhou částí byla identifikace škůdců pomocí infračervených snímků. Zde byly zamořené oblasti jasně detekované a to díky nižší odrazivosti okusovaných plodin. Pro poslední část studie byla vytvořena mozaika, která dokládala umístění vysušených a vlhkých oblastí. Studie byla vybrána, protože řeší problematiku UAV a termálních dat pro sledování území.

7 CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Rybník Skříň je situovaný v Pardubickém kraji v okrese Pardubice. Nachází se 1 km severně od obce Neratov a zhruba 3 km od obce Lázně Bohdaneč. Rybník se rozkládá na ploše 26 ha v nadmořské výšce 224 m n. m. a jeho objem je zhruba 130 000 m³. V těsném sousedství leží rybník Rozhrna, se kterým ho dělí hráz o šířce čtyř metrů osazena staletými duby. Do rybníka Rozhrna, který je níže položený, také zasahuje odtokové vyústění rybníka Skříň. Dle literárních zdrojů se na ostrově rybníka Skříň nalézala tvrz Jílovka, která byla s břehem propojena dřevěným mostem. Tato tvrz byla chráněna valem, palisádou a příkopem. (Okolí města, © 1999-2003)



Obrázek 3 Zájmové území (Zdroj: vlastní zpracování)

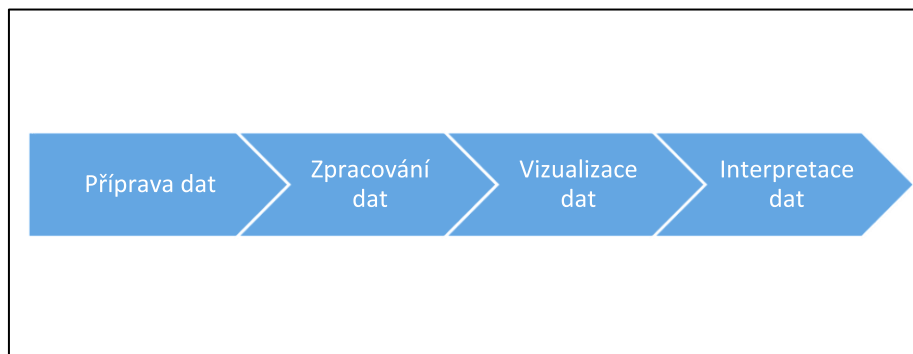
Rybníkářství na Pardubicku svoji historii datuje k jedenáctému století. Jedná se o období po založení Opatovického kláštera, se kterým je spojené vybudování struhy, která napájela rybník o výměře 500 ha. Tento rybník se dnes nazývá Čeperka. Největší rozkvět rybníkářství na Pardubicku byl po husitských válkách, kdy v 15. století Vilém z Pernštejna zrekonstruoval zničené klášterní hospodářství a založil přes 250 rybníků s výměrou přes 7 700 ha. Mezi největší rybníky patřily rybníky Čeperka s 1 200 ha, Opatl s 450 ha a rybníky Rozkoš a Bohda-

nečský s 350 ha. Sláva rybníkářství nemohla trvat věčně. V 18. století v důsledku reforem Marie Terezie a Josefa II byla většina rybníků přeměněna na ornou půdu nebo na místa pro vznik nových obcí. Až na přelomu 19. a 20 století rakouský baron Richard Drasche z Wartinberka skoupil zbytek rybníků (Pavelková Chmelová, Frajer, Netopil, 2014). Jednalo se 21 rybníků, ke kterým později přidal další tak, že obnovil dříve zaniklé. Dnes jsou pozůstatkem Pardubického rybníkářství pouze zmíněný rybník Skříň a dále Bohdanečský, Matka, Rozhrna, Černý, Nadýmač, Sopřečský, Pohránovský, Horní a Dolní Jílovky, Tichý a Trhoňka. (Rybniční hospodářství, © 2019)

V současné době je rybník Skříň ve správě Rybničního hospodářství, s.r.o., Lázně Bohdaneč a využívá se pro chov ryb. Spolu s přilehlými rybníky tvoří ornitologickou oblast vodního ptactva. Po hrázi prochází naučná stezka Pernštejnskými rybníky.

8 VYUŽITÍ TERMÁLNÍCH SNÍMKŮ PŘI STUDIU RYBNÍKA SKŘÍŇ

Zpracování této části práce je rozděleno do několika kroků. Jedná se o přípravu dat, zpracování dat, vizualizaci dat a interpretaci dat.



Obrázek 4 Postup zpracování studie (Zdroj: vlastní zpracování)

9 PŘÍPRAVA DAT

Použitá data byla pořízena pomocí dronu Tarot 690 a kamery FLIR Duo R. Tarot 690 je šestirotorový systém se základnou z uhlíkových vláken se vzletovou hmotností 4,8 kg. Maximální rychlost je stanovena na 70 km/h.



Obrázek 5 Tarot 690 s kamerou FLIR Duo R (Zdroj: vlastní zpracování)

FLIR Duo R je malá kompaktní kamera pro drony s rozměry 41×59×30 mm vážící 84 gramů. Je osazena dvěma senzory pro snímání ve viditelném spektru a pro snímání v termálním spektru. Kamera má pro snímání ve viditelném spektru rozlišení 1 920×1 080 s FOV (zorné pole) 90°. Termální sensor má rozlišení 160×120 s objektivem FOL 9 mm. FOV se liší pro horizontální zorné pole, které je 57° a vertikální zorné pole 44°. Spektrální rozsah náleží mezi 7,5 až 13,5 μm . Přesnost termálního snímání je $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dle specifikace výrobce kamery firmy FLIR (FLIR, © 2019a).



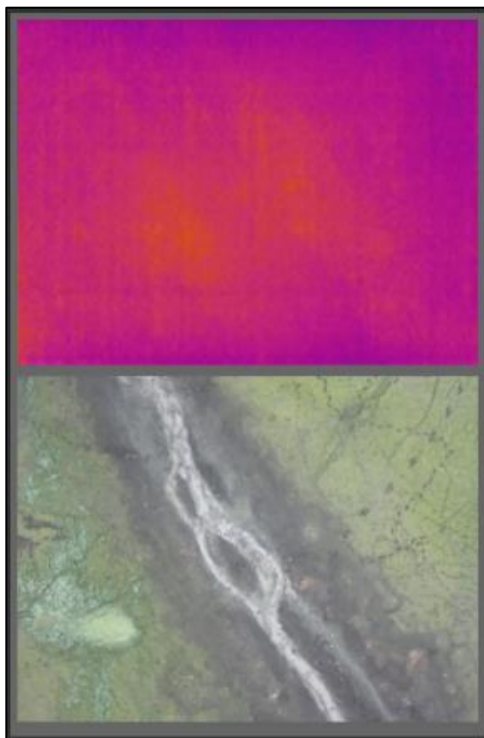
Obrázek 6 Termální snímek člověka pořízený kamerou FLIR Duo R (Zdroj: vlastní zpracování)

V rámci přípravy dat bylo nutné se s daty seznámit. Jednalo se o videa zájmového území ve viditelném a infračerveném spektru ze dne 19. října 2018. A snímky a videa zájmového území ve viditelném a infračerveném spektru pořízené 23. listopadu 2018 z výšky 15 m a 11 m. K prostudování dat pomohl program FLIR Tools (FLIR, © 2019b), což je volně dostupný software pro importování, analyzování a editování termálních dat pořízených za pomoci termálních kamer společnosti FLIR. V programu je možné měnit barevnou paletu snímků, tepelnou úroveň. Dále lze měnit parametry snímků a následně ze snímků vytvářet reporty.



Obrázek 7 Softwarové prostředí FLIR Tools (Zdroj: vlastní zpracování)

Do programu jsou data načítána pomocí funkce „Přidat“, která otevře okno pro vyhledání složky. Po vyhledání umístění složky s daty je třeba výběr potvrdit tlačítkem „OK“. Složka se přidá do seznamu v levé části okna a začnou se automaticky nahrávat jednotlivé snímky, to je značeno snižujícím se číslem vedle nahrané složky. Následně je možné jednotlivé snímky prohlížet po kliknutí na ně. IR snímky a snímky ve viditelném spektru jsou seskupeny, což umožňuje rychlejší orientaci mezi nimi. Termální snímky nesou informaci o svém rozlišení, výšce pořízení, filtru a objektivu, kterým byly pořízeny.

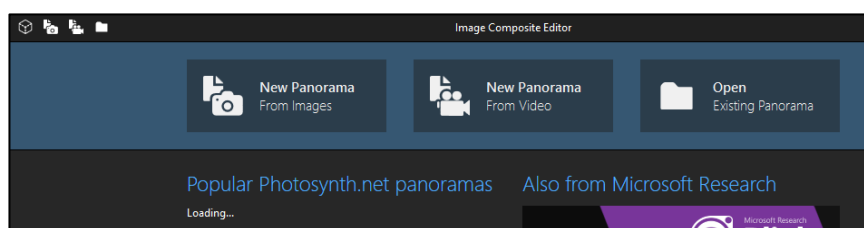


Obrázek 8 Snímek v IR a viditelném spektru (Zdroj: vlastní zpracování)

Tato práce je především zaměřena na práci se snímky. Po prvotním prozkoumání jednotlivých snímků bylo zapotřebí snímky roztrždit. Snímky byly roztrženy do tří skupin podle letu. První dva lety byly snímkovány z výšky 15 m a třetí let z výšky 11 metrů.

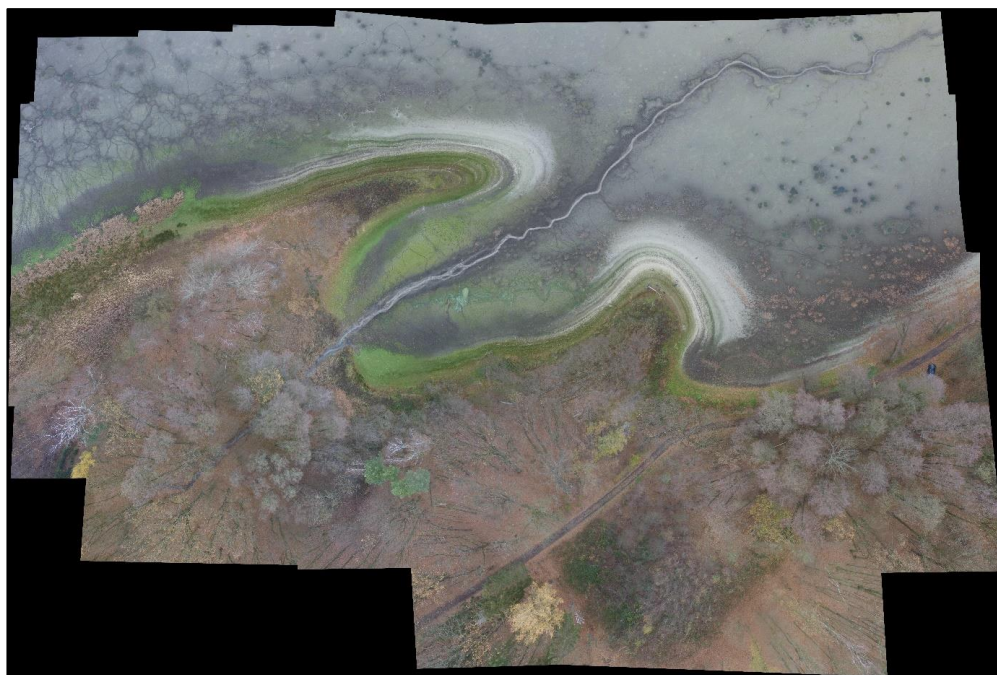
10 ZPRACOVÁNÍ DAT

Pro lepší představu o celkovém přehledu zájmového území byla vytvořena jeho mozaika ze snímků ve viditelném spektru za pomoci programu Image Composite Editor. Je to volně přístupný software od společnosti Microsoft, který slouží k vytváření fotografických panoramat (Microsoft, © 2019). Předností tohoto programu je, že dokáže vytvářet panoramata z videí. Výsledná panoramata mohou být uložena do řady formátů, jako jsou JPEG, PSD, TIFF, PNG a další.



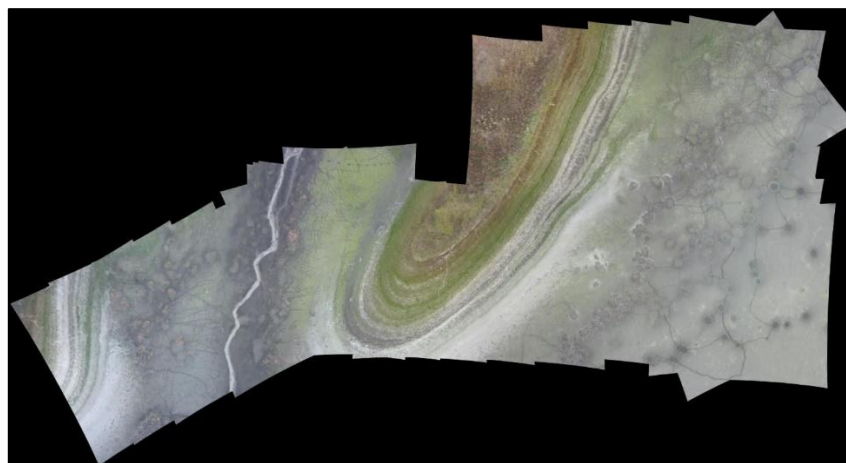
Obrázek 9 Softwarové prostředí Image Composite Editor (Zdroj: vlastní zpracování)

Použitím funkce „New Panorama From images“ se otevře dialogové okno s možností vyhledání obrázků, které budou použity při tvorbě mozaiky. Následná práce v programu Image Composite Editor je velice intuitivní, jelikož je rozdělena na čtyři kroky a to na „Import“, „Stitch“, „Crop“ a „Export“. V rámci prvního kroku „Import“ si lze zvolit mezi funkcí „Simple Panorama“ a „Structured Panorama“. „Simple Panorama“ představuje automatické rozložení snímků pro další krok. Tato volba byla zvolena. Při volbě „Structured Panorama“ lze navolit rozvržení snímků a jejich překrytí ručně. Při následném kroku „Stitch“ dojde ke spojení snímků za pomoci automatického vyhledání kontrolních bodů a následně je možné rotovat výslednou mozaikou. V kroku „Crop“ lze nechat vygenerovat automaticky chybějící části mozaiky. Tento krok nebyl použit, jelikož by vedl ke zkreslení výsledné mozaiky. Poslední krok „Export“ umožňuje měnit velikost a formát výsledné mozaiky. Výsledek zpracování zájmového území v programu Image Composite Editor je vidět níže na obrázku 10.



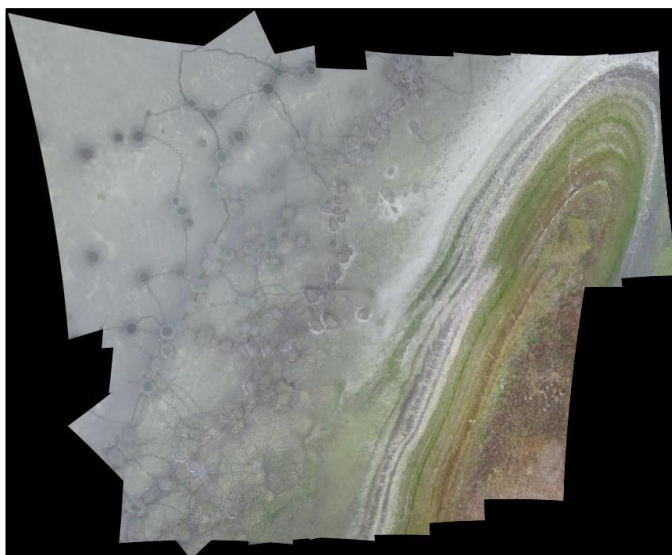
Obrázek 10 Zájmové území v programu Image Composite Editor (Zdroj: vlastní zpracování)

Pro lepší představu o trase snímkování prvního letu, který byl proveden z výšky 15 metrů, byla vytvořena mozaika tohoto letu. Vznikla pomocí programu Image Composite Editor stejným způsobem, jako při vytváření mozaiky zájmového území. Mozaika je vidět na obrázku 11.



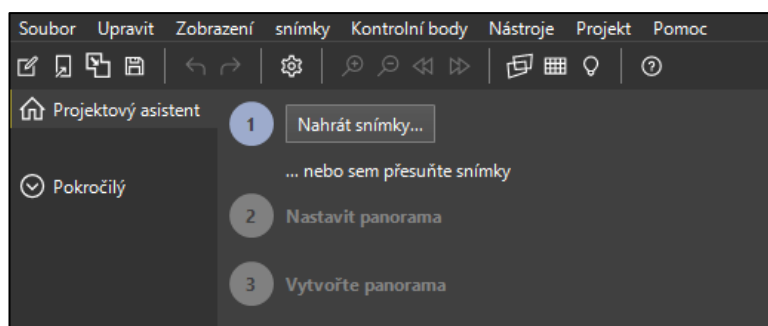
Obrázek 11 Mozaika prvního letu (Zdroj: vlastní zpracování)

K zpracování dílčího zájmového území bylo použito 24 snímků z prvního snímkování. Jednalo se o snímky s rozlišením 320×240. Pomocí programu Image Composite Editor vznikla mozaika prvního snímkování.



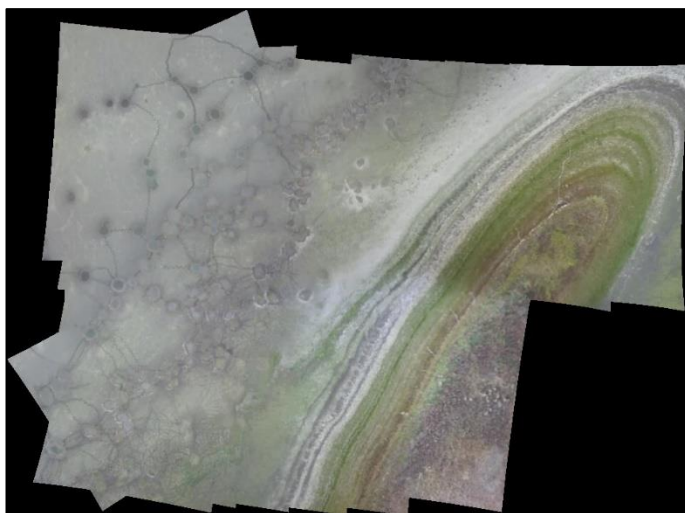
Obrázek 12 Zájmové území prvního snímkování v programu Image Composite Editor (Zdroj: vlastní zpracování)

Pro ověření správnosti sestavení mozaiky bylo vhodné vytvořit mozaiku ze stejných snímků v jiném programu. Příhodným programem byl software PTGui neboli Graphical User Interface for Panorama Tools. PTGui (New House Internet Services B.V., © 2000-2019) je software pro tvorbu panoramat od společnosti New House Internet Services B.V. Software dokáže skládat panoramata automaticky za pomoci kontrolních bodů, které jdou doplňovat nebo editovat. Je tedy možné skládat panoramata zcela ručně bez automatizace.



Obrázek 13 Softwarové prostředí PTGui (Zdroj: vlastní zpracování)

Stejně jako u programu Image Composite Editor zde byla využita možnost automatického skládání snímků. V programu PTGui jsou tři základní kroky a to „Nahrát snímky“, „Nastavit panorama“ a „Vytvořte panorama“. V první části „Nahrát snímky“ po stisknutí této ikony vyběhne dialogové okno s možností výběrem snímku. Dále je třeba zadat základní informace o objektivu kamery. V dalším kroku „Nastavit panorama“ po kliknutí na tlačítko „Zarovnejte snímky“ dojde k automatickému vyhledání kontrolních bodů a složení mozaiky. Při posledním kroku „Vytvořte panorama“ se obdobně jako u předchozího programu volí velikost výsledné mozaiky a její formát. Výsledné panorama z programu PTGui je vidět níže na obrázku 14.

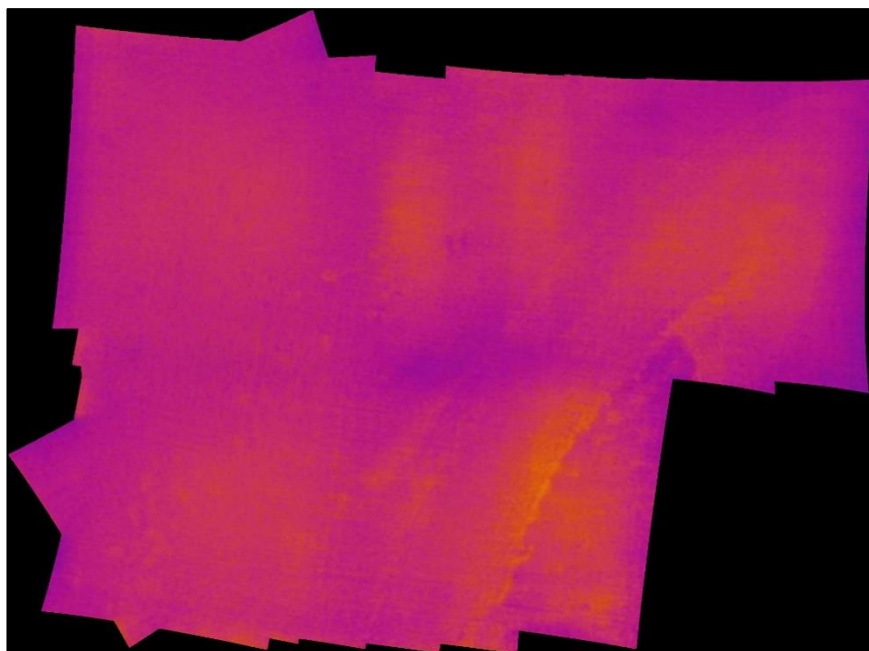


Obrázek 14 Zájmové území prvního letu v programu PTGui (Zdroj: vlastní zpracování)

Výsledné mozaiky z programů Image Composite Editor a PTGui si odpovídají. Pro jednoduchost skládání je příjemnější software Image Composite Editor, ale software PTGui podporuje lepší kontrolu skládání a možnost úpravy jednotlivých snímků. Jedná se o přidání nebo odebrání bodů konektivity, vyjmutí snímku z výsledné mozaiky, natáčení polohy a umístění snímků.

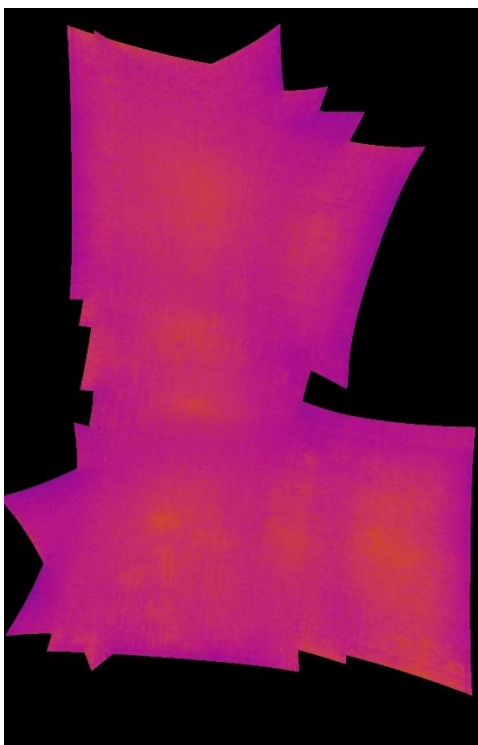
Následoval přechod k termálním datům. Nejdříve proběhl pokus poskládat mozaiku v programu Image Composite Editor obdobně jako při předchozím pokusu s daty ve viditelném spektru. Výsledkem bylo, že program Image Composite Editor nedokázal detekovat body konektivity a tím pádem nemohl dokončit mozaiku. To mohlo být zapříčiněno homogenností snímků. Jednalo se o termální snímky snímávané z 15 metrů s rozlišením snímku 640×480 s ohniskovou vzdáleností objektivu 35 mm.

Stejný proces byl proveden i v programu PTGui, kde byly provedeny stejné operace a se stejným výsledkem jako u Image Composite Editor za použití termálních dat. I software PTGui nedokázal detekovat body konektivity automaticky. Jelikož PTGui umožňuje tvorbu panoramat ručně, bylo vhodné se pokusit propojit stejné body konektivity jako u mozaiky ze snímků ve viditelném spektru. Výsledná mozaika je vidět na obrázku 15. Na rozdíl od programu Image Composite Editor, program PTGui umožňuje skládání panoramat ručně za pomoci spojování bodů konektivity. Image Composite Editor umožňuje při ručním skládání možnost volby rozložení snímků do řádků a sloupců, z nichž bude složena mozaika. K ručnímu skládání mozaiky byl použit program PTGui, jelikož podporuje lepší kontrolu nad skládáním mozaiky.



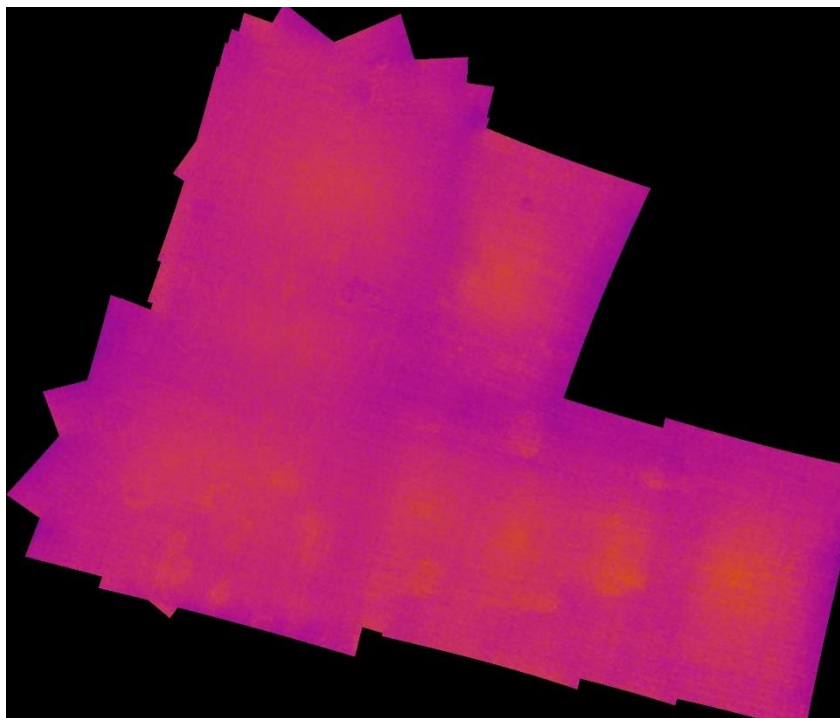
Obrázek 15 Termální mozaika prvního letu v programu PTGui (Zdroj: vlastní zpracování)

Snímkování druhého letu proběhlo z výšky 15 metrů a pro jeho zpracování bylo použito 17 snímků. Data byla zpracována stejným způsobem. Tedy nejdříve byla vytvořena mozaika dat ve viditelném spektru v programu Image Composite Editor a pro srovnání byla sestavena mozaika i v programu PTGui. Následovalo sestavení termální mozaiky v programu PTGui. Výsledná termální mozaika je na obrázku 16.



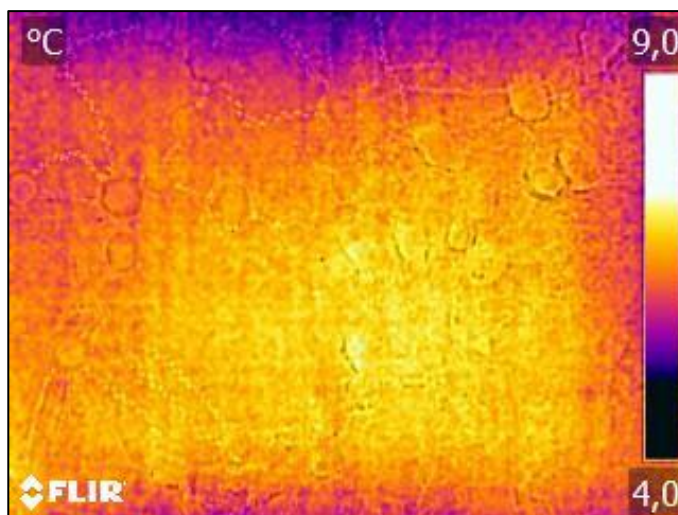
Obrázek 16 Termální mozaika druhého letu v programu PTGui (Zdroj: vlastní zpracování)

Pro zpracování třetího snímkování, které bylo provedeno z 11 metrů, bylo použito 34 snímků. Stejně jako u prvního a druhého snímkování proběhlo zpracování nejprve program Image Composite Editor a následně programem PTGui. Dále byla sestavena mozaika z termálních snímků.



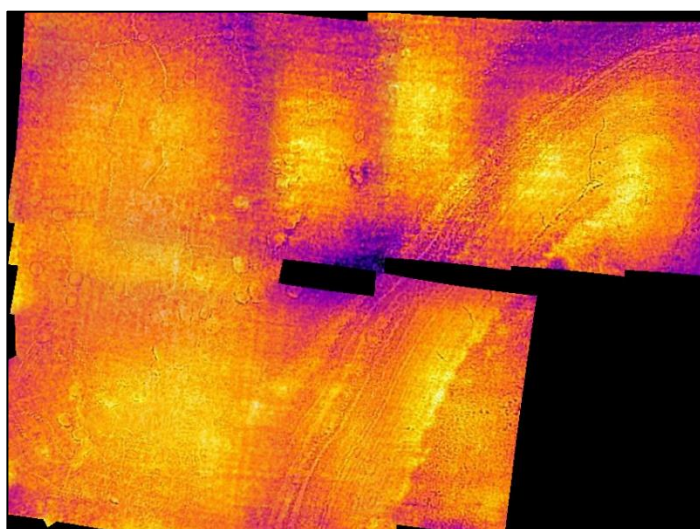
Obrázek 17 Termální mozaika třetího letu v programu PTGui (Zdroj: vlastní zpracování)

Pro další úpravu bylo nutné se vrátit do programu FLIR Tools, kde po otevření snímků došlo ke změně barevné palety na „Iron“ a byla použita funkce „Teplotní MSX“, která prolně tepelný snímek s fotografií. Takto vzniklý snímek na sobě nese teplotní stupnici, označení, že se jedná o snímek pořízený ve stupních Celsia a logo společnosti FLIR. K oříznutí těchto objektů, které brání vytvoření mozaiky, byl použit program GIMP. GIMP je volně šiřitelný software pro úpravu a vytváření rastrové grafiky dostupný pro Windows, Linux, OS X a další operační systémy.



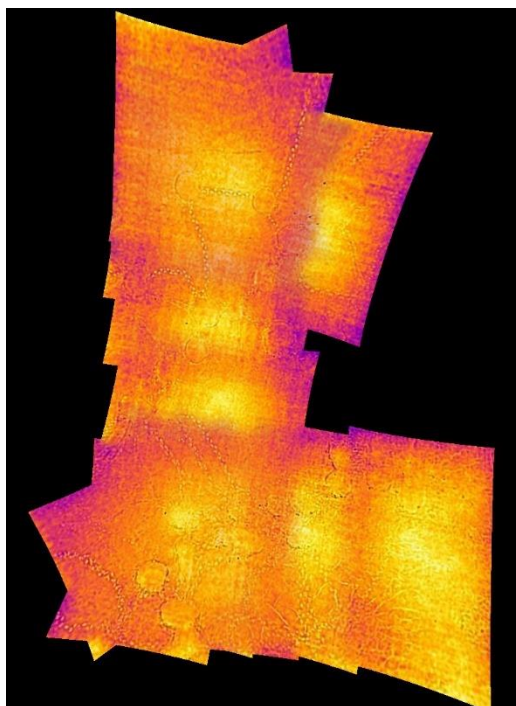
Obrázek 18 Upravený termální snímek (Zdroj: vlastní zpracování)

Po oříznutí těchto snímků byla sestavena mozaika programem Image Composite Editor, který, stejně jako u neupravených termálních snímků, nedokázal odhalit body konektivity. Stejný výsledek následoval i u programu PTGui, proto došlo k ručnímu určování bodů konektivity. Výsledná mozaika prvního letu je vidět na obrázku 19.

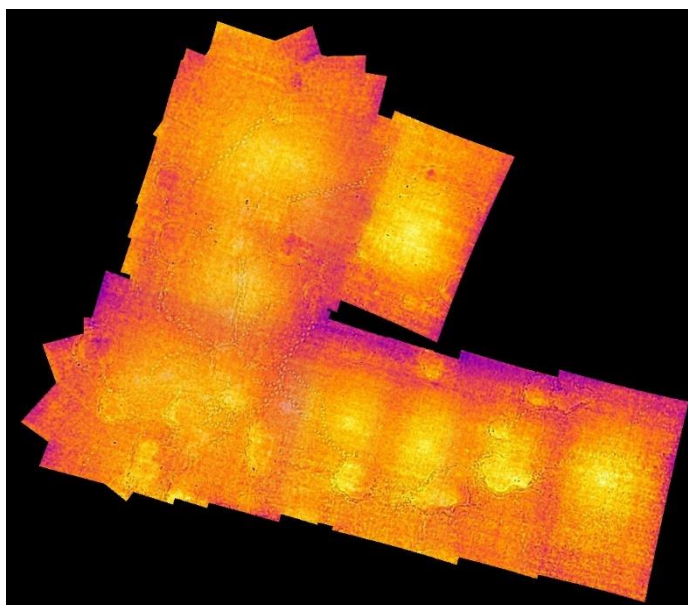


Obrázek 19 Upravená termální mozaika prvního letu v programu PTGui (Zdroj: vlastní zpracování)

V programu PTGui byly vytvořeny mozaiky druhého a třetího snímkování. Tyto mozaiky jsou vidět na obrázku 20 a na obrázku 21.



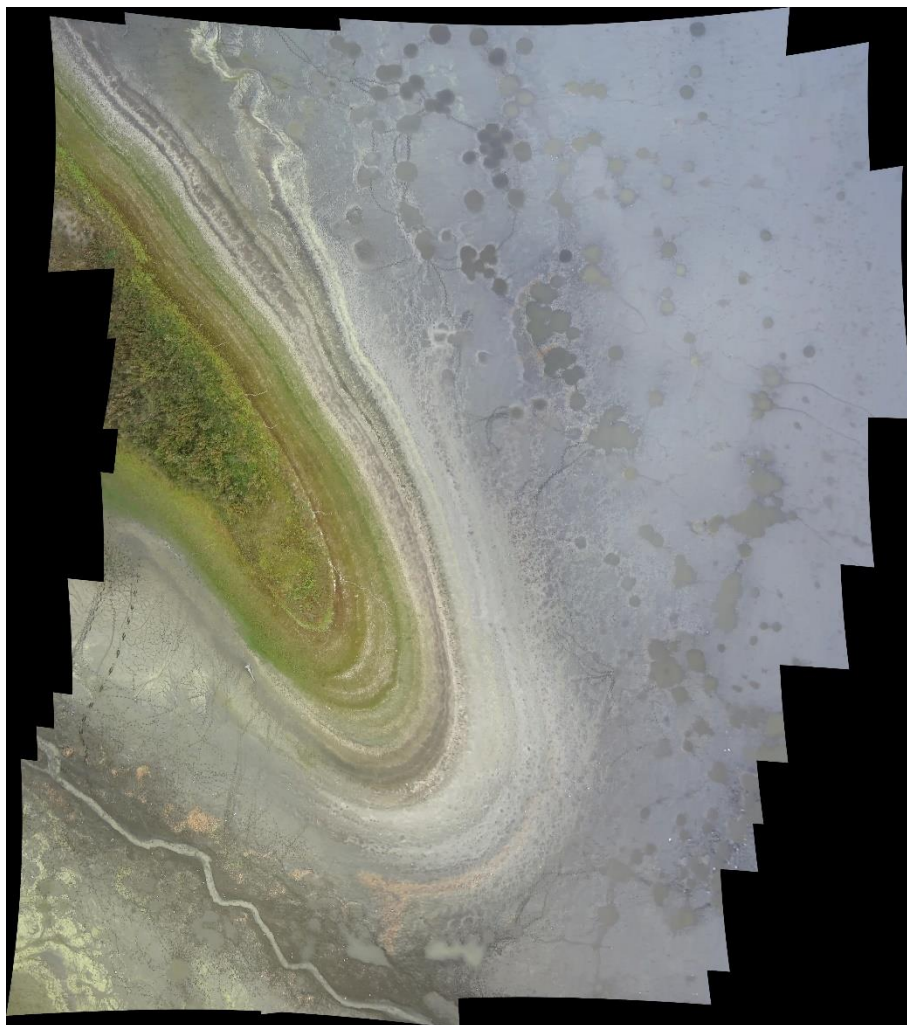
Obrázek 20 Upravená termální mozaika druhého letu v programu PTGui (Zdroj: vlastní zpracování)



Obrázek 21 Upravená termální mozaika třetího letu v programu PTGui (Zdroj: vlastní zpracování)

Druhá část případové studie se zabývá porovnáním teploty snímkování z 19. října 2018 a 23. listopadu 2018. Všechna data snímkování ze dne 19. října byla ve formátu videí. Videá ve viditelném spektru byla v rozlišení 1920×1080 a termální videa v rozlišení 640×480. Pro jejich zpracování byl zvolen program Image Composite Editor. Jak bylo zmíněno na začátku této kapitoly, tento software dokáže vytvářet mozaiky z videí. Nejprve byla vytvořena mozaika části území pro porovnání ve viditelném spektru. Postup je obdobný jako při vytváření mozaiky ze snímků. Použitím funkce „New Panorama From Video“ se otevře dialogové okno s možností

vyhledání videa. Následují čtyři kroky jako u zpracování snímků. Jedná se o „Import“, „Stitch“, „Crop“ a „Export“. Krok „Import“ umožňuje nastavit počátek a konec videa, který bude použit pro tvorbu panoramatu. Kroky „Stitch“, „Crop“ a „Export“ neobsahují žádnou změnu v porovnání s tvorbou mozaiky ze snímků.

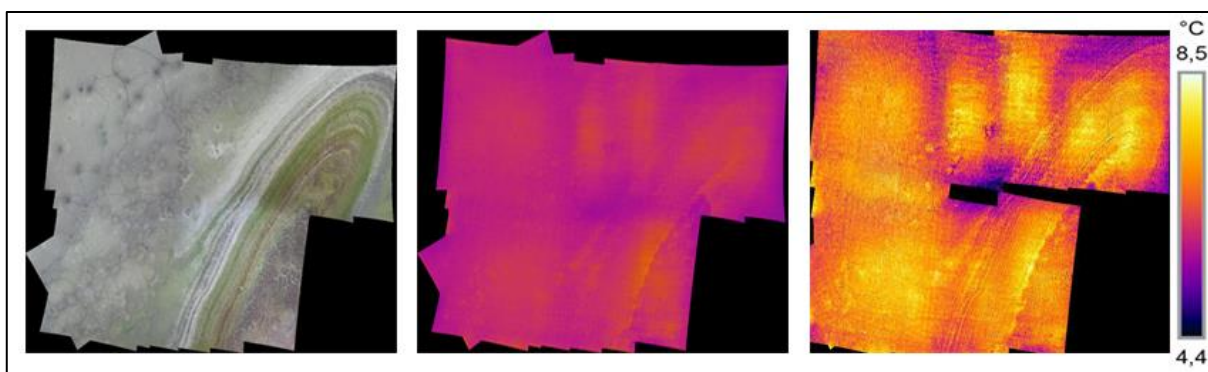


Obrázek 22 Mozaika ve viditelném spektru z videa (Zdroj: vlastní zpracování)

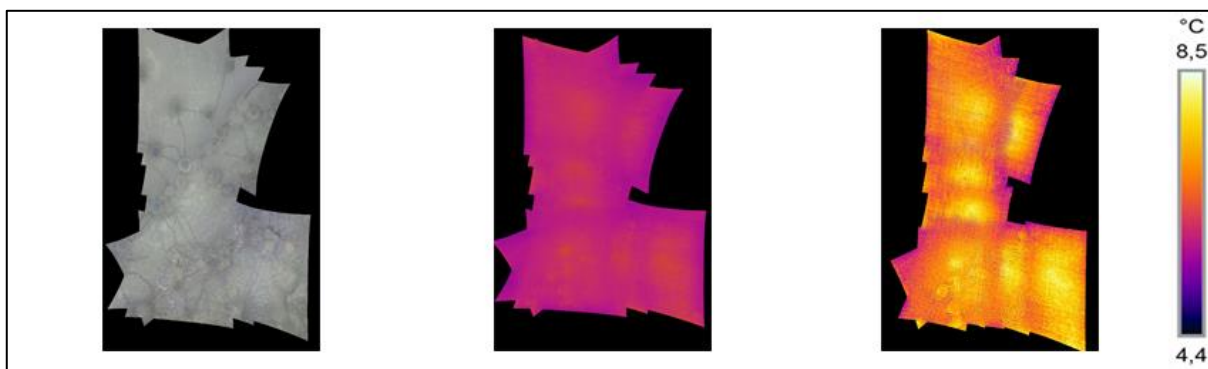
Následně proběhl pokus poskládat mozaiku z termálního videa pomocí programu Image Composite Editor. Video přináší v některých momentech lepší zobrazení teplotních změn než snímky. Lépe jsou například vidět tepelné rozdíly mezi přítokem rybníka a bahnitým dnem rybníka (obrázek 27). Program Image Editor navzdory tomu nedokázal seskládat mozaiku. Může to být dáno malým rozlišením či rychlostí letu dronu. Nebo tím, že video má vyznačený bod, kde se snímá teplota, a v levém dolním rohu snímanou teplotu ukazuje. To mohlo vést k nemožnosti poskládání mozaiky. Z těchto důvodů byly pro porovnání teplot, ze snímaného videa, vyříznuty snímky, na kterých bylo provedeno porovnání teplot se snímky z 23. listopadu 2018.

11 VIZUALIZACE DAT

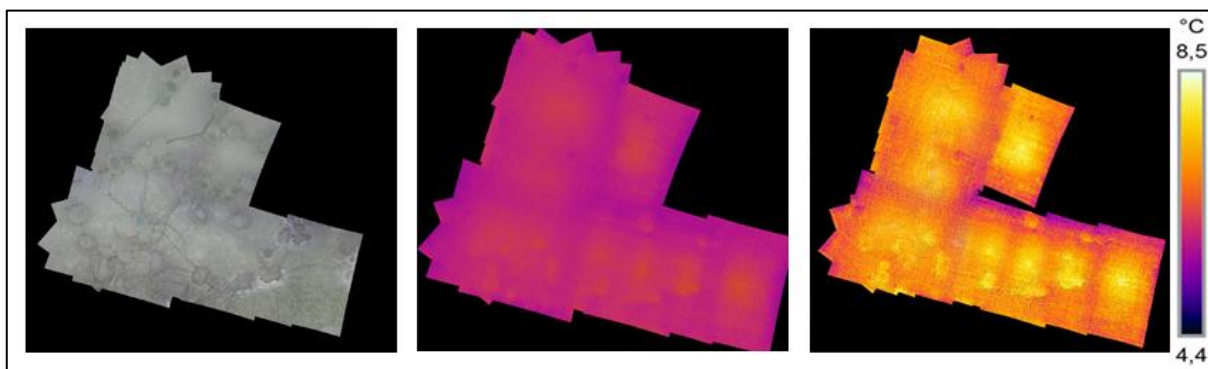
K vizualizaci dat byla vytvořena kompozice z jednotlivých mozaik. Mozaiky jsou tvořeny snímky ve viditelné části elektromagnetického spektra, termálními snímky a upravenými termálními snímky. Je přiložena teplotní stupnice rozsahu teplot upraveného termálního snímku.



Obrázek 23 Vizualizace prvního letu z 15 m (Zdroj: vlastní zpracování)

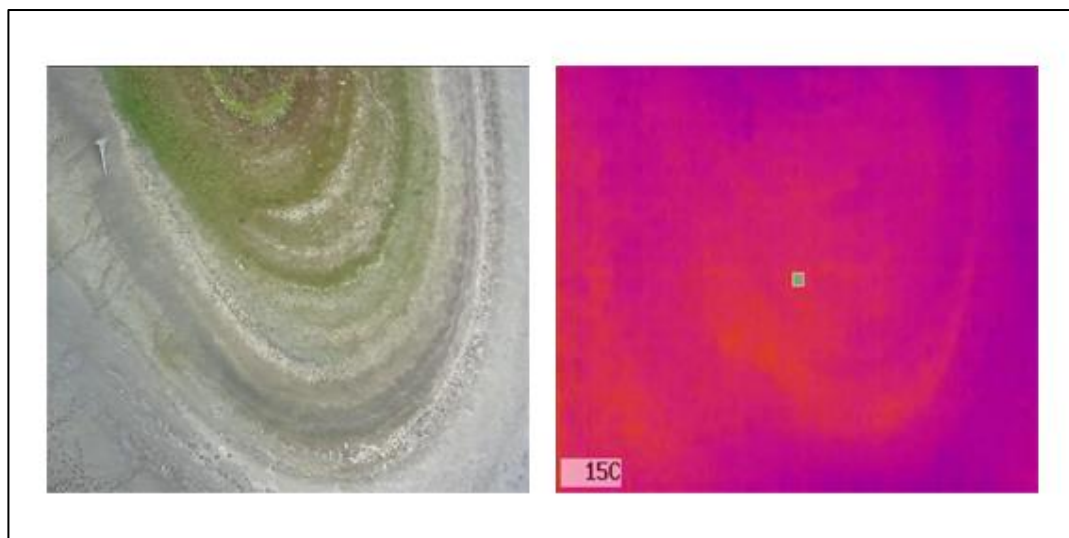


Obrázek 24 Vizualizace druhého letu z 15 m (Zdroj: vlastní zpracování)

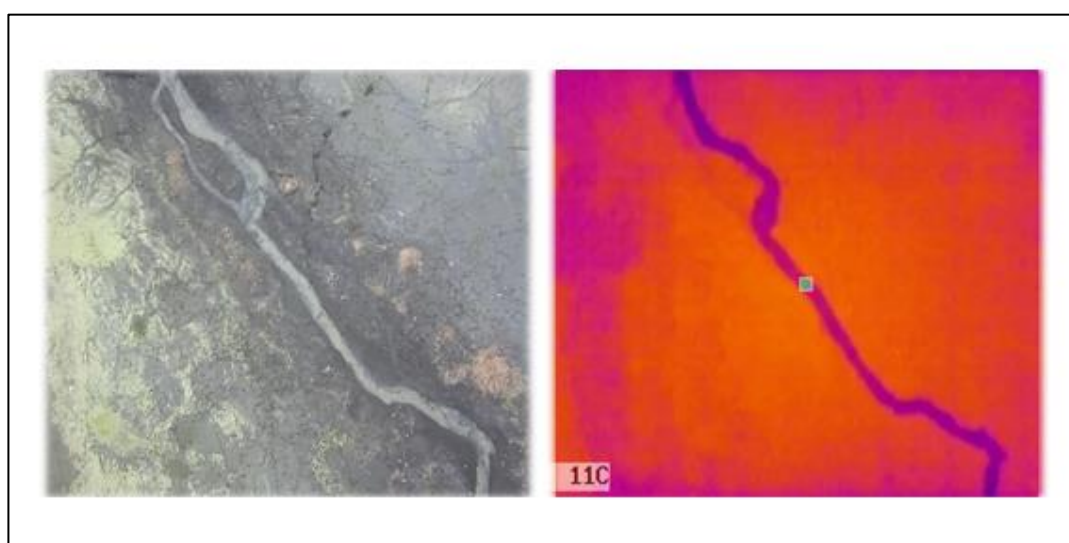


Obrázek 25 Vizualizace třetího letu z 11 m (Zdroj: vlastní zpracování)

K vizualizaci dat porovnávající teploty mezi 19. říjnem 2018 a 23. listopadem 2018 byly vytvořeny kompozice znázorňující snímek z 19. října 2018 ve viditelném spektru a infračerveném spektru. Jedná se o výřezy snímků z videa. Tyto snímky jsou vidět na obrázcích 26, 27 a 30.

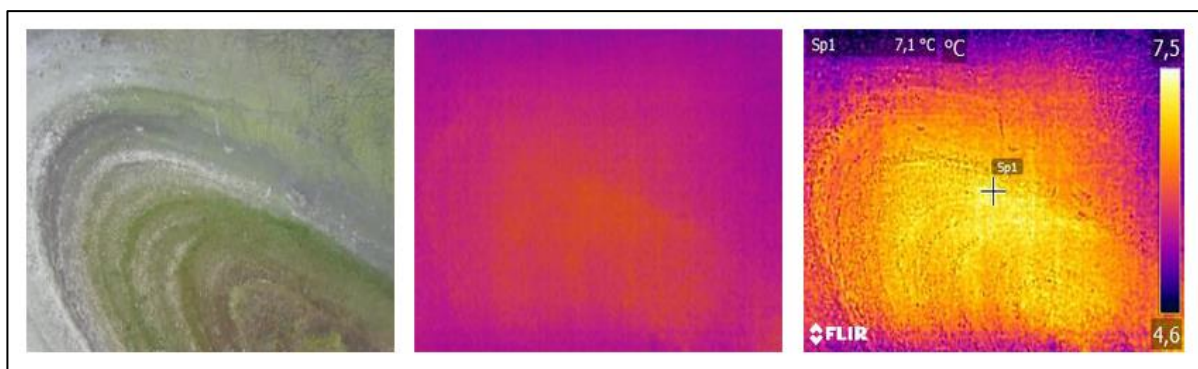


Obrázek 26 Vizualizace snímku vyříznutého z videa 19. října 2018 (Zdroj: vlastní zpracování)

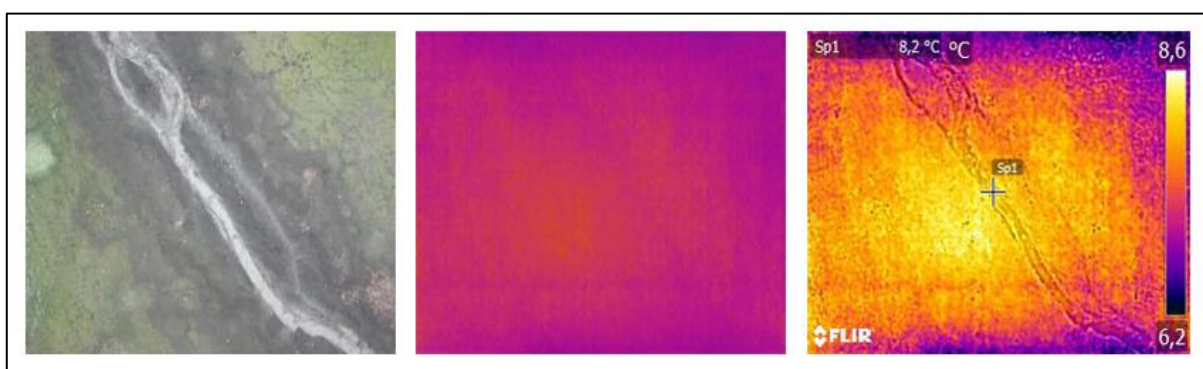


Obrázek 27 Vizualizace druhého snímku vyříznutého z videa 19. října 2018 (Zdroj: vlastní zpracování)

Snímky, které odpovídají lokalitou snímkům 26 a 27 pořízených v říjnu 2018, jsou vizualizovány na obrázku 28 respektive 29. Jedná se o dva snímky z 23. listopadu. Byly vybrány z prvního letu, tedy se jedná o snímky pořízené z 15 m.



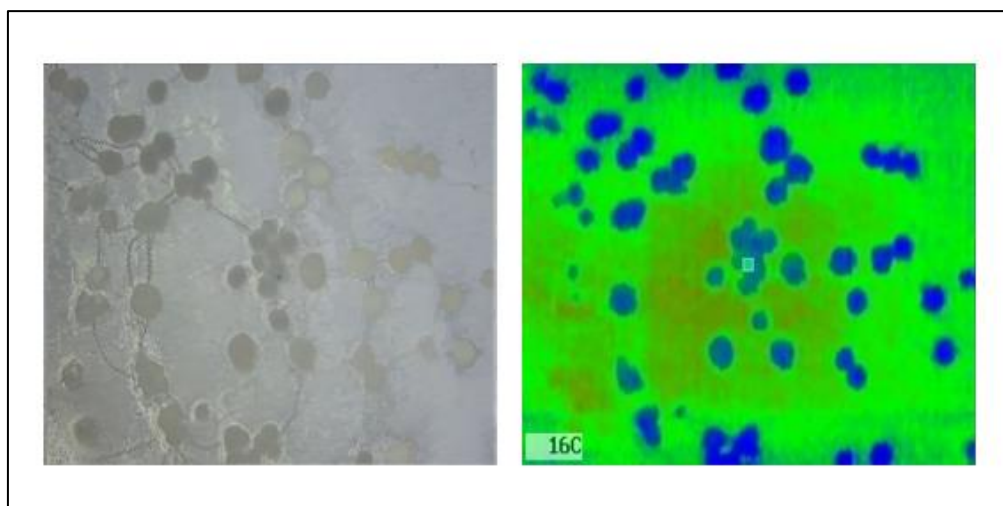
Obrázek 28 Vizualizace prvního snímku ze dne 23. listopadu 2018 (Zdroj: vlastní zpracování)



Obrázek 29 Vizualizace druhého snímku ze dne 23. listopadu 2018 (Zdroj: vlastní zpracování)

Výřezy prvního a druhého snímku neodpovídají lokalitě mozaik snímkování ze tří letů. Lokalita prvního snímku, který zobrazuje břeh rybníka, je vizualizována na obrázcích 26 a 28. Lokalita je viditelná na vizualizaci prvního letu. Jedná se o obrázek 23 a dále je zobrazena na obrázcích 10, 11, 12, 14 a 22. Druhý výřez zachycuje přítok rybníka. Je vizualizován na obrázcích 27 a 29. Tato lokalita je také zobrazena na obrázcích 10, 11 a 22. Nachází se ve vzdálenosti do 40 m od lokality mozaik snímkování ze tří letů.

Obrázek 30 představuje vizualizaci třetího snímku vyříznutého z videa, který odpovídá lokalitě mozaik prvního, druhého a třetího letu.



Obrázek 30 Vizualizace třetího snímku vyříznutého z videa 19. října 2018 (Zdroj: vlastní zpracování)

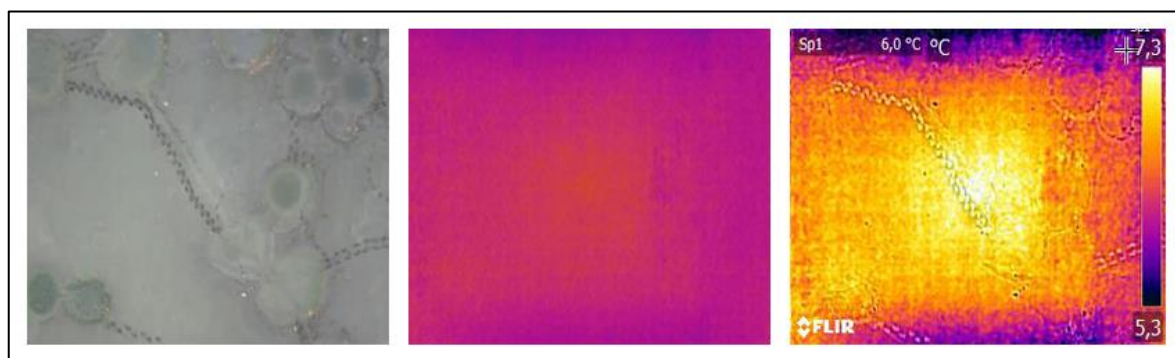
Kompozice snímků na obrázku 31 vizualizuje snímek použitý v rámci mozaiky prvního letu, který byl pořízen 23. listopadu 2018 z výšky 15 m, a který představuje část stejného území jako výřez z videa na obrázku 30.



Obrázek 31 Vizualizace třetího snímku ze dne 23. listopadu 2018 z prvního letu (Zdroj: vlastní zpracování)

Na mozaice z druhého letu se nepodařilo zachytit měřenou oblast z obrázku 30.

Snímek z třetího letu, který je vizualizován na obrázku 32, zachycuje totožnou oblast, která je zobrazena na obrázku 30. Jedná se o snímek pořízený 23. listopadu 2018 z výšky 11 m.



Obrázek 32 Vizualizace třetího snímku ze dne 23. listopadu 2019 ze třetího letu (Zdroj: vlastní zpracování)

12 INTERPRETACE DAT

K zpracování prvního letu bylo využito 24 snímků pořízených 23. listopadu 2018 z výšky 15 metrů. Jedná se o největší pokrytou oblast při tvorbě mozaiky. Jak je vidět na obrázku 23, tyto snímky tvoří přehlednou mozaiku ve viditelném spektru, ale neupravená termální mozaika nepřináší skoro žádný detail. Jediným místem, které lze snadno identifikovat z této mozaiky, je část břehu v pravé polovině snímku. Na upravené termální mozaice, ke které je přidán tepelný rozsah od 4,4 do 8,5 °C, je možno zřetelně rozlišit povrch vypuštěného rybníka od břehu. Dále je zde možné pozorovat některé výrazné změny povrchu rybníka, ale nejsou na mozaice zobrazeny viditelně odlišitelné změny teploty. Na upravené termální mozaice, která vznikla prolnutím snímku a termálního snímku pomocí funkce MSX a změnou barevné palety, jsou viditelná místa skládání, které by bylo náročné odstranit a jejich odstranění nebylo podstatou této práce. Tyto defekty jsou viditelné i na mozaice druhého a třetího letu.

Druhý let byl snímán z výšky 15 metrů a na sestavení mozaiky bylo použito 17 snímků z 23. listopadu 2018. Mozaika ve viditelném, termálním a upraveném termálním spektru je vizualizována na obrázku 24. Na sestavené mozaice ve viditelném spektru je možno lépe rozlišit jednotlivé druhy povrchu než na mozaice z prvního letu. Na neupravené termální mozaice nejsou rozlišitelné teploty povrchu. Na upravené termální mozaice, na které bylo provedeno prolnutí snímků viditelného a termálního spektra, je možné rozlišit druhy povrchu. Termální rozsah mozaiky nenaznačuje žádné velké rozdíly teplot na ploše snímání.

Pro vytvoření mozaiky třetího letu bylo využito 34 snímků. Snímkování proběhlo z výšky 11 metrů. Na obrázku 25 je možné vidět mozaiky viditelného, termálního a upraveného termálního snímkování. Z neupravené termální mozaiky lze rozlišit výrazné změny povrchu rybníka. Upravená termální mozaika navíc přidává lepší přehled o tvaru změn povrchu rybníka.

Termální mozaiky z uvedených tří letů nepodávají dostatečně kvalitní data pro plošné pozorování teploty. Pravděpodobně to je dáno malým rozlišením termální kamery a výškou letu UAV. Další možností je nízký rozdíl teplot snímaného zájmového území. V neposlední řadě je zde možnost nevhodného zpracování termálních snímků. Ať už jejich úpravou nebo nevhodností softwaru pro tvorbu termální mozaiky.

K dalšímu zkoumání této problematiky by bylo vhodné zpracovat data z nižší letové hladiny. Data získána z nižší výšky by měla přinést zvýšenou kvalitu snímků a s nimi možnost lepšího zpracování.

Sledování změn bylo provedeno pomocí dvou časových horizontů. Jedná se o snímky na obrázku 25 a 26. Tyto snímky jsou vyříznuté z videa ze dne 19. října 2018. Video představuje snímanou oblast pomocí UAV. Teplota povrchového snímání teploty pomocí UAV byla v rozsahu od 12 °C do 16 °C. Snímek z obrázku 25 představuje břehovou část rybníka Skříň s ukazatelem teploty 15 °C. Druhý snímek, který je vizualizován na obrázku 26 představuje přítok rybníka. Zde byla naměřena teplota 11 °C. K těmto snímkům z 18 října 2018 byly vybrány odpovídající snímky z 23. listopadu 2018. Tyto snímky jsou znázorněny na obrázcích 27 a 28. Jedná se o snímky pořízené z prvního letu, tedy z výšky 15 m. Snímek na obrázku 27 znázorňuje břeh rybníka. Zde byla naměřena teplota programem FLIR Tools na 7,1 °C. Druhý snímek (obrázek 28) představuje přítokové koryto rybníka s naměřenou teplotou 8,2 °C.

Břeh rybníka měl mezi 19. říjnem a 23. listopadem sníženou teplotu o 7,9 °C. Přítok rybníka měl sníženou povrchovou teplotu o 2,8 °C.

Pro srovnání teplot byla použita data z meteostanice v obci Chlumec nad Cidlinou (QPRO, © 2006-2019), která je vzdálena 15 km od zájmového území rybníka Skříň. 19. října 2018 stanice naměřila teplotu vzduchu 12,46 °C v době snímání. 23. listopadu 2018 byla naměřena teplota 5,23 °C. Jedná se o referenční data, u kterých byla naměřena teplota vzduchu. Zpracované snímky a videa představují naměřenou teplotu povrchu.

Na snímku vyříznutého z videa pořízeného 19. října 2018 (obrázek 30) je zobrazen povrch rybníka Skříň s naměřenou teplotou 16 °C. Došlo k porovnání teploty se snímky tvořící mozaiky prvního (obrázek 31), druhého a třetího (obrázek 32) snímkování z 23. listopadu 2018. Na snímku z prvního letu, který byl snímán z výšky 15 m, byla naměřena teplota 6,4 °C. Na mozaice druhého letu se nepodařilo zachytit snímanou oblast. Teplota na snímku z mozaiky třetího letu z výšky 11 metrů byla naměřena na 6 °C. Rozdíl teploty snímané oblasti mezi říjnem a listopadem činí 10 °C, respektive 9,6 °C pro snímek z výšky 11 m. Snímky použité pro vytvoření mozaik tří letů a porovnání teplot jsou přiloženy v příloze C na CD.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo zjistit možnost zpracování termálních dat za účelem monitorování krajiny zájmového území rybníka Skříň. Termální data byla ve formě videí a snímků pořízených z letové výšky UAV 15 a 11 metrů.

První část bakalářské práce je věnována vysvětlení pojmů dálkový průzkum Země, digitální zpracování obrazu, monitoring krajiny. Dále jsou zde objasněny bezpilotní prostředky a infračervená část spektra. Druhá část se zabývá termálními daty pořízenými pomocí UAV ve formě videí a snímků ze dne 19. října 2018 a 23. listopadu 2018. Tato část práce je řešena čtyřmi kroky. Jedná se o přípravu dat, zpracování dat, vizualizaci dat a interpretaci dat. V rámci přípravy dat byla data pořízená pomocí UAV ze dne 23. listopadu 2018 rozdělena do tří skupin podle letu. Jedná se o dvě skupiny v letové výšce 15 metrů a jedné ve výšce 11 metrů. Zpracování dat proběhlo pomocí programů Image Composite Editor a PTGui. Za pomoci těchto programů vznikly 3 mozaiky z každého letu. Jedná se o mozaiky tvořené snímky ve viditelné části elektromagnetického spektra, termálními snímky a upravenými termálními snímky. Mozaiky ze snímků ve viditelné části elektromagnetického spektra byly vytvořeny jak v programu PTGui, tak i v programu Image Composite Editor pro kontrolu jejich sestavení. Upravené termální snímky vznikly prolnutím snímku ve viditelném spektru a termálním spektru se změnou barevnou paletou a oříznutím. Na mozaiku prvního letu ze dne 23. listopadu 2018 bylo použito 24 snímků, na mozaiku druhého letu bylo použito 17 snímků a na mozaiku třetího letu 34 snímků. Termální a upravené termální mozaiky vznikly manuálním skládáním v programu PTGui, jelikož oba zmíněné programy nedokázaly detekovat body konektivity. Takto vzniklá data byla vizualizována pomocí kompozice vzniklých mozaik. Následně byla data okomentována. Na termálních mozaikách ze tří letů jsou viditelné některé výrazné změny povrchu rybníka, ale mozaiky nepřinášejí rozlišitelné změny teploty. V rámci této práce byla porovnána povrchová teplota snímání na totožných snímcích ze dne 19. října a 23. listopadu, která byla porovnána s naměřenými teplotami vzduchu z meteorostanice. K tomu posloužily dva vyříznuté snímky z videa ze dne 19. října 2018 z oblasti mimo prolnutí mozaik a jeden vyříznutý snímek z oblasti prolnutí mozaik tří letů. K těmto vyříznutým snímkům byly vybrány odpovídající snímky ze dne 23. listopadu 2018.

Bakalářskou práci mohou využít zájemci o snímkování a termální snímkování za pomoci UAV a následného zpracování pořízených dat.

POUŽITÁ LITERATURA

1. ALFÖLDI, Tom, Pauline CATT a Peter STEPHENS, 1993. Highlight Article Definitions of "Remote Sensing". *Photogrammetric engineering & remote sensing: PE & RS: journal of the American Society of Photogrammetry and Remote Sensing*. Bethesda, Md: Soc, (59), 611-613. ISSN 0099-1112.
2. BRABEC, Petr a Filip BARTŮNĚK, 2012. Infračervené záření. In: *Fyzika 007* [online]. [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: <http://www.fyzika007.cz/optika/infracervene-zareni>
3. BRUMANA, R., D. ORENI, L. VAN HECKE, L. BARAZZETTI, M. PREVITALI, F. RONCORONI a R. VALENTE, 2013. COMBINED GEOMETRIC AND THERMAL ANALYSIS FROM UAV PLATFORMS FOR ARCHAEOLOGICAL HERITAGE DOCUMENTATION. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. **II-5/W1**, 49-54. DOI: 10.5194/isprsannals-II-5-W1-49-2013. ISSN 2194-9050. Dostupné také z: <http://www.isprs-ann-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/II-5-W1/49/2013/>
4. Cool Cosmos, 2013. *What is infrared?* [online]. 16 August, 2013 [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/page/what_is_infrared
5. ČESKO, Zákon č. 114/1992 Sb., Zákon o ochraně přírody a krajiny, 1992. In: *Sbírka zákonů České republiky*. částka 28. Dostupné také z: https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/58170589E7DC0591C125654B004E91C1/%24file/z114_1992.pdf
6. DOBROVOLNÝ, Petr, 1998. *Dálkový průzkum Země: digitální zpracování obrazu*. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 80-210-1812-7.
7. DŽIK, Petr, 6. 1. 2003. Co to je a jak se chová infračervené záření. In: *PALADIX foto-online* [online]. c1998-2019 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://www.paladix.cz/clanky/co-to-je-a-jak-se-chova-infracervene-zareni.html>
8. DJI, © 2019a. DJI Spark. *DJI.com* [online]. [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.dji.com/cz/spark/info#specs>
9. DJI, © 2019b. Phantom 2. *DJI.com* [online]. [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.dji.com/cz/phantom-2>
10. DJI, © 2019c. Phantom 3. *DJI.com* [online]. [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: https://www.dji.com/cz/phantom-3-pro?site=brandsite&from=insite_search
11. EISENBEISS, Henri, 2004. *A MINI UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV): SYSTEM OVERVIEW AND IMAGE ACQUISITION* [online]. 2004 [cit. 2019-03-27]. Dostupné z:

- https://pdfs.semanticscholar.org/31e4/725e74bf623aeaf86782f52d9f140b2af153.pdf?_ga=2.111811588.18779338.1553700513-655640889.1553700513&fbclid=IwAR25NCb7Kfz8xUn6wjFaqJeaXG2nzzZ-5sELE7Qnj7cuR7fO59UexhTSQzU
12. EISENBEIß, Henri, 2009. *UAV Photogrammetry* [online]. Zurich [cit. 2019-03-06]. ISBN 978-3-906467-86-3. Dostupné z: http://www.igp-data.ethz.ch/berichte/blaue_Berichte_PDF/105.pdf?fbclid=IwAR3mh5zoVi9JaOWk-HRWSzuC4PRCESD4uu3Z1KSPHpRHBRbCHQF83L2a_0c
 13. ESPINOSA-DURÓ, Virginia, Marcos FAUNDEZ-ZANUY a Jiří MEKYSKA, 2011. Beyond Cognitive Signals. *Cognitive Computation*. 3(2), 374-381. DOI: 10.1007/s12559-010-9035-6. ISSN 1866-9956. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s12559-010-9035-6>
 14. EVROPSKÁ ÚMLUVA O KRAJINĚ, 2000. [online], [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/evropska_umluva_o_krajine_smlouva/\\$FILE/OZV_cesky_text_EoUK_20170220.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/evropska_umluva_o_krajine_smlouva/$FILE/OZV_cesky_text_EoUK_20170220.pdf)
 15. FLIR, © 2019a. FLIR Duo R. *FLIR.com* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://www.flir.com/support/products/duo-r/#Overview>
 16. FLIR, © 2019b. FLIR Tools: Thermal Analysis and Reporting (Desktop). *FLIR.com* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.flir.com/products/flir-tools/>
 17. FYZMATIK, 2008. *Na cestě k absolutní nule* [online]. 18. září 2018 [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/652-na-cestě-k-absolutní-nule.html>
 18. GISAT, 2015, Vyhodnocení dat. *Gisat* [online]. [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: <http://www.gisat.cz/content/cz/sluzby/zpracovani-dat/vyhodnoceni-dat>
 19. HAIS, Martin, 2009. Využití dálkového průzkumu Země pro monitoring lesů na Šumavě. *Životné prostredie* [online]. 2009, 43(4), 216-219 [cit. 2019-03-18]. ISSN 2585-7800. Dostupné z: http://147.213.211.222/sites/default/files/2009_4_216_219_hais_0.pdf?fbclid=IwAR2Mp5seCjdPoheOkGPvnSoold-MEK8bFmCGlb7o_6dlo_v4uDBBIEHK8PjM
 20. HLAVÁČOVÁ, Irena, 2011. Studijní materiály – Elektromagnetické záření. *Katedra fyziky VŠB-TUO* [online]. Ostrava: VŠB-TUO [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <http://kf.vsb.cz/Kontakt/Hlavacova/studium5.htm?fbclid=IwAR1gJewzeAPU-vuiB2S8qwFYjXjxA5zrfuk95tSBd2EZuyQlDlkZHSoQpHVA>

21. JUSTIN F, © 2014-2019. The History Of Drones (Drone History Timeline From 1849 To 2019). In: *Dronethusiast* [online]. [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: https://www.dronethusiast.com/history-of-drones/?fbclid=IwAR0DA-2jp09hnRau8nmdIsXNgBPYx3GV-0KUVhfr_5cwHkWIdx6mS3dayK
22. KÁCOVSKÁ, Karolína, 2017. *Termální obraz Přírodního parku Údolí Bystřice*. Olomouc. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Miroslav Vysoudil.
23. KOLÁŘ, Jan, 1990. *Dálkový průzkum země*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. Populární přednášky o fyzice, sv. 35. ISBN 80-03-00517-5.
24. LILLESAND, Thomas M., Ralph W. KIEFER a Jonathan W. CHIPMAN, © 2008. *Remote sensing and image interpretation*. 6th ed. Hoboken, NJ: John Wiley. ISBN 978-0-470-05245-7.
25. LIPSKÝ, Zdeněk, 2010. Kam se ubírá česká krajina? *Geographia Cassoviensis* [online]. 4(2), 77-83 [cit. 2019-03-06]. ISSN 1337-6748. Dostupné z: https://geografia.science.upjs.sk/images/geographia_cassoviensis/articles/GC-2010-4-2/14Lipsky_a.pdf?fbclid=IwAR3oRd8SKpP4LtSMrptwmr_J9dhaa_Lo7rDZrE20eFRb7MWg-19Z2gMDG4A
26. MICROSOFT, © 2019. *Image Composite Editor* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.microsoft.com/en-us/research/product/computational-photography-applications/image-composite-editor/>
27. NENIČKOVÁ, Petra, 2012. *Mapování povrchové teploty (LST) základních druhů povrchů* [online]. Brno [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/222781/prif_m/?studium=282101;vysl=19055. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Petr Dobrovolný.
28. NEW HOUSE INTERNET SERVICES B. V., © 2000-2019. *PTGui* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.ptgui.com/>
29. Okolí města, © 1999-2003. *Neoficiální web města Lázně Bohdaneč* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <http://lazne.bohdanec.sweb.cz/>
30. PETR, Lukáš, 2016. *Sběr a zpracování dat získaných s využitím kvadroptéry* [online]. Pardubice [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/tvu4re/>. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Fakulta ekonomicko-správní. Vedoucí práce Jitka Komárková.
31. PĚCHOTOVÁ, Kateřina, 2012. *Vývoj a predikce krajinných změn třeboňských pískoven*. České Budějovice. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Martin Hais.

32. PÉREZ-GARCÍA, José L., Mario SÁNCHEZ-GÓMEZ, José M. GÓMEZ-LÓPEZ, Theo GUERRA, Diego GIL a Tomás FERNÁNDEZ, 2018. Georeferenced thermal infrared images from UAV surveys as a potential tool to detect and characterize shallow cave ducts. *Engineering Geology*. **246**, 277-287. DOI: 10.1016/j.enggeo.2018.09.014. ISSN 00137952. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0013795217316848>
33. PURKET, Tomáš, 2017. *Tvorba letecké mozaiky Olomouce* [online]. Olomouc [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://library.upol.cz/arl-upol/cs/csg/?repo=upolrepo&key=43560367449>. Diplomová práce. Univerzita Palackého, Katedra geoinformatiky. Vedoucí práce Jakub Miřijovský.
34. QPRO [online], © 2006-2019. [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <https://www.qpro.cz/Qpro-vzduchotechnika-klimatizace>
35. *Rybniční hospodářství* [online], © 2019. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.rybnicnihospodarstvi.cz/prodejna-ryb>
36. SVATOŇOVÁ, Hana a Lubomír LAUERMANN, 2010. *Dálkový průzkum Země – aktuální zdroj geografických informací*. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 978-80-210-5162-1.
37. Termokamera.cz, *Konstrukce termokamery* [online]. 1999 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/konstrukce-termokamery/>
38. THEOPHANIDES, Theophile, 2012. Introduction to Infrared Spectroscopy. *Infrared Spectroscopy – Materials Science, Engineering and Technology* [online]. InTech, 2012-04-25 [cit. 2019-03-09]. DOI: 10.5772/49106. ISBN 978-953-51-0537-4. Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/infrared-spectroscopy-materials-science-engineering-and-technology/introduction-to-infrared-spectroscopy>
39. THIERRY COURVOISIER, © 2019. Space Science and Society. In: *Thierry Courvoisier's website* [online]. [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: http://thierrycourvoisier.ch/en/science-and-society/25-space-science-and-society?fbclid=IwAR3adm7sCfkOf572HDMjfaykBI461r5eiMPs8lLxUUQXpFLGUfgzKq3_Mog
40. ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ, 2013, *Co je to bezpilotní letadlo, bezpilotní systém?* [online]. [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/co-je-to-bezpilotni-letadlo-bezpilotni-system-model-letadla?highlightWords=bezpilotni+letadlo>

41. VERHOEVEN, Geert J. J., Providing an archaeological bird's-eye view – an overall picture of ground-based means to execute low-altitude aerial photography (LAAP) in Archaeology. *Archaeological Prospection* [online]. 23 July 2009, **16**, 233-249 [cit. 2019-03-27]. DOI: 10.1002/arp.353. Dostupné z: https://www.academia.edu/423604/Providing_An_Archaeological_Birds-eye_View_-_an_Overall_Picture_of_Ground_based_Means_to_Execute_Low_altitude_Aerial_Photography_LAAP_In_Archaeology
42. VYAS, Kashyap, 2nd January 2018. A Brief History of Drones: The Remote Controlled Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). In: *Interesting Engineering* [online]. © 2019 [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://interestingengineering.com/a-brief-history-of-drones-the-remote-controlled-unmanned-aerial-vehicles-uavs?fbclid=IwAR1ELR2gbndB1S4MboW1lsBj9GfFz03UQ2ihY7QKQp6nk3pKLpXwKLf54e4>
43. ZHANG, Chunhua, Dan WALTERS, John M. KOVACS a Quazi K. HASSAN, 2014. Applications of Low Altitude Remote Sensing in Agriculture upon Farmers' Requests– A Case Study in Northeastern Ontario, Canada. *PLoS ONE*. **9**(11). DOI: 10.1371/journal.pone.0112894. ISSN 1932-6203. Dostupné také z: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0112894>

PŘÍLOHY

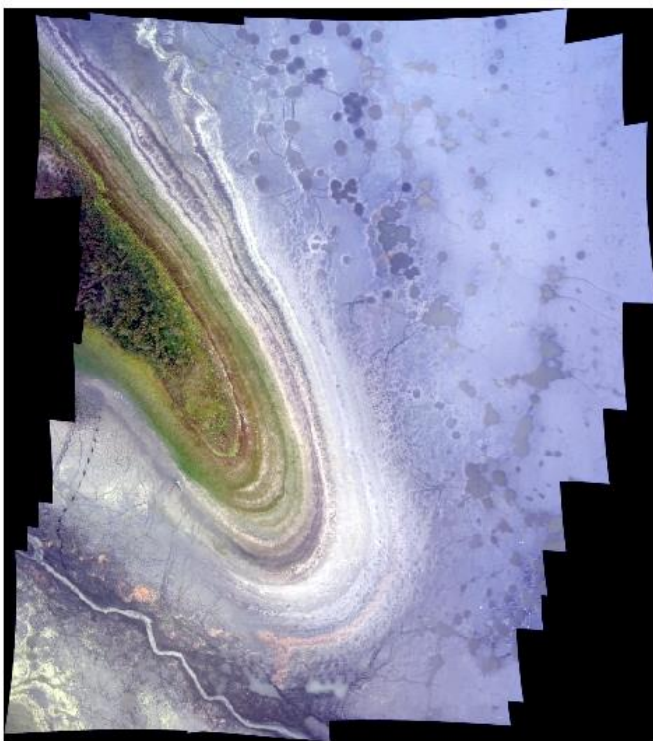
Příloha A – Mozaiky zájmového území rybníka Skříň ze dne 19. října 2018 a 23. listopadu 2018

Příloha B – Oblast mozaiky druhého a třetího letu v rámci mozaiky prvního letu

Příloha C – CD-ROM

MOZAIKY ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ RYBNÍKA SKŘÍŇ

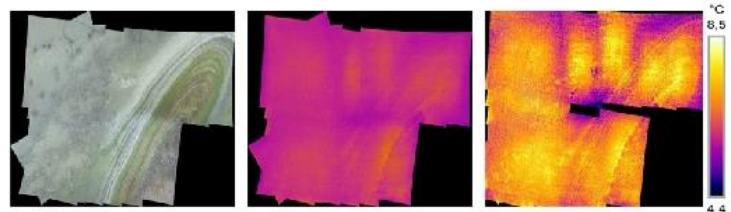
ze dne 19. října 2018 a 23. listopadu 2018



Mozaika z videa ze dne 19. října 2018

0 10 20 m

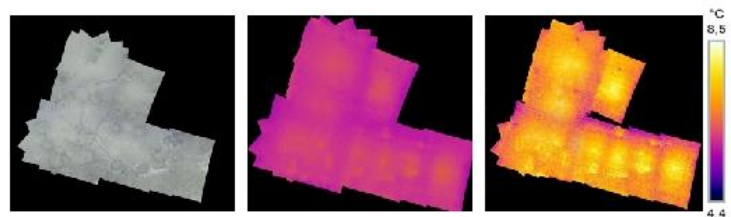
Martin KRÁTKÝ, Pardubice, 2019



Mozaika prvního letu ze dne 23. listopadu 2018



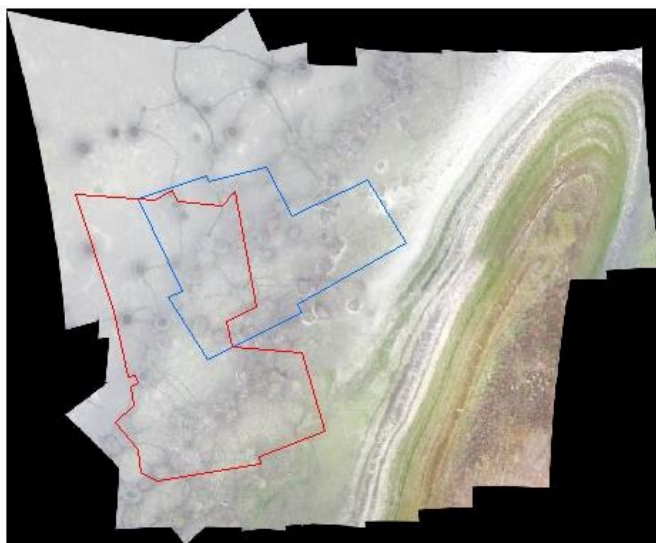
Mozaika druhého letu ze dne 23. listopadu 2018



Mozaika třetího letu ze dne 23. listopadu 2018

Příloha B – Oblast mozaiky druhého a třetího letu v rámci mozaiky prvního letu

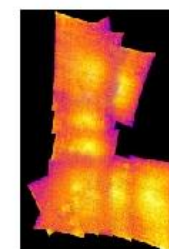
OBLAST MOZAIKY DRUHÉHO A TŘETÍHO LETU V RÁMCI MOZAIKY PRVNÍHO LETU



0 10 20 m

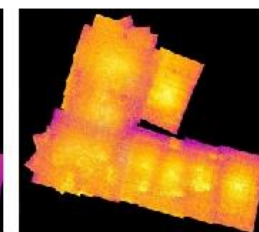
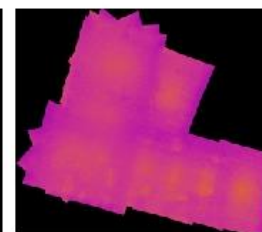
Mozaika prvního letu ze dne 23. listopadu 2018

- Hranice mozaiky druhého letu
- Hranice mozaiky třetího letu



°C
8,5
4,4

Mozaika druhého letu ze dne 23. listopadu 2018



°C
8,5
4,4

Mozaika třetího letu ze dne 23. listopadu 2018

Martin KRÁTKÝ
Pardubice, 2019