

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní

Využití dat z UAV pro monitoring změn
v okolí malých vodních ploch

Bc. Tomáš Brzek

Diplomová práce

2019

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Brzek**
Osobní číslo: **E17853**
Studijní program: **N6209 Systémové inženýrství a informatika**
Studijní obor: **Informatika ve veřejné správě**
Název tématu: **Využití dat z UAV pro monitoring změn v okolí malých vodních ploch**
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 dat z UAV pro monitoring dynamiky vybraného zájmového území. Student projde celým procesem zpracování dat z UAV až po výslednou interpretaci.

Osnova:

- Dálkový průzkum Země.
- Digitální zpracování obrazu.
- Sledování změn v krajině.
- Bezpilotní létající systémy.
- Stávající stav řešení problematiky.
- Softwarové nástroje pro sledování změn v krajině.
- Charakteristika zájmového území.
- Zpracování dat z UAV pro sledování změn v zájmovém území.
- Interpretace výsledků.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **55 stran**

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

Seznam odborné literatury:

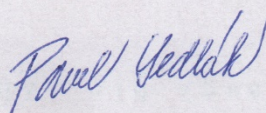
GRAW, V., OLDENBURG C., DUBOVYK O., KOFOL, Ch. Bush
Encroachment Mapping for Africa: Multi-scale analysis with remote sensing and GIS [online]. ZEF-Discussion Papers on Development Policy No. 218. ZEF - Center for Development Research University of Bonn, 2016.

RICHARDS, J. A a Xiuping JIA. Remote sensing digital image analysis: an introduction. 4th ed. Berlin: Springer, c2006. ISBN 978-3-540-25128-6.

TEDESCO, M. Remote sensing of the cryosphere. Hoboken, NJ: Wiley Blackwell, 2015. ISBN 978-1-118-36885-5.

LIU, Jian-Guo a Philippa J MASON. Image processing and GIS for remote sensing: techniques and applications. Second edition. Hoboken, NJ: John Wiley, 2016. ISBN 9781118724200.

EISMANN, Michael Theodore. Hyperspectral remote sensing. Bellingham, Wash.: SPIE Press, 2012. ISBN 978-0-8194-8787-2.



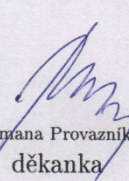
Vedoucí diplomové práce:

Mgr. Pavel Sedlák, Ph.D.

Ústav systémového inženýrství a informatiky

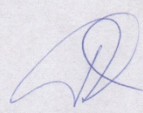
Datum zadání diplomové práce: **3. září 2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2019**



doc. Ing. Romana Provazníková, 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 29. 4. 2019

Tomáš Brzek

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych velmi rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu Mgr. Pavlovi Sedlákovi, Ph.D. za jeho odbornou pomoc, trpělivost, připomínky, cenné rady a poskytnuté materiály, které mi značně pomohli při zpracování této práce. Děkuji také Mgr. Karlovi Kubínovi za pomoc při gramatické kontrole práce.

ANOTACE

Tato diplomová práce se zabývá problematikou sledování změn v krajině na snímcích, pořízených pomocí bezpilotního létajícího systému. V práci je řešeno skládání snímků do výsledné ortofotomozaiky pomocí fotogrammetrických softwarových nástrojů. Dále je v práci charakterizována metodika zpracování digitálních obrazových dat a problematika dálkového průzkumu Země. Podkladem pro analýzu byly snímky ze čtyř letních měsíců roku 2018 pořízené dronem DJI Phantom 3 Standard. Tyto snímky byly analyzovány pomocí metod vizuální interpretace a neřízené klasifikace Iso Cluster. Interpretace obou metod, včetně následných porovnání rozloh jednotlivých povrchů na zájmovém území, byla vypracována v softwaru ArcGIS Desktop 10.2.

KLÍČOVÁ SLOVA

Dálkový průzkum Země, snímkování, sledování změn, vizuální interpretace, automatická klasifikace, UAV, bezpilotní létající systém, dron

TITLE

Use of UAV data to monitor changes around small water areas

ANNOTATION

This diploma thesis deals with the issue of tracking land cover changes in the landscape from images taken by an unmanned flying system. The thesis contains mosaicking of these images into final orthophoto mosaics with photogrammetric software tools. Furthermore, the thesis describes the methodology of digital image processing and remote sensing. Images were captured by drone DJI Phantom 3 Standard in four summer months of 2018. These images were analysed by both visual interpretation and non-supervised Iso Cluster classification methods. Outcomes of both mentioned methods, including side-by-side surface comparison was made in software ArcGIS Desktop 10.2.

KEYWORDS

Remote sensing, photography, land cover, land use, visual interpretation, automatic classification, UAV, unmanned aerial vehicle, drone

OBSAH

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	9
Seznam zkratek	10
Úvod	11
1 Dálkový průzkum Země	12
1.1 Metody DPZ	13
1.2 Historické milníky DPZ	14
1.3 Letecké snímkování	16
2 Digitální zpracování obrazu	17
2.1 Fotogrammetrie	18
2.2 Klasifikace obrazu	19
2.2.1 Řízená klasifikace obrazu	19
2.2.2 Neřízená klasifikace obrazu	20
2.2.3 Přesnost klasifikace a její vyhodnocení	21
3 Krajina a sledování změn v krajině	22
4 Bezpilotní létající systémy	23
4.1 Typy bezpilotních prostředků	25
4.2 Legislativa UAV v České republice	28
4.2.1 Ochrana osobních údajů	31
5 Stávající stav řešené problematiky	32
6 Softwarové nástroje pro zpracování dat z UAV	36
6.1 Agisoft Metashape	36
6.2 ENVI OneButton	37
6.3 ArcGIS Desktop	37
6.4 Pix4Dmapper	38
7 Zpracování dat z UAV pro sledování změn v zájmovém území	39
7.1 Vymezení území	39

7.2	Výběr vhodného softwaru.....	40
7.3	Sběr dat	41
7.4	Tvorba ortofotomozaiky	42
7.4.1	Pix4Dmapper	42
7.4.2	Agisoft Metashape	47
7.5	Digitalizace zájmového území.....	51
7.5.1	Vizuální interpretace.....	51
7.5.2	Automatická klasifikace	54
7.5.3	Porovnání výsledků vizuální interpretace a automatické klasifikace	57
8	Interpretace výsledků	59
	Závěr	61
	Použitá literatura	63
	Přílohy.....	68

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Proces DPZ.....	13
Obrázek 2 - Fotografie z kamery na prsou holuba.....	15
Obrázek 3 - Klasifikace UAV	24
Obrázek 4 - UCAV General Atomics MQ-9 Reaper	25
Obrázek 5 - UAV Balón pro pořizování leteckých fotografií.....	26
Obrázek 6 - UAV Paraglide	27
Obrázek 7 - DJI Phantom 3 Standard.....	27
Obrázek 8 - Webová aplikace DronView	30
Obrázek 9 - Rybník Skříň	39
Obrázek 10 - Parametry letové mise	41
Obrázek 11 - Point cloud v Pix4Dmapper	43
Obrázek 12 - Červencová ortofotomozaika z Pix4Dmapper	44
Obrázek 13 - Ořez červencového zájmového území z Pix4Dmapper.....	44
Obrázek 14 - Srpnová ortofotomozaika z Pix4Dmapper	45
Obrázek 15 - Ořez srpnového zájmového území z Pix4Dmapper	45
Obrázek 16 - Kontrola kvality z reportu Pix4Dmapper	46
Obrázek 17 - Květnová ortofotomozaika z Pix4Dmapper.....	46
Obrázek 18 - Červnová ortofotomozaika z Pix4Dmapper.....	47
Obrázek 19 - Prostředí Agisoft Metashape – Srpnový Dense cloud.....	48
Obrázek 20 - Porovnání výstupů z obou použitých nástrojů	50
Obrázek 21 - Nastavení „Stretch“ ve vlastnostech červnové mozaiky	52
Obrázek 22 - Digitalizace eroze v zaplavovaném území	53
Obrázek 23 - Iso Cluster klasifikace s výstupem 40 tříd	55

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Parametry osobního počítače.....	49
Tabulka 2 – Klasifikační schéma 3 sledovaných druhů povrchů.....	51
Tabulka 3 - Porovnání výsledků obou zvolených metod.....	57

SEZNAM ZKRATEK

DEM	Digital Elevation Model
DSM	Digital Surface Model
DPZ	Dálkový průzkum Země
DTM	Digital Terrain Model
PDF	Portable Document Format
RGB	barvený model Red Green Blue
UAS	Unmanned Aerial System
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
ÚCL	Úřad pro civilní letectví

ÚVOD

Objevování a poznávání planety Země je zakořeněné v lidském snažení již od samotného počátku lidské existence. Toto snažení bylo vlivem technologického pokroku postupem času značně usnadněno. První letecké snímky, byly pořízeny až společně s vývojem letadel na přelomu 19. a 20. století, a posléze v první světové válce.

Krajina se vlivem lidské činnosti a přírodních cyklů neustále mění a pro mnoho vědeckých oborů je sledování těchto změn zdrojem důležitých informací. Proto je letecké snímkování důležitá oblast v Dálkovém průzkumu Země (DPZ). Pomocí snímků pořízených z ptačí perspektivy lze totiž sledovat a porovnávat vybrané území v různých časových horizontech.

V současné době zažívají velký rozmach bezpilotní letadla zvané drony. Drony byly ve svých počátcích určené spíše pro armádní účely, ke sledování prostor na nepřátelském území bez rizika. Společně s miniaturizací a modernizací se drony dostaly do zájmu odborné i laické veřejnosti. Velký vliv na to mělo i všeobecné zlepšení cenové dostupnosti bezpilotních letounů. Kvůli postupnému rozšiřování malých i středních dronů bylo potřeba vytvořit legislativní opatření všude ve světě. U nás má tuto úlohu Úřad pro civilní letectví (ÚCL), který vypracoval Doplněk X, k leteckému předpisu L2. Doplněk X jasně stanovuje, co, kde a za jakých podmínek je s dronem dovoleno.

Sledování změn v krajině pomocí dronů je podle (Manfreda, 2018) v aktuální chvíli nejlevnější možné řešení oproti satelitnímu snímání. V jistých případech stačí i snímání ve viditelném pásmu.

Další výhodou dronů je jejich zvyšující se nosnost. Drony jsou dnes schopny nést zařízení o váze několika kilogramů. To znamená, že je možné dron osadit digitální zrcadlovkou, termální kamerou nebo různými senzory dle zvolené aplikace.

Tato práce si klade za cíl využít data z UAV pro monitoring změn v okolí malých vodních ploch. Jsou v ní uvedeny informace k problematice DPZ a zpracování digitálních obrazových dat. Dále se práce věnuje základnímu členění UAV, včetně české legislativy, která se jich týká. Ve stávajícím stavu řešené problematiky je zmíněno několik prací, zabývajících se využitím dronů v různých podoblastech DPZ. V práci je řešeno, jakým způsobem je vytvořena ortofotomozaika ze snímků z dronu, nebo jaké existují metody interpretování změn v krajině, včetně jejich implementace v softwaru ArcMap.

1 DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ

DPZ je považován za moderní vědeckou disciplínu, hojně využívanou především v kartografii (vytváření map), meteorologii (předpověď počasí a analýza atmosféry) či zemědělství (vyhodnocování stavu vegetace a úrody). Jedná se o vědu, která se dle definice Lillesanda a Kiefera (Lillesand, c2008) zabývá sběrem a následnou analýzou informací o zemských objektech a jevech, snímaných prostřednictvím zařízení, která nejsou ve fyzickém kontaktu s těmito jevy.

Změnou povrchu Země zapříčiněnou hlavně lidskou činností se v této vědecké oblasti nabízejí stále nové možnosti dalšího výzkumu. Důvodem je pořizování leteckých i družicových snímků se stále lepším rozlišením a větší škálou snímaných spekter.

Marc Tedesco (2015) ve své práci odkazuje na DPZ jako na „Soubor technik, nástrojů, dat a senzorů, které nám umožňují studovat Zemi a její procesy ze vzduchu a vesmíru, kdy senzory nejsou v kontaktu s jevy podrobenými zkoumání.“ James Campbell (c2011) zase pro účely své knihy specificky definoval DPZ jako „Praxi odvozování informací o zemském povrchu a vodních plochách pomocí snímků získaných z ptáčích perspektivy, s použitím elektromagnetického záření v jedné nebo více oblastech elektromagnetického spektra, odráženého od plochy Země.“ Autor Dobrovolný (1998, s. 6) shrnuje definici DPZ slovy „*Jde o zkoumání zemského povrchu (vody i souše), ale i dolních vrstev atmosféry, případně také určité vrstvy sedimentů či vrstvy vodního sloupce, ale také i o zkoumání jevů a procesů, které zde probíhají, na dálku. K tomu je využíváno jednoho nebo několika intervalů vlnových délek tzv. elektromagnetického záření.*“

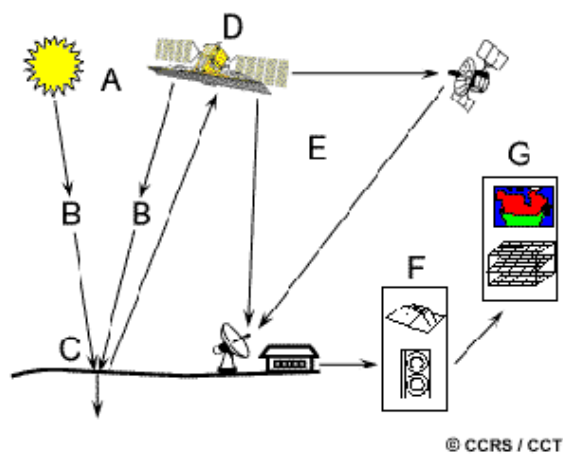
I když se definice DPZ v mnoha různých, ať už tuzemských nebo zahraničních publikacích svým výkladem liší, tak jejich podstata sdělení je jasná. Obecně je dálkový průzkum Země metoda bezkontaktního sběru informací o zemských objektech, kdy následně dochází k jejich analýze a interpretaci.

Z výše uvedeného vyplývá, že základním principem DPZ je zkoumání elektromagnetického záření. Každý objekt na Zemi je buď sám zdrojem elektromagnetického záření nebo ho odráží, to záleží na fyzikálních vlastnostech daného objektu. Spektrum tohoto záření je velmi široké a lidské oko dokáže vidět jen jeho frakci, mezi známé části spektra patří například rádiové vlny, ultrafialové paprsky, infračervené záření atd.

1.1 Metody DPZ

Dálkový průzkum Země je rozdělen do dvou hlavních kategorií dle druhu pořízených dat. Mezi konvenční metody se řadí pořizování snímků pomocí leteckých či družicových nosičů provedené centrální projekcí. Fotografické snímky sice nejsou schopny zachytit tak široké spektrum záření, ale poskytují větší detail a prostorové rozlišení. Mezi nekonvenční metody patří skenování dané oblasti po řádcích, přístrojem na měření radiace – radiometrem. Naopak nekonvenčně pořízená data pro DPZ poskytují mnohem více informací o elektromagnetickém záření, tedy mají větší spektrální rozlišení. Další možností je dělení dle elektromagnetického záření. Pasivní metoda zkoumá odražené záření od zkoumaného objektu, kdežto skupina aktivních metod pořizuje záznam takových objektů, které jsou sami zdrojem nějakého záření. Dále je dělení podle druhu nosiče. Nosičem snímacího zařízení jsou nejčastěji letadla, drony nebo družice, mohou to ovšem být i balóny či vrtulníky. V závislosti na zaznamenávané části elektromagnetického spektra lze rozlišit snímky zaznamenané v jedné části spektra, ty se nazývají monochromatické či panchromatické. Nebo lze zaznamenávat v dalších jednotlivých pásmech jako je například infračervené či tepelné, v případě, kdy je snímáno několik pásem najednou, v poslední době se může jednat o stovky až tisíce pásem, jde o hyperspektrální snímek. V neposlední řadě lze také DPZ lišit podle velikosti snímaného území. Jednotlivé záběry je možné pořádit detailně (nejvyšší detail), lokálně, oblastně a globálně (nejmenší detail). (Dobrovolný, 1998; Halounová, 2005)

Obrázek č. 1 znázorňuje proces DPZ kde bod A je zdrojem energie, body B interakce s atmosférou, bod C interakce s předmětem, bod D zaznamenání záření, bod E přenos zaznamenaného záření, bod F, interpretace a analýza a bod G výstupní aplikace.



Obrázek 1 - Proces DPZ

Zdroj: [50]

1.2 Historické milníky DPZ

Počátky DPZ jsou kvůli své úzké provázanosti s fotografií datované přibližně do stejných let. Jako první z velkých objevů tohoto odvětví se označuje objev infračerveného záření, jenž byl učiněn roku 1800 sirem Williamem Herschelem, anglickým fyzikem a konstruktérem dalekohledů. Počátky prvních fotografií jsou datovány do čtyřicátých let, téhož století, kdy se povedlo umělci Louisi Daguerreovi pořídit jednu z prvních fotografií. (Campbell, c2011; Dobrovolný, 1998)

První fotografie, která alespoň lehce může připomínat dnešní snímky DPZ, byla pořízena v roce 1858 z balónu francouzským fotografem Tournaconem, který byl spíše známý pod pseudonymem „Nadar“. Fotografoval z výšky kolem 80 metrů městečko Bievre, které se nachází poblíž Paříže. Několik dalších desítek let byla převážná většina snímků provedena z balónů či létajících draků, a v roce 1903 si nechal Julius Neubronner patentovat fotografickou komoru připevněnou na prsa holuba viz obrázek č. 2. (Dobrovolný, 1998)

Jako další důležitý milník pro první snímky ze vzduchu udává Cambell (c2011) vyvinutí prvních letadel. Wilbur Wright, který v roce 1909 pilotoval první letadlo osazené fotoaparátem, byl u pořízení snímků italské krajiny poblíž Centocelli, tyto snímky jsou proto označovány za vůbec první, které jsou pořízené z letadla.

V první světové válce se stalo letadlo hlavním nosičem kamery jakožto snímkovacího zařízení, ale výrazný pokrok odvětví DPZ zaregistrovalo až krátce po konci druhé světové války. Léta před druhou světovou válkou byla pro DPZ ve Spojených státech amerických časy velmi pomalého, ale neustálého rozvoje, především z důvodu špatné ekonomické situace. Velmi se spekulovalo o praktickém využití a roli leteckých fotografií. Špatná ekonomická situace směřovala vývoj letecké fotografie spíše ke zefektivnění jejího využití, tedy územnímu plánování, sledování zásob vody nebo erozi půdy. Vývoj raketové technologie, první mise do kosmu a vynález radaru, velmi přispěly k dalšímu rozvoji DPZ, jak ho známe dnes. (Campbell, c2011; Dobrovolný, 1998)

V 60. letech 20. století byl prvně vyřčen termín „Remote sensing“ – tedy dálkový průzkum – jako výraz pro tuto činnost, vědkyní Evelyn Pruittovou, která nadále neviděla termín letecké fotografie jako vhodný. Ve stejném desetiletí NASA (Národní úřad pro letectví a kosmonautiku) vytvořila program pro dálkový průzkum země, který měl následující dekády zastřešit výzkum DPZ ve všech institucích napříč Spojenými státy. (Campbell, c2011)

Rok 1972 byl označen jako další milník v historii DPZ, protože v tomto roce byl spuštěn první satelit obíhající Zemi s názvem Landsat-1. Tento satelit byl důležitý z mnoha důvodů a měl několik přínosů pro vědeckou, později i širokou veřejnost. Jako první totiž dokázal poskytovat systematicky pravidelné záběry zemského povrchu. Díky tomu se rozrostl počet vědců se zájmem o multispektrální data. Ta se do té doby zpracovávala především mechanickými metodami. Nyní, když byla data dostupná i v digitální podobě, dostala prostor digitální analýza obrazu, která měla za následky zlepšení v přesnosti a zefektivnění procesu získávání dat pro DPZ. (Campbell, c2011)

Dobrovolný (1998) zmiňuje, že společně s velkým pokrokem v oblasti informační technologie v 80. a 90. letech byli k dispozici další nástroje ke zlepšování systémů DPZ, a to hlavně v prostorovém rozlišení, které bylo neustále větší. V pozdějších 90. letech se toto rozlišení pohybovalo již pouze kolem několika metrů, nebo pod úrovní metru. Stejně tak se vývoj projevil v oblasti multispektrálního a hyperspektrálního snímkování, kdy v předešlých letech bylo možné snímkovat maximálně několik pásem záření najednou, nyní to byly desítky, stovky, a v dnešní době několik tisíc pásem.

Campbell (c2011) připisuje velké zásluhy také projektu Google Earth. Ve 21. století se totiž především díky internetu dostává DPZ jako zájmová oblast do široké veřejnosti, a to mj. právě zásluhou projektu společnosti Google, jenž se nazývá Google Earth. Je to počítačová simulace zemského tělesa složená z různých digitálních snímků. Tento projekt zábavnou a chytlavou formou prezentoval zemský povrch i neodbornému publiku. Do té doby byla odborná znalost DPZ skoro nutností pro jeho zkoumání.



Obrázek 2 - Fotografie z kamery na prsou holuba

Zdroj: [49]

1.3 Letecké snímkování

Již v předešlé kapitole lze najít několik informací o této disciplíně, která tvoří velmi důležitou roli v DPZ. Přesná definice leteckého snímkování je velmi těžko dohledatelná, protože se jedná spíše o ustálené slovní spojení dvou, významově jasných slov.

Podle Britannica Academic (©2010) lze letecké snímkování definovat jako techniku fotografování Země nebo prvky její atmosféry pomocí kamer připevněných na letadlo, raketu nebo satelity obíhající planetu Zemi a další umělá kosmická tělesa.

Dobrovolný (1998, s. 7) ve své knize tvrdí, že „*Obrazové materiály pořízené z letadla nebo družice zaznamenávají prostorovou informaci podobně jako topografická či tematická mapa a podobně, jako tyto dva druhy map, obsahují také snímky zemského povrchu dva druhy informací. Prvním druhem je informace o poloze, tvaru či velikosti objektů. Druhým typem informace je informace tematická – tedy například o druhu vegetace.*“

Letecké snímkování je jednou z nejběžnějších a nejuniverzálnějších metod DPZ a oproti snímání ze zemského povrchu nabízí několik výhod, dle Lillesanda (c2008) je to:

1. Pohled z ptačí perspektivy
2. Zachycení situace v daném okamžiku
3. Monitorování změn v čase
4. Více spektrálních pásem
5. Větší detail a geometrická přesnost

Letecké snímkování se zabývá pořizováním digitální fotografie či videa. Pro pořízení těchto snímků či záběrů na menších nosičích jako jsou drony, ultralehká letadla nebo létající balóny slouží například digitální akční kamery, digitální fotoaparáty nebo zrcadlovky. Na větší nosiče, kde není tolik nutné hledět na váhu zařízení pořizujícího snímky, se osazují velko-formátové digitální kamery, které jsou schopné pořizovat snímky i ve velikosti několika stovek megapixelů. Například jedna z nejmodernějších kamer pro letecké snímkování – Vexcel UltraCam Eagle Mark 3 (Vexcel Imaging GmbH, ©2018) nabízí rozlišení ve výši 450 megapixelů a při snímkování z výšky 5 km nad zemí dokáže zachytit detaily do 10 cm GSD (GSD je anglická zkratka pro termín Ground Sample Distance [The John A. Dutton e-Education Institute, ©2014], čemuž lze přirovnat český termín prostorové rozlišení – tedy jak jsou jednotlivé pixely snímku od sebe daleko ve skutečnosti – pozn. autora).

2 DIGITÁLNÍ ZPRACOVÁNÍ OBRAZU

Zpracování obrazu je jakákoliv forma zpracování signálu, u které je vstupními daty obraz nebo video a výstupními daty opět obraz nebo soubor různých charakteristik vztahujících se k obrazu. Jedná se o digitální zpracování, tedy jediným požadavkem na obraz je fakt, aby byl v digitální podobě.

Hlavní představa o digitálním zpracování obrazu je vcelku jednoduchá. V počítači je zvolený snímek (většinou po jednotlivých pixelech) podroben vybraným rovnicím nebo sérii rovnic, a výsledky tohoto procesu jsou opět uloženy pro každý pixel obrázku. Tyto výsledky ztvárňují nový obrázek, který buď může být rovnou interpretován nebo podroben dalším úpravám. (Lillesand, c2008)

John A. Richards (c2006) popisuje dvě hlavní úskalí digitálního zpracování obrazu ve své knize následovně. Prvním problémem se týká různorodosti jednotlivých rozlišení, při zpracování dat z různých satelitních zdrojů. Analytik se tak musí rozhodnout, které společné rozlišení použije při koregistraci dat, poněvadž ostatní rozlišení budou poté ztracena. Toto rozhodnutí však stojí spíše na analytikovi a cílené aplikaci práce než na algoritmu. Druhým, vážnějším problémem u strojového zpracování je kombinace hyperspektrálních a prostorových dat, kdy prostorová data často nejsou v číselné, ale spíše nominální či liniové (vektory, topologie apod.) podobě. Zde si totiž algebraicky vytvořené algoritmy pro strojové zpracování obrazu nebudou schopny poradit.

Předzpracování obrazu cílí na odstranění nedokonalostí či korekci obrazu. To standardně zahrnuje zpracování „surových“ dat, geometrickou a radiometrickou kalibraci včetně odstranění šumu z obrázku. Tyto procedury se odvíjejí od toho, jakým objektivem a za jakých podmínek byl snímek pořízen. (Lillesand, c2008)

Metody zvýraznění obrazu jsou aplikovány na data za účelem lepšího vyobrazení pro další zpracování či lepší vizualizaci. Mezi ně patří práce s kontrastem, jednotlivými stupni šedi nebo spektrálními pásmy, ostření obrazu či zvýraznění hran. Cílem je vytvoření takového obrazu, který bude lépe interpretovat požadovanou informaci. (Dobrovolný, 1998)

2.1 Fotogrammetrie

Fotogrammetrie je metoda, která se zabývá geometrickými vlastnostmi a zpracováváním leteckých snímků. Jejím hlavním produktem jsou digitální výškové a terénní modely (DEM a DTM), ortofoto a 2D/3D rekonstrukce nebo klasifikace objektů pro mapové či tematické aplikace. Dále slouží pro vizualizace, tj. mapy, simulace a 3D pohledy. (Baltsavias, 1999)

Pro mapování vlastností terénu jsou jednotlivé snímky pořízené takovým způsobem, že se navzájem v sérii překrývají. Toho je docíleno systematickým letovým vzorcem na určité letové hladině. (Britannica Academic, ©2010)

Dobrovolný (2005, s. 2-3) ve svých vyučovacích materiálech uvádí, že „*Největší využití má letecká fotogrammetrie v mapové tvorbě (geodézii a kartografii) – v tvorbě topografických map a map tematických, potřebných v nejrůznějších oborech lidské činnosti (lesnictví, zemědělství, pozemkové úpravy, geologie, archeologie, vojenství, plánování atd.).*“

Podle způsobu zpracování letecké fotografie se tato metoda dělí na analogovou, analytickou a digitální. Analogické snímky byly vyhodnocovány pomocí přístroje zvaného Stereokomparátor, kde byl stereoskopicky vyměřován model vytvořený z dvojice překrývajících se fotografií optickou cestou. V analytické fotogrammetrii bylo využíváno tzv. analytického stereoplotteru. Digitální data se zpracovávají pomocí digitální fotogrammetrické stanice, která se objevila až s větším rozvojem informačních technologií. Jedná se o osobní počítač vybavený navíc o speciální hardwarové součástky a programy, které usnadňují proces sestavování modelu. Mezi speciální prvky hardwaru patří výrazně vyšší RAM paměť, RAID diskové pole, čipy pro HW kompresi, panoramatické monitory, specifické grafické adaptéry a brýle umožňující stereo vidění nebo 3D polohovací zařízení. (Dobrovolný, 2005)

Za technikou fotogrammetrie stojí celá řada výpočtů a složitých algoritmů zabývajících se vytvářením požadovaných modelů či analýz. Tyto algoritmy jsou neustále podrobovány optimalizačním testům a procházejí různými vylepšeními, aby byly jejich výsledky rychlejší a přesnější. U každého snímku totiž záleží, jakou kamerou, resp. objektivem byl vyfocen, pod jakým úhlem a v jaké letové hladině. V úplném důsledku může mít i zakřivení zemského povrchu vliv na zkreslení daného snímku. To vše ovlivňuje konečný vytvořený model nebo mapu.

2.2 Klasifikace obrazu

Jednou z možných analýz obrazu je proces zvaný klasifikace obrazu, která se do jisté míry snaží o nahrazení činností, které běžně vykonává lidský zrak.

Klasifikací obrazu je myšlen proces nahrazení vizuální analýzy obrazu automaticky identifikovanými prvky ve scéně. Klasifikace se běžně provádí za pomoci zkoumání spektrálního chování objektů a aplikace statistiky či rozhodovacích pravidel pro rozhodování o pokrytí terénu. Lze však klasifikovat i na základě geometrických a prostorových vlastností objektů, jako je třeba tvar, velikost, topologie atd. (Lillesand, c2008)

Dále existuje rozdělení metod klasifikace na učení s učitelem a učení bez učitele (nebo také řízenou a neřízenou) či jejich hybridní kombinace, právě jejich rozumná kombinace často znamená dosažení optimálních výsledků. U metody učení s učitelem musí být splněn předpoklad, že má analytik dostatek známých pixelů pro každou třídu v oblasti zájmu (tzv. klasifikátorů). Tato množina pixelů je označována jako trénovací data. S těmi je pak dle využití metody dále nakládáno v rámci klasifikace. Metody učení bez učitele využívají tzv. segmentace, shlukování nebo seskupování, kdy jsou multispektrální obrazová data rozdělena do různých spektrálních tříd s tím, že se označí (zpravidla nějakým názvem). Algoritmus se zjednodušeně řečeno snaží o to, aby každý pixel na obrázku, co má stejný název měl i podobnou charakteristiku. (Richards, c2006)

Mezi známé řízené metody klasifikace patří např. *minimum distance classifier* nebo *maximum likelihood classifier*. Jedna z nejznámějších metod neřízené klasifikace je algoritmus *k-means* a *ISODATA*. (Acharya, 2005)

2.2.1 Řízená klasifikace obrazu

U parametricky řízené klasifikace obrazu jsou nejprve klasifikátory „trénovány“ pomocí předem označených vzorků za účelem zjištění různých statistických parametrů jako je např. průměr, odchylka atp. Označené vzorky jsou takové pixely, které byly předem vybrány např. pro jednotlivé druhy povrchů na obrázku (land cover) a vytvořili tak vstupní vektor pro tuto tzv. Training phase – trénovací fázi. (Acharya, 2005)

Dále následuje Classification phase – Klasifikační fáze, kdy dochází k přiřazování kategorií jednotlivým obrazovým bodům. Pokud má pixel podobné vlastnosti jako některé pixely z trénovacích dat, je označen a zařazen do této skupiny. Pokud se pixel nepodobá žádnému z předem

definovaných, je označen jako „neznámý“. Tyto pixely jsou poté vyskládány tak, aby vytvořily matici o stejné velikosti jako původní obraz, ale zároveň i jeho zcela novou interpretaci (Output phase – Fáze výstupu). (Lillesand, c2008)

Dobrovolný (1998) rozděluje proces řízené klasifikace konkrétněji do následujících bodů:

1. Vytvoření trénovací ploch
2. Výpočet statistických parametrů pro prvky trénovacího souboru za účelem vytvoření kategorií
3. Výběr vhodného klasifikátoru pro třídění pixelů
4. Třídění pixelů
5. Vyhodnocení a interpretace výsledků klasifikace

2.2.2 Neřízená klasifikace obrazu

Z výše uvedeného i ze samotného názvu klasifikace vyplývá, že tyto metody nevyužívají žádná trénovací data jako podklad pro klasifikaci. Tyto algoritmy zařídí pixely na základě přirozeného shlukování hodnot v obrázku. Základním předpokladem pro neřízenou klasifikaci je, že by tyto hodnoty měli být blízko u sebe, zatímco data mezi jednotlivými třídami by měla být snadno odlišitelná. (Lillesand, c2008)

Dále je podle Lillesanda (c2008) pro lepší porozumění rozdílu mezi řízenou a neřízenou klasifikací vhodná následující charakteristika. Výsledkem neřízené klasifikace je rozdělení obrazu do jednotlivých tříd – stejně jako u řízené klasifikace s tím rozdílem, že tady musí analytik porovnat vytvořené spektrální třídy s nějakými dalšími referenčními daty po provedené klasifikaci, a teprve poté jim vdechnout korektní geografický význam. Naopak u řízené klasifikace jsou informace pro tyto kategorie vytvořené analytikem před samotnou klasifikací a až poté je zkoumána jejich spektrální odlišnost.

Neřízená klasifikace má oproti svému protikladu výhodu ve svých nárocích na práci analytika. Není zde totiž nutné se tolik zabývat správnou identifikací jednotlivých trénovacích povrchů. Oproti tomu je však mnohem výpočetně náročnější. Často bývá nutné provést až 20 dalších opakování pro akceptovatelné výsledky shlukovacích metod. Kvůli její časové náročnosti bývá často využívána spíše s menšími sekvencemi obrázků. (Richards, c2006)

2.2.3 Přesnost klasifikace a její vyhodnocení

Podle většiny publikací je přesnost klasifikace velmi důležitým, ba možná nejdůležitějším krokem v jejím procesu. Je to totiž jediný údaj, podle kterého lze určit výkonnost a spolehlivost použitého klasifikačního algoritmu. Lillesand (c2008) dokonce tvrdí, že klasifikace není ukončena, dokud není zhodnocena její přesnost.

Nejlepším způsobem, jak určit přesnost je porovnání původních pixelů a pixelů klasifikovaných, pomocí tzv. chybové matice (angl. confusion/error matrix). Chybová matice je matice o rozměru m pixelů, kde m je počet tříd. Prvky ležící na hlavní diagonále matice představují korektně zařazené pixely, když je jejich suma vydělena celkovým počtem klasifikovaných pixelů, výsledkem je přesnost klasifikace. Další důležitou charakteristikou chybové matice je počet omylů z opomenutí (angl. omission error) a omylů z nesprávného přiřazení (angl. commission error). Omyl z opomenutí je takový pixel mimo hlavní diagonálu, který byl klasifikován chybně mimo svoji správnou referenční třídu v příslušném řádku matice. Omyl z nesprávného přiřazení je pixel v příslušném sloupci matice, který byl nesprávně zařazen do uvažované třídy, a přitom patří ve skutečnosti do třídy jiné. (Acharya, 2005)

3 KRAJINA A SLEDOVÁNÍ ZMĚN V KRAJINĚ

Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny §3 odst1 písm. m České republiky vymezuje pojem krajiny jako „*část zemského povrchu s charakteristickým reliéfem, tvořená souborem funkčně propojených ekosystémů a civilizačními prvky*“.

Dříve byl pojem krajina využíván především synonymem pro slova, jako jsou region nebo provincie. Oproti dnešku, kdy je tento termín specificky vykládán dle příslušné oborové disciplíny, píše ve své knize autorka Salašová (2014). Salašová (2014, s. 14) dále o krajině tvrdí, že se jedná o „*velmi komplikovaný přírodní a socioekonomický fenomén*“ a její všeobecná definice zní následovně „*Krajina je systém, který lze definovat a vymezit v prostoru a čase. Vyznačuje se vlastní strukturou, genetickými procesy, kybernetikou a fyziologií.*“

Dle článku, pojednávajícím o využití krajiny (Reis, 2008) jsou změny v krajině již od počátku 20. století často zmiňovaným tématem napříč ekologickými studiemi. Součástí sledování změn v krajině v čase je například sledování zastoupení jednotlivých krajinných složek, sledování jejich dynamiky (zvětšování či zmenšování) nebo prostorového rozložení.

„*Celkové změny v krajině, zejména ve způsobu využívání krajiny (Land Use – dále LU pozn. autora) se nejvýhodněji monitorují pomocí časové řady leteckých, případně družicových snímků, které nejlépe zobrazují narušení, plošné devastace, změny krajinné struktury, proměny krajinné matrice atd.*“ (Lipský, 1999, s. 8)

Využití půdy (LU) a změny krajinného pokryvu (Land Cover – dále LC) hrají hlavní roli ve vztahu ke globálním změnám. Lidské přičinění vedlo do značné míry k odlesnění, ztrátě biodiverzity a ke zvýšení globálnímu oteplování a zvýšenému výskytu přírodních katastrof. Tyto změny jsou obvykle přisuzovány LU a LC. Dostupná data k těmto disciplínám mohou mít značný dopad na rozhodování v managementu prostředí a plánování budoucnosti. (Reis, 2008)

Každá mapa se ve chvíli svého vzniku stává historickým dokumentem o stavu krajiny k datu mapování. Při jejím vydání je tedy už zastaralá v porovnání s aktuálním stavem krajiny. Při dalším zkoumání přímo v terénu tak už může sloužit jako materiál ke sledování nejaktuálnějších změn v krajině. (Lipský, 1999)

„*Území České republiky je vzhledem k dlouhé tradici a vysoké úrovni kartografické tvorby pokryté hustou sítí topografických a základních map velkých a středních měřítek. Tyto mapy se stále aktualizují a obnovují.*“ (Lipský, 1999, s. 31)

4 BEZPILOTNÍ LÉTAJÍCÍ SYSTÉMY

Zkratky jako UAV nebo UAS jsou anglickým akronymem pro sousloví Unmanned Aerial Vehicle, což lze přeložit jako bezpilotní létající prostředek, taktéž označovaný jako dron. Jak už z názvu vyplývá, jedná se o prostředky bez přítomnosti pilota na palubě. Tyto systémy jsou buď dálkově ovládaný pilotem ze země anebo jsou předem naprogramovány tak, aby byly zcela autonomní. Mezi UAS se řadí takové systémy, které jsou schopny kontrolovat svoji výšku, letovou hladinu a jsou poháněny vlastním motorem, mimo rakety. (The UAV, ©2006)

Český Úřad pro civilní letectví (©2011) definuje bezpilotní letadla a bezpilotní systémy následovně:

*„**Bezpilotní letadlo (UA)** je letadlo určené k provozu bez pilota na palubě (může se jednat a většinou se jedná o součást bezpilotního systému). V kontextu legislativního rámce České republiky se za bezpilotní letadla považují všechna bezpilotní letadla s výjimkou modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nepřesahující 20 kg.“*

*„**Bezpilotní systém (UAS)** je systém skládající se z bezpilotního letadla, řídicí stanice a jakéhokoliv dalšího prvku nezbytného k umožnění letu, jako například komunikačního spojení a zařízení pro vypuštění a návrat. Bezpilotních letadel, řídicích stanic nebo zařízení pro vypuštění a návrat může být v rámci bezpilotního systému více.“*

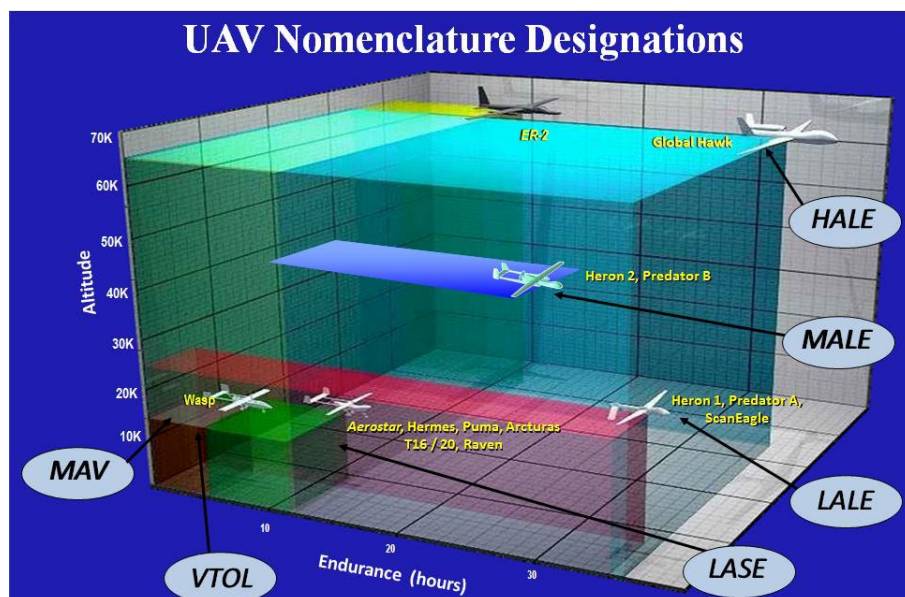
Drony jsou dnes využívány v široké škále oblastí: přes monitorování změn klimatu a přírodních katastrof až po doručování zásilek, fotografování nebo natáčení videí. Jejich nejnámější funkcí je však i z historického pohledu funkce armádní. Armádní ve smyslu pozorování či rozpoznávání objektů a plánování útoků, především v místech, kam se pozemní jednotky nemohou bezpečně dostat. Jejich využití v nastávajících konfliktech vzneslo na povrch mnoho otázek týkajících se etiky tohoto druhu výzbroje, zvláště pak když se jednalo o smrt civilistů v důsledku nepřesných dat či jejich blízkosti k údajným cílům. (Imperial War Museum, ©2019)

Bezpilotní stroje lze obecně dělit na základě několika vlastností, například dle velikosti, délky letu a letové hladiny. Watts (2012) ve své práci uvádí nejčastější rozdělení dronů do následujících kategorií (také viz obrázek č. 3).

- **MAV (Miniature Air Vehicles)** – Miniaturní létající prostředky – jsou tak nazývány z důvodu jejich velikosti. Tyto drony se vejdou např. do vojenského batohu a je tak

možné je mít kdekoliv u sebe. Mají také tendenci operovat na velmi nízké letové hladině, zpravidla kolem 330 m a doba letu se kvůli velikosti baterie pohybuje od 5 do 30 minut.

- **VTOL (Vertical Take-Off & Landing)** – Vertikální vzlet a přistání. Tento typ UAV nepotřebuje ke svému vzletu žádný rozjezd, a proto je využíván tam, kde jsou nějaké terénní komplikace a omezení. Operují většinou na nízkých letových hladinách a díky nárokům na jejich vznášejících se povahu nevydrží dlouho ve vzduchu.
- **LASE (Low Altitude, Short Endurance)** – Nízká výška, krátká výdrž. Někdy také nazývané jako sUAS, kdy malé *s* značí small (malé – pozn. autora). Ke svému vzletu také nepotřebují ranvej, váží 2-5 kg a rozpor křídel dosahuje maximálně 3 m. Díky tomu je lze spustit z katapultu nebo ruky. Doba letu je od 1 do 2 hodin a pouze do vzdálenosti pár kilometrů od pozemní stanice.
- **LALE (Low Altitude, Long Endurance)** - Nízká výška, dlouhá výdrž. Vyšší třída sUAS. Dokáží nést náklad ve výšce pár tisíc metrů delší dobu.
- **MALE (Medium Altitude, Long Endurance)** – Střední výška, dlouhá výdrž. Tyto stroje operují ve výšce až 9 km a dolet dosahuje stovek kilometrů od pozemní stanice.
- **HALE (High Altitude, Long Endurance)** – Velká výška, dlouhá výdrž. Systémy HALE jsou největšími a nejkomplexnějšími stroji mezi UAS. Dolétnou až do výšky 20 km a letová doba přesahuje 30 hodin.



Obrázek 3 - Klasifikace UAV

Zdroj: [26]

Dále lze klasifikovat drony i na základě jejich primární funkce. Web The UAV (©2006) je dělí do pěti kategorií dle oblasti využití následovně:

- **Cíl a nástraha** – Simulace nepřátelského letounu nebo rakety
- **Průzkumové** – Poskytnutí informací z bojiště
- **Bojové** – Drony se schopností útoku v misích s vysokým rizikem (Unmanned Combat Air Vehicle –UCAV)
- **Výzkumné** – Slouží k dalšímu vývoji technologií UAV a jejich integraci do nich
- **Civilní a komerční UAV** – Speciálně určené UAV pro civilní a obchodní účely

4.1 Typy bezpilotních prostředků

Letadla

Letadla jsou díky své povaze i historii hlavními představiteli bezpilotních systémů spadajících do kategorie „těžší než vzduch“. Letadla se dále dají rozlišit dle počtu a tvaru jejich křídel, pohonu nebo účelu. Do kategorie letadel se také řadí kluzáky, které jsou známé pod přezdívkou jako „větroně“.



Obrázek 4 - UCAV General Atomics MQ-9 Reaper

Zdroj: [17]

Vrtulníky

Vrtulníky jsou ve většině případů, na rozdíl od letadel, znatelně pomalejší stroje, ale mají oproti nim tu výhodu, že mají možnost se vznášet nad určitým bodem po delší dobu. Díky svému kolmému vzletu i přistání jsou využívány hlavně v místech s náročným terénem.

Balóny a vzducholodě

Oba zmíněné prostředky patří do kategorie „lehčí než vzduch“, ale také jsou oba nejméně finančně náročné. Jejich fungování zaručují zákony fyziky, ty jim však také zároveň přináší nesnáze. Balóny a vzducholodě jsou velmi limitované ve směru jejich nosnosti a ovladatelnosti. V horších povětrnostních podmínkách pak může dojít k mnoha komplikacím. V ideálním prostředí však vydrží létat o mnohem déle než nejpokročilejší UAS. Díky jejich pomalému pohybu nenesou velké nároky na stabilizaci snímkování.



Obrázek 5 - UAV Balón pro pořizování leteckých fotografií

Zdroj: [16]

Paraglide

Mimo sport je paraglide také hojně využíván jako UAV. K plachtění využívá stoupavých vzdušných proudů pomocí padákového kluzáku, kdy je pod ním zavěšeno snímací zařízení a případně motor jako hnací zařízení. Na rozdíl od ostatních bezpilotních systémů nepotřebuje tolik pozemní podpory a nepředstavuje tak velké finanční náklady.



Obrázek 6 - UAV Paraglide

Zdroj: [43]

Multikoptéry

Kvadrokoptéry, hexakoptéry či oktokopty, které jsou svojí stabilitou a jednoduchou ovladatelností velmi efektivním bezpilotním prostředkem, dosahují v dnešní době své největší popularity mezi širokou veřejností. Mezi nejdiskutovanější a nejnámější výrobce komerčních kvadrokoptér patří čínská firma DJI.



Obrázek 7 - DJI Phantom 3 Standard

Zdroj: [7]

4.2 Legislativa UAV v České republice

Díky neustálému technologickému pokroku nejen ve směru miniaturizace elektroniky začaly být drony v posledních letech často diskutovaným tématem. V dřívějších letech, jak již bylo zmiňováno, byla bezpilotní letadla spíše výsadou armády. Postupně se však z něčeho, co bylo ještě nedávno zájmovou oblastí nadšenců nebo součástí univerzitních pokusů, stalo pro mnohé pilotování těchto strojů koníčkem nebo obživou. Nyní je provoz bezpilotních systémů vymezený v českém Zákoně o civilním letectví, leteckým předpisem L2. Konkrétně jeho doplňkem s označením X. V Doplňku X jsou uvedena především bezpečnostní pravidla, kterými se musí pilot takového stroje řídit. Mimo Doplňek X, který řeší výhradně pilotování bezpilotních systémů, se v leteckém předpise L2 nacházejí také další doplňky. Například Doplňek R (podmínky pro provoz balónů bez pilota na palubě), Doplňek P (pravidla letu pro kluzáky) a další.

Předpis L2 a jeho ustanovení 3.1.9, kde se nachází Doplňek X (2017) definuje rozdíl mezi „modelem letadla“ a „bepilotním letadlem“ v tomto znění:

„Autonomní letadlo

Bezpilotní letadlo, které neumožňuje zásah pilota do řízení letu.

Bezpilotní letadlo (UA)

Letadlo určené k provozu bez pilota na palubě.

Poznámka: V mezinárodním kontextu se jedná o nadřazenou kategorii dálkově řízených letadel, autonomních letadel i modelů letadel; pro účely tohoto doplňku se bepilotním letadlem rozumí všechna bepilotní letadla kromě modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nepřesahující 25 kg.

Bezpilotní systém (UAS)

Systém skládající se z bepilotního letadla, řídicí stanice a jakéhokoliv dalšího prvku nezbytného k umožnění letu, jako například komunikačního spojení a zařízení pro vypuštění a návrat. Bepilotních letadel řídicích stanic nebo zařízení pro vypuštění a návrat může být v rámci bepilotního systému více.

Model letadla

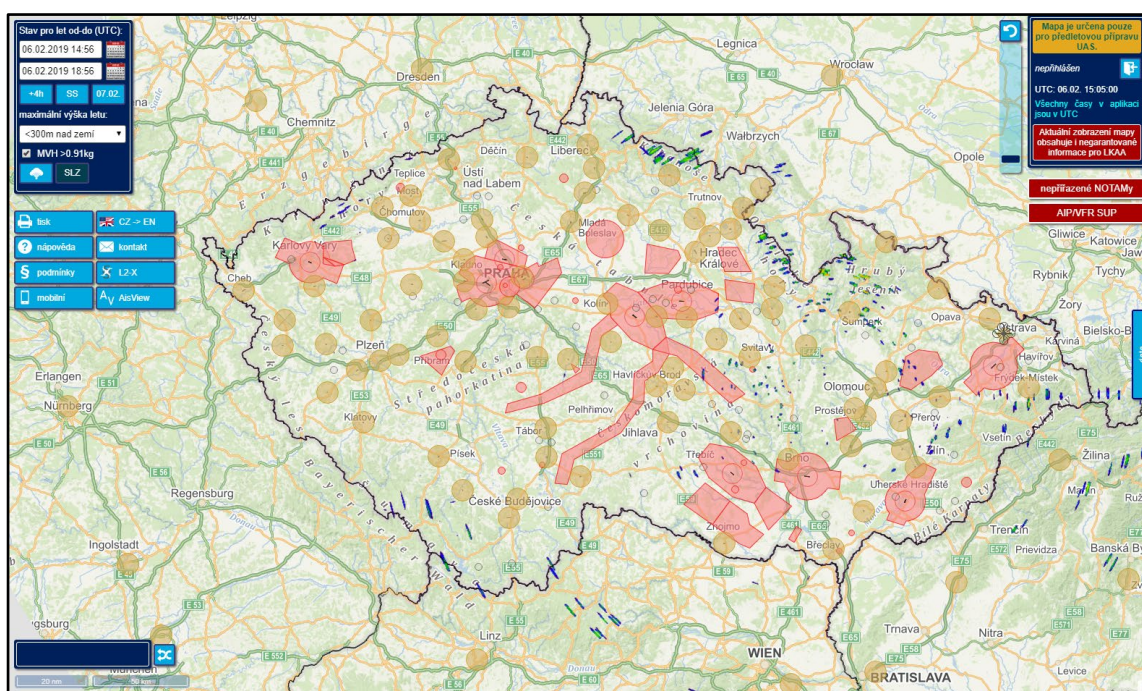
Letadlo, které není schopné nést člověka na palubě, je používáno pro soutěžní, sportovní nebo rekreační účely, není vybaveno žádným zařízením umožňujícím automatický let na zvolené místo, a které v případě volného modelu, není dálkově řízeno jinak, než za účelem ukončení letu nebo které, v případě dálkově řízeného modelu, je po celou dobu letu pomocí vysílače přímo řízené pilotem v jeho vizuálním dohledu.“

Jako další důležitá pravidla z Doplnku X (2017) o pilotování modelů do maximální vzletové hmotnosti do 25 kg je možné pokládat zejména tyto body:

- Za provedení bezpečného letu, včetně předletové přípravy, je zodpovědný vždy pilot letadla, bez ohledu na úroveň automatizace letu
- Pokud ÚCL nedovolí jinak, je vždy nutné mít letadlo v přímém vizuálním kontaktu i bez vizuálních pomůcek, jako jsou třeba brýle apod.
- Pilot musí informace týkající se letu, jako je např. místo vzletu a přistání, celkovou dobu letu apod. zaznamenávat do deníku letadla
- Let bezpilotního letadla může být prováděn pouze v prostoru třídy G (tj. do 300 m výšky a pouze vně oblaků), toto pravidlo se liší v případě letů v blízkosti letišť
- Autonomní letadla jsou ve společném vzdušném prostoru zcela zakázána
- Bepilotní letadlo nesmí přepravovat nebezpečné látky a nesmí za letu shazovat žádné předměty
- Pilot se nesmí za provozu letadla pohybovat pomocí jiného technického zařízení
- Pulzační a raketové motory jsou zakázány – vyjma použití těchto pohonů při vzletu

K seznámení se s leteckým prostorem České republiky existuje pro piloty UAV a UAS on-line aplikace DronView (2018), kde se zobrazují aktuální bezletové zóny a zóny s omezeným letovým provozem v prostoru celé republiky. V aplikaci je možné si vyfiltrovat stav bezletových zón pro požadované kalendářní dny, nastavit maximální výšku letu nebo zobrazit aktuální počasí včetně detekce blesků a polohy družic.

Na mapě jsou červeně vyznačené takové oblasti, kde je zcela zakázáno létat bez příslušného povolení. Žlutě vyznačené části znamenají nutnost dbát zvýšené opatrnosti. Je také možné si vybrat jakoukoliv z vyznačených oblastí, kdy se následně v pravé části obrazovky objeví informace o zvolené zóně, včetně podmínek provozu.



Obrázek 8 - Webová aplikace DronView

Zdroj: [41]

4.2.1 Ochrana osobních údajů

Ve většině případů jsou bezpilotní stroje osazeny audiovizuálním zařízením, ochranou natočených záznamů se zabývá stanovisko Úřadu pro ochranu osobních údajů č. 01/2013 (2013) s názvem „*Zpracování osobních údajů prostřednictvím záznamu z kamer, kterými jsou vybavena bezpilotní letadla*“ vypracované ve spolupráci s ÚCL.

Dle ÚCL (©2011) je problematika ochrany soukromí a osobních údajů velmi žhavým tématem nejen u nás, ale i v zahraničí. Viníkem je technologický pokrok, který přináší řadu možností pro pořizování audiovizuálních materiálů právě s využitím bezpilotní techniky. Drony jsou totiž svými rozměry i nízkou zvukovou stopu skvělým prostředníkem pro nepozorované sledování vybraných zájmových osob nebo objektů.

Stanovisko č. 01/2013 (2013) ve druhém odstavci definuje rámec aplikovatelnosti zákona o ochraně osobních údajů. V případě, že se nejedná o cílené zachycení záběrů identifikovaných nebo identifikovatelných osob, nýbrž o sledování krajiny, zemědělských nebo průmyslových prostor, nebo pohybu zvířete, potom § 3 odst. 4 zákona o ochraně osobních údajů nebude aplikovatelný. Další výjimkou vymezenou v § 3 odst. 3 zákona o ochraně osobních údajů je zpracování osobních údajů pouze pro osobní potřebu fyzické osoby.

Stanovisko č. 01/2013 (2013) mezi základními pravidly dělá z provozovatele bezpilotního letadla vybaveného kamerovým zařízením se záznamem správce osobních údajů v případě pořízení záběru identifikovaných nebo identifikovatelných fyzických osob. Dále zakazuje pořizování záběrů ryze soukromých aktivit, především v rámci obydlí a přilehlých prostorů, nebo pořizování záběrů, které by měly za následek snížení lidské důstojnosti.

„Dále musí pořizování záběrů opřít alespoň o jeden z právních titulů podle zákona o ochraně osobních údajů (viz § 5 odst. 2), kterými mohou být především:

- souhlas subjektu údajů;*
- plnění úkolů uložených zákonem;*
- ochrana práv správce nebo jiných osob;*
- ochrana životních zájmů subjektu údajů.“ (STANOVISKO č. 1/2013, 2013, s. 2)*

5 STÁVAJÍCÍ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Využití dronů je v mnoha oblastech lidské činnosti a v současné době vzniká mnoho článků o jejich využití v rozličných vědních oborech. Jelikož se však jedná o technologii posledních let, je jisté, že v sobě skrývá ještě mnoho potenciálu a dosud neobjevených možností. Odborné vědecké časopisy publikují široké spektrum prací s drony, počínaje jejich využitím při leteckém snímkování a analýze terénu, až přes využití dronů k šíření nejmodernější 5G sítě.

V časopise *Agricultural Water Management* se autoři snaží o zpřesnění zavlažovacího systému plodin v severní části Izreale, konkrétně podzemnice olejné a bavlny. Snímky pořizují pomocí dronu DJI Phantom-4 a jeho kamery z výšky 50 m kolem poledne, aby byla co nejvíce redukována odrazivost plodin. Lety byly realizovány 17. a 26. června pomocí software Pix4D Capture, kdy plodina dosáhla svého plného vzrůstu. Autoři také realizovali další let 10. října, tedy 12 dní před koncem vegetačního období s dronem DJI Mavic-Pro, který nesl multispektrální snímač Parrot Sequoia pro pořízení v infračerveném pásmu. Cílem těchto letů bylo zachytit a porovnat snímky zachycené dronem Phantom-4 ve viditelném pásmu a vysokém rozlišení vůči snímkům pořízeným za pomoci dronu Mavic-Pro s multispektrální kamerou. Ze snímků ve viditelném pásmu, které byly mozaikovány v programu Pix4Dmapper, autoři vytvořili vegetační index GRVI (Green-red vegetation index) a z infračervených snímků byl vytvořen známější vegetační index NDVI (Normalized Difference vegetation index). Ze závěru článku vyplývá, že GRVI je vhodné použít na vyhodnocování vegetačního pokrytí, jmenovitě na rozlišení plodin od půdy či mrtvé vegetace, dokonce GRVI dosahoval lepších výsledků než NDVI v obdobích prostředku sezóny. RGB snímání ve vysokém rozlišení může být využito ke zvýšení efektivity práce s vodou či detekování heterogenity v polním zavlažování. (Chen, 2019)

Magazín *GIM International* publikoval práci, kde autoři Komárková a Sedlák využívají drony ke zkoumání vegetace na pobřeží, vodní hladiny a průzračnosti vody. V jejich práci je ke snímání využito dron DJI Phantom-3, který pořizuje data ve viditelném spektru. Let byl autory proveden 20. dubna ve výšce kolem 40 metrů, a skládal se z celkového počtu 64, předem naplánovaných, letových bodů. Výsledné snímky se ze 60 % shora a z obou stran překrývají a k jejich mozaikování byli použity softwarové nástroje Pix4Dmapper a ArcGIS. Výsledná mozaika obsahovala celé pobřeží a byl nad ní proveden výpočet několika vegetačních indexů, které se zakládají pouze na pásmu RGB. Na základě vizuální interpretace se jako nejlepší indexy ukázaly: CIVE, ExG-ExR, NDI, Red/Green ratio a VDVI. Závěrem článku autoři doplňují, že vegetační indexy založené na viditelném spektru skvěle doplňují vizuální interpretaci a že

jsou drony skvělým nástrojem pro pořizování kvalitních snímků v hůře dostupných oblastech či oblastech pokrytých vodní plochou. (Komárková, 2018)

Tématem měření vodní hladiny v řekách a jezerech z UAV se zabývají autoři, kteří publikovali článek v časopise *Journal of Hydrology*. Pro účely studie si autoři zkonstruovali vlastní hexakoptéru z komponentů od společnosti TARROT-RC s dálkovým ovladačem DJI Naza-M2. Jejich stroj má nosnost až 2 kg s dobou letu 12 minut. Cenu tohoto zařízení odhadli zhruba na 7000 €, kdy tato cena zahrnovala i senzory schopné synchronizace s přijímačem GNSS skrze mikroprocesor. Tvůrci dron dále osadili radarem, sonarem a senzorem CLDS, který měří na základě úhlu laseru vstupujícího do kamery vzdálenost od předmětu. Lety byly provedeny poblíž Holte v Dánsku. Výsledky měření prokázaly vysokou korelaci (0,9991 Pearsonův koeficient) mezi měření z GNSS a radarovým měřením a tím i jejich samotnou konzistenci. Nejspolehlivějšími senzory byla dle dalších pokusů autorů předem zmiňovaná zařízení radar a GNSS, hlavně proto, že sonar i CLDS poskytovaly výsledky s velkými odchylkami při vznášení ve vzdálenosti nad 10 m. Ve shrnutí autoři uvádějí, že je možné za pomoci radaru či GNSS přijímače dosáhnout celkové odchylky od přesnosti ve velikosti 5-7 cm i když UAV letí pár km/h při výšce kolem 60 m. (Bandini, 2017)

Slovenští autoři publikovali v žurnálu *Measurement* svoji práci, která by měla představovat šablonu pro mapování pobřeží řeky ve vysokém rozlišení za pomoci UAV. Autoři v práci tvrdí, že by se tento proces měl skládat z těchto pěti kroků: (1) průzkum mapovaného místa; (2) předletové práce v terénu; (3) let; (4) kontrola kvality a zpracování letových dat; (5) operace nad jednotlivými vrstvami a mapování povrchu. Tento proces dokonale autoři zachycují i včetně některých podprocesů v obrázku, který je uveden v příloze č. 4. Dále v práci, se autoři zabývají případovou studií 1,6 km dlouhé části řeky Belá na území Slovenska. Pomocí názorných obrázků dávají příklad, jak je možné přistoupit k problémům jako snímání oblasti, distribuci pozemních kontrolních bodů (GPC) nebo digitalizaci a identifikaci objektů. Autoři po nasnímání a zpracování v softwaru Agisoft PhotoScan provedli digitalizaci, díky které je později možné snadno klasifikovat objekty na snímcích. (Rusnák, 2018)

Periodikum *Catena* publikovalo článek čínských autorů, který pojednává o využití UAV v dálkovém průzkumu půdní vlhkosti v krasovém povodí. V úvodu práce autoři poukazují na důležitost snímání půdní vlhkosti a mezi důvody uvádějí například rozvoj zemědělství nebo management ekosystému. Současné metody pro snímání půdní vlhkosti si však nevedou dobře v heterogenním prostředí, jakým je právě krasové povodí, které tvoří až 10 % povrchu planety

Země a je důležitým zdrojem vody pro lidstvo. Autoři ze snímků z UAV DJI Phantom 3 vypracovali digitální model terénu, který byl georeferencován jak pomocí 8 pozemních kontrolních bodů (GCP), tak pomocí GPS navigace dronu. Autoři měli k dispozici i satelitní snímky z Landsatu-8, Radarsatu-2 a ASTGTM2 s celkově 9 spektrálními pásmy. K vyhodnocení toho, jaké faktory nejvíce ovlivňují půdní vlhkost, byla v práci využita regresní metoda PLSR (parciální nejmenší čtverce). Ze studie obsahující mimo jiné taky 222 vzorků půdy bylo zjištěno, že půdní vlhkost je nejvíce ovlivněna typem vegetace (~35 %), topografií (~13 %) a vlastnostmi půdy (~10 %) při celkové vysvětlené variabilitě 58,8 %. (Luo, 2019)

Magazín Remote Sensing v minulém roce publikoval kompilaci zabývající se monitorováním životního prostředí za pomoci dronů. Autoři v úvodu práce poukazují na snižující se tendenci ve vytváření nových studií o životním prostředí, ale zároveň na skokové nárůsty aplikací UAS napříč odbornými studii zaměřenými právě na tuto tematiku. Dále také zmiňují malou nákladovost pořizování leteckých snímků (nehledě na prostorové rozlišení) z dronů, protože tam, kde satelitní snímek může stát až 3000 amerických dolarů, snímky z UAV ve viditelném spektru nedosahují ani částky 1000 amerických dolarů. Velkým lákadlem podle autorů práce bylo na UAS zařízeních, které jsou vybavené kamerou s viditelným spektrem zkoumání možností této kamery, která zaručuje nízko-nákladový monitoring vegetace. Mezi indexy zabývající se viditelným pásmem s velmi přesnými výsledky mapování vegetace autoři zmiňují NGRDI (Normalized Green-Red Difference Index) a ExG (Excessive Green). Dále však podotýkají, že senzory, jako třeba termální kamery, multispektrální a hyperspektrální senzory nebo tzv. LiDARy, jsou stále populárnější a postupně se i díky snižování prodejní ceny začínají upřednostňovat před klasickými kamerami s viditelným spektrem. Dle dalších zjištění autorů má svůj podíl na rozvoji UAS systémů mimo technologický pokrok i dostupnost levných či open-source softwarových nástrojů, mezi které uvádí například Agisoft Photoscan nebo Pix4D. Dále podotýkají, že pro monitorování přírodních ekosystémů jsou často drony nejlepší alternativou, kvůli své letecké podstatě. Hodí se nejen do míst, která jsou těžce přístupná nebo nebezpečná, ale také do míst, která by mohla být pozemním pozorováním nějakým způsobem poškozena (příkladem autoři uvádí rašeliniště). Závěrem práce jsou zmíněny poznatky, které autorům připadají nejdůležitější. Patří mezi ně například: UAS představují cenově nejefektivnější variantu snímání povrchů menších jak 20 ha, prozatím přílišná náchylnost UAS systémů na počasí, vysoké prostorové rozlišení klade vysoké nároky na úložiště, geometrické či radiometrické limity lehčích senzorů často způsobují zvyšování náročnosti při práci s touto technologií. (Manfreda, 2018)

Diplomová práce Stuchlíka (2015) z Masarykovy univerzity pojednává o využití bezpilotních systému v krizovém managementu. Z dronu lze totiž velmi efektivním způsobem získávat aktuální data jako podklady pro rozhodování v kritických situacích. V práci se nachází mj. i případová studie v níž autor prochází procesem získávání snímků. Přes jejich mozaikování v programu Agisoft Photoscan až po výslednou interpretaci ortofotomozaiky. Původní představou autora práce bylo snímkování oblasti, která byla zasažena povodněmi. Ale kvůli tomu, že žádná taková událost nenastala, se rozhodl ke zkoumání sesuvu u obce Nebovidy 7 km od centra Brna. V diskuzní části práce autor poukazuje na využití UAS ve všech fázích krizového managementu a na možná vylepšení použitého dronu Tarot, která se měla týkat hlavně nespokojenosti se snímkovacím zařízením (GoPro HERO 3+). Široký úhel záběru akční kamery totiž znesnadňoval následnou kalibraci. Výsledkem práce autora je mj. několik ortofotografií mapujících tehdejší stav sesuvů u Nebovid, nebo poznatky, kde autor provádí výběr a detailní technický popis optimálního stroje, se kterým byly později lety provedeny. Část výběru a konfigurace UAV by případně měla patřit do preventivní fáze krizového managementu.

Poslední zmíněnou prací týkající se problematiky využití dat z UAV bude diplomová práce Šimíčka (2014) z Univerzity Palackého v Olomouci. Autor se ve své práci snaží implementovat metodu „Structure from motion“ do UAV fotogrammetrie. Technika „Structure from motion“ se snaží o odhadnutí trojrozměrné struktury objektu z dvourozměrných snímků na základě pohybu snímacího zařízení pomocí nosiče. Před samotným letem se autor rozsáhle věnuje předletové přípravě a kalibraci snímkovacího zařízení, které je v jeho případě zrcadlový fotoaparát Canon EOS 500D a 2 objektivy, jeden 20 mm a druhý 40 mm objektiv. Proces předletové přípravy se Šimíček snaží optimalizovat vytvořenou aplikací ve Visual Basic, která případně dokáže uživatele UAV předem upozornit před překročením hraniční výšky. Autor dále provedl dva druhy kalibrace zrcadlovky, a to pozemní a leteckou. Oba zmíněné druhy kalibrace vykazovaly dle výsledků podobné hodnoty a lišily se v řádu desetin až setin, autor tedy navrhuje jako kompromis při možných dalších kalibracích statistický průměr obou metod. Metodu „Structure from motion“ se autor rozhodl zpracovat v softwarech Agisoft Photoscan a iWitness, kdy program Photoscan poskytl odlišné kalibrační údaje snímkům, než poskytl druhý program ve prospěch výsledné přesnosti. Autor práce k této skutečnosti dodává, že v případě, kdy je využíván program Photoscan, se nevyplatí zvláště kalibrovat kameru v jiném softwaru kvůli možnému zhoršení výsledných hodnot.

6 SOFTWAREVÉ NÁSTROJE PRO ZPRACOVÁNÍ DAT Z UAV

Pro práci s prostorovými obrazovými daty existuje široké spektrum softwarových nástrojů. Nástroje mohou být jak komerčního charakteru, tak open-source. Mimo software pro práci s daty, které nesou prostorovou obrazovou informaci, lze také najít grafické nástroje, mezi které patří programy jako Microsoft ICE (Image Composite Editor) nebo PTGui.

6.1 Agisoft Metashape

Agisoft Metashape je profesionální fotogrammetrický nástroj, který změnil své přízvisko z bývalého Photoscan na Metashape v roce 2018. (Agisoft Forum, ©2018)

Agisoft rozlišuje mezi Standard a Pro verzí softwaru Metashape. Verze Standard v základu nabízí podporu fotogrammetrické triangulace, generování a editaci bodových mračen nebo podporu širokoúhlých typů objektivů tzv. „fish eye“ (v překladu „rybí oko“, většinou mají tento typ objektivu akční kamery – pozn. autora). Verze Pro však obsahuje mnohem více funkcionalit, mezi kterými lze najít například tvorbu georeferencovaných modelů terénu (DEM), podporu GCP (Ground control point), multispektrálních obrazových dat a výpočet indexů NDVI a dalších. Software je určen jak pro operační systém Windows, tak i MacOS nebo Linux. (Agisoft – Features compare, ©2019)

Licenční politiku Agisoft na svých stránkách objasňuje pomocí různých typů licencí. Jsou celkem 3 druhy licencí. První z nich je tzv. „Node-Locked“ licence, kdy lze software nainstalovat (přenést) z jednoho počítače na jiný, tedy jedna licence může být aktivní pouze na jednom zařízení. Dále existuje „Floating“ licence, kdy jsou práva na užívání aplikace uložena na serveru, který sám řídí další oprávnění pro jednotlivé stroje ve své síti. Tento druh licence je možné pořídit pouze společně s Pro verzí Metashape. Poslední je verze vzdělávací, která je dostupná v obou výše zmíněných verzích, ale pouze pro akreditované vzdělávací instituce. Software je možné si stáhnout i ve verzi „free“, kdy jsou však zakázány funkce ukládání veškerých výstupů anebo aktivovat 30denní zkušební verzi zpřístupněnou o všechny dostupné funkce. (Agisoft – Licensing options, ©2019)

6.2 ENVI OneButton

Dalším nástrojem na poli zpracování obrazových dat je software ENVI OneButton od americké společnosti Harris Geospatial Solutions. Jedná se o samostatnou aplikaci určenou především pro zpracování leteckých snímků a snímků pořízených UAV. (ENVI OneButton, ©2019)

Dle ARCDATA PRAHA (ENVI OneButton, ©2019) je software velmi uživatelsky přívětivý a jednoduchý na ovládání, a lze jej využívat i bez hlubšího zasvěcení do problematiky fotogrammetrie. ENVI OneButton je nabízen v edici Standard, ale také v edici Professional, kdy nabízí funkce navíc jako manuální spojování čar při mozaikování nebo různou úroveň detailu u mračna bodů či DEM. Verze Professional potřebuje zároveň mít v počítači nainstalovaný ArcGIS Desktop.

Do softwaru OneButton lze nahrávat snímky ve formátech JPEG nebo TIFF společně s informací o pozici senzoru při snímání a samotném typu senzoru. Obecně bývají informace o pozici senzoru obsažené v metadatech snímku nebo v textovém souboru. Informace o jeho typu lze zadat jako hodnoty ohniskové vzdálenosti a velikosti pixelu, nebo vybrat ze softwarové databáze automaticky. (ENVI OneButton, ©2019)

Mezi klíčové vlastnosti patří podpora multispektrálních snímků, tvorba výstupní ortofotomozaiky a DEM, společně s 3D mračny bodů. Další výhodou je rychlé zpracovávání díky využití více grafických jader a přesné algoritmy blokového vyrovnání. Veškeré výstupy ze softwaru OneButton je možné dále využít a zpracovávat v nástroji ENVI. (ENVI OneButton, ©2019)

6.3 ArcGIS Desktop

Desktopová verze programu ArcGIS od společnosti ESRI je profesionálním geoinformačním systémem pro osobní počítače.

Je nabízen ve 3 různých verzích dle náročnosti a požadavků uživatele. ArcGIS je možné zakoupit ke komerčnímu nebo nekomerčnímu využití. Při výběru studentské verze ArcGIS uživatel dostane sadu aplikací, kde je mimo software ArcGIS Pro také ArcMap, ArcCatalog, 3D Analyst, ArcGIS Data Reviewer, ArcGIS Network Analyst, ArcGIS Publisher a další. Pro zobrazení ceny je však nutné se zaregistrovat. (ArcGIS for Student Use, ©2019)

Jako klíčové vlastnosti uvádí společnost ESRI 3 oblasti. První je oblast prostorové analýzy, ve které ArcGIS umožňuje vytvářet přesná měření, hledat optimální cesty, modelovat predikce

atp. Další oblastí jsou snímky DPZ a poslední oblastí je vizualizace. Tam patří vytváření mapových kompozic a kartografických výstupů na různých úrovních detailu. (About ArcGIS, ©2019)

Uživatelské prostředí nástroje ArcGIS Pro umožňuje pracovat na několika mapových podkladech zároveň, kdy jednotlivé mapy mohou být provázány mezi sebou svou polohou nebo stupněm přiblížení. Mezi další funkcionality software patří práce s podklady ve 3D vytvořených pomocí procedurálních pravidel CityEngine. (ArcGIS Pro, ©2019)

Aplikace ArcMap pokrývá většinu mapových operací, včetně kartografie a prostorových analýz. Její součástí jsou analytické nástroje (geoprocessingové nástroje), se kterými lze editovat a vyhodnocovat mapové podklady v prostředí aplikace. Dalším nástrojem je ModelBuilder, který umožňuje vytváření různých postupů na zpracování dat pomocí tvorby modelů. Tyto modely se jednoduše vytvářejí přetahováním diagramů s daty nebo nástroji. (ArcMap, ©2019)

6.4 Pix4Dmapper

Poslední ze zmíněných programů pro vyhodnocování obrazových dat je software Pix4Dmapper. V mnoha odborných publikacích, včetně některých prací uvedených v předcházející kapitole, je Pix4Dmapper používán právě pro zpracování leteckých snímků z dronů.

Cenově lze Pix4Dmapper zařadit mezi levnější programy a uživatel si může vybrat, zdali zaplatí jednorázovou sumu nebo si vybere možnost měsíčního předplatného, které začíná na ceně 217 €/měsíc. Mimo primární software mapper nabízí švýcarská společnost Pix4D další programy, mezi které patří například Pix4Dfields jako program pro zemědělské analýzy plodin, Pix4Dbim pro pozemní práce a stavebnictví nebo Pix4Dmodel pro vytváření 3D modelů. Tyto programy lze předplatit pouze měsíčně a ceny se pohybují od tisícikoruny výše. Pix4Dmapper také nabízí možnost „Education“, kdy je pořizovací cena softwaru výrazně snížena. (Pix4D Store, ©2019)

Software Pix4Dmapper slouží primárně jako fotogrammetrický nástroj pro mozaikování digitálních obrazů do výsledné ortofoto. Nabízí však i další funkcionality, například digitalizaci snímků, analýzu snímků nebo vytváření „workflows“. (Pix4Dmapper, ©2019)

7 ZPRACOVÁNÍ DAT Z UAV PRO SLEDOVÁNÍ ZMĚN V ZÁJMOVÉM ÚZEMÍ

Následující kapitola pojednává o procesu zpracování dat z bezpilotních zařízení pro sledování změn v krajině. V kapitole byl vysvětlen proces mozaikování leteckých snímků, tedy vytvoření ortofotografie, a její následné další zpracování a využití při digitalizaci a vizuální nebo automatické interpretaci vegetace.

Nejprve bylo vymezeno a charakterizováno zájmové území, dále proběhl výběr vhodného software k mozaikování a charakterizován sběr dat. Byl popsán proces samotného mozaikování ve vybraných nástrojích a okomentován jejich výstup. Po provedení digitalizace snímků ze všech snímaných období byla provedena automatická klasifikace vegetace na zájmové části území.

7.1 Vymezení území

Zájmovou oblastí je rybník Skříň, který se nachází asi 3 km severozápadně od menšího města Lázně Bohdaneč v Pardubickém kraji. V jeho blízkém okolí se nachází několik dalších vodních ploch, jmenovitě například rybníky Rozhrna, Udržal nebo Tichý rybník. Společně jsou tyto rybníky významnou ornitologickou oblastí výskytu vodního ptactva. Rybník Skříň leží přímo na naučné stezce kolem Pernštejnských rybníků, která má návštěvníky poučit o historii zdejšího rybníkářství. Jeho celková rozloha je 26,9 ha a leží v nadmořské výšce 224 m n. m.



Obrázek 9 - Rybník Skříň

Zdroj: [39]

7.2 Výběr vhodného softwaru

Spektrum fotogrammetrických nástrojů je široké, a proto se výběr softwaru odvíjí spíše než od funkcionality daného softwaru, od jeho možnosti vyzkoušet si program v plné verzi alespoň na pár dní zdarma. Možnost tzv. trial-verze programu nenabízí všechny společnosti a výběr se tím stává těžším, protože z něj vypadá například software OneButton, jehož trial verzi nelze ani po vytrvalém hledání na webu legálně stáhnout. Fotogrammetrické nástroje Pix4Dmapper a Agisoft Metashape nabízejí zdarma k vyzkoušení své plné verze, které jsou limitované počtem dní.

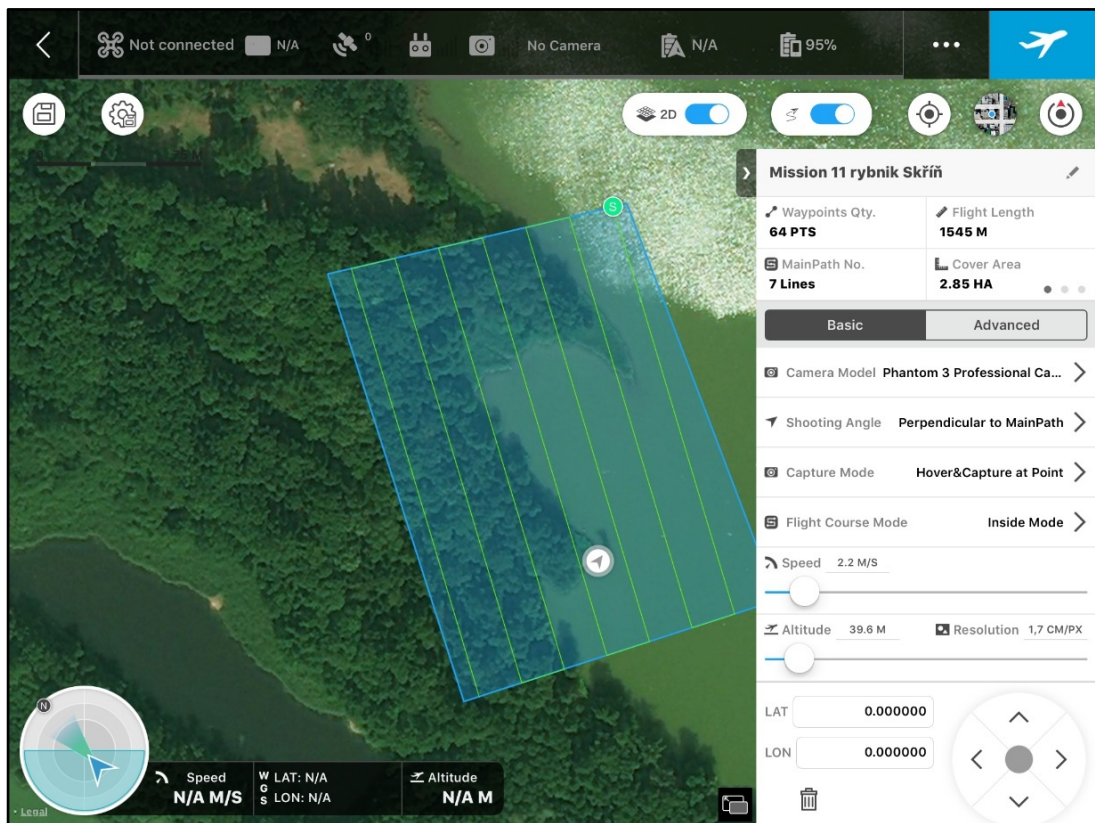
Pro stáhnutí softwaru Pix4Dmapper je nejprve nutné se zaregistrovat na oficiálních stránkách výrobce. Poté je nutné aktivovat založený účet pomocí emailové schránky, kam dorazí aktivační hypertextový odkaz. Po kliknutí na odkaz se uživateli aktivuje 15denní zkušební lhůta programu. V těchto 15 dnech je možné využívat nástroj Pix4Dmapper v plné funkcionalitě bez omezení.

Agisoft Metashape lze získat snadněji než Pix4Dmapper. Na stránkách společnosti se přímo nachází odkaz ke stažení nástroje. Po jeho instalaci se samostatně aktivuje a po dobu 31 dnů má uživatel možnost využívat Metashape v plné verzi.

7.3 Sběr dat

Data pro zpracovávání byla pořizována komerčním dronem střední třídy DJI Phantom 3. Phantom 3 váží zhruba 1,2 kg a je osazen snímkovacím zařízením s 3-osovým stabilizátorem. Snímkovací zařízení má zorné pole 94°, 20 mm objektiv s clonou f/2.8 a dokáže pořizovat UltraHD video nebo snímky ve velikosti 4000×3000 pixelů.

Letové mise pravidelně probíhají pro účely ostatních projektů ústavu systémového inženýrství a informatiky na Univerzitě Pardubice. V této práci jsou analyzovány lety z poloviny roku 2018, konkrétně měsíce květen, červen, červenec a srpen. Letová mise byla naplánována v aplikaci DJI GO (viz obrázek č. 10) s celkovým počtem 64 snímkovacích bodů. V aplikaci poté byly přesně specifikovány plány letu viz. obrázek níže (další nastavení bylo 60 % postranní i přední překryv snímku, letová hladina 40 m a rozlišení 1,7cm na jeden pixel). Jelikož byly snímky pořizovány na výchozí kameru dronu, jedná se obrazová data ve viditelném barevném spektru se společně ukládanou polohou v souřadnicovém systému WGS 84. Celková snímaná plocha má velikost 2,85 ha.



Obrázek 10 - Parametry letové mise

Zdroj: [vlastní]

7.4 Tvorba ortofotomozaiky

Pro účely zpracování této kapitoly byly vybrány softwarové nástroje Pix4Dmapper a Agisoft Metashape. Data v této kapitole jsou zpracovávána tak, jak byla obdržena, bez jakýchkoliv dalších úprav.

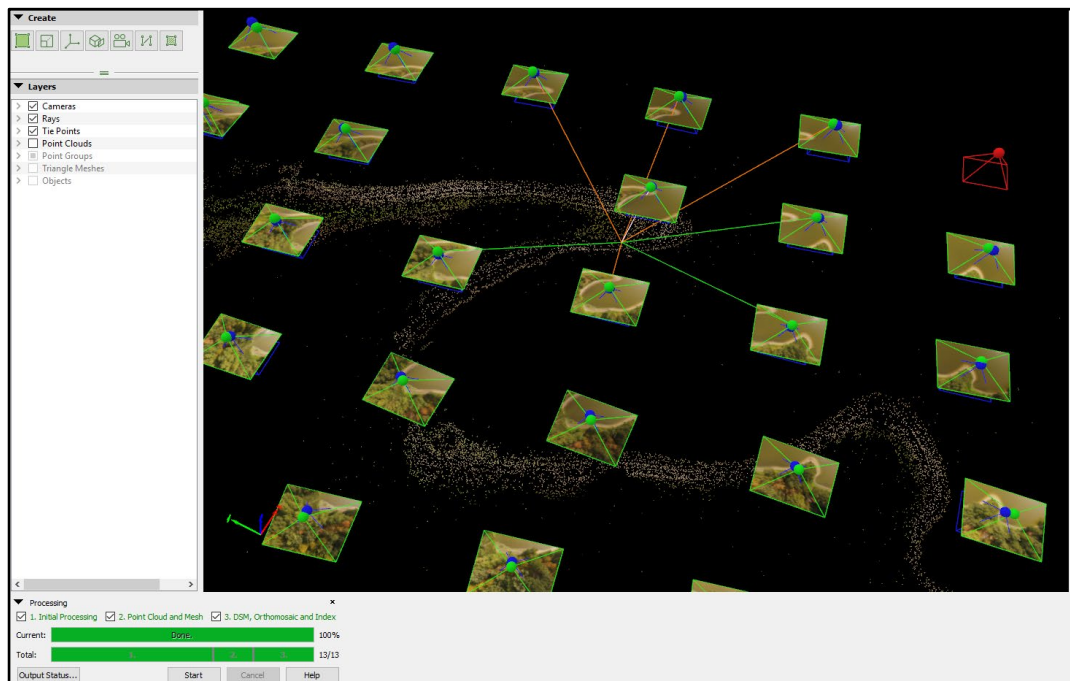
7.4.1 Pix4Dmapper

Jako první byl pro vytvoření ortofot všech období vybrán program Pix4Dmapper především kvůli předesílané menší složitosti při nastavování jednotlivých parametrů. Po otevření programu je nutné založit nový projekt a přiřadit název, dále je po uživateli požadováno zadání umístění souborů projektu, které program postupem zpracovávání vytvoří. V dalším dialogovém okně je uživatel vyzván k přidání obrazových dat.

Po výběru a nahrání snímků následuje jejich revize včetně doplnění potřebných informací, konkrétně souřadnicového systému, zeměpisné souřadnice (zeměpisná délka, zeměpisná šířka a nadmořská výška) a modelu kamery. Vyjmenované parametry lze vložit ručně nebo přečíst z metadat daného obrázku (EXIF). Pix4Dmapper ve všech případech správně rozpoznal veškeré údaje z metadat jednotlivých snímků a doplnil model kamery dronu Phantom 3 na označení FC300X_3.6_4000x3000.

V dalším kroku program požaduje zadání výstupního souřadnicového systému a měrné jednotky. Posledním krokem před zahájením zpracování mozaiky je nutnost vybrat z přednastavených šablon od výrobce programu. Tyto šablony jsou předem připravené dle požadavků na zpracování od tvorby 3D map nebo modelů, přes zpracovávání multispektrálních obrazových dat až po tvorbu RGB ortofoto. Pro účely tohoto projektu byla vybrána šablona „Ag RGB“.

Samotný proces generování mozaiky je v Pix4Dmapper rozdělený na 3 části. První část je tzv. „inicializační“ a dochází v ní ke skládání snímků a hledání bodů, které jednotlivé snímky mezi sebou spojují. Program musí na jednotlivých snímcích postupně najít dostatek těchto bodů pro úspěšné pokračování dalších kroků. Po dokončení první části Pix4Dmapper automaticky zobrazuje report o úspěšnosti této fáze. V tomto reportu lze mj. dohledat kvalitativní údaje výsledné mozaiky, jako například GSD, pokryté území, počet správně umístěných snímků nebo medián klíčových bodů na jeden obrázek (Keypoints per image).



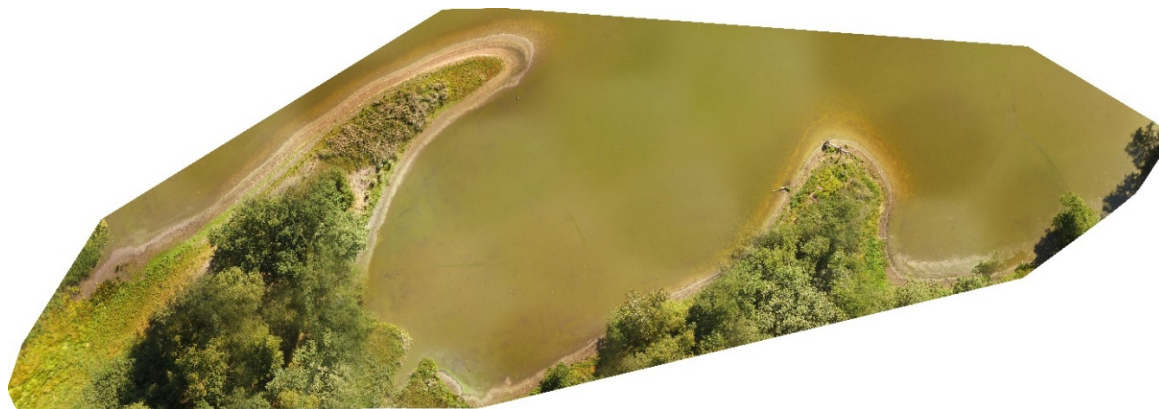
Obrázek 11 - Point cloud v Pix4Dmapper

Zdroj: [vlastní]

Ve druhé fázi je vygenerován tzv. „Point Cloud and Mesh“. Toto mračno bodů reprezentuje právě jednotlivé styčné body z předchozího kroku pro jednotlivé snímky. Body dohromady vytvoří síť, která tvarem připomíná tvary vegetace na snímcích. Po kliknutí na vybraný bod se zobrazí vazby k jednotlivým snímkům. Na obrázku č. 11 je možné si všimnout červeného snímku vpravo nahoře. Takový snímek nebylo možné správně umístit, protože na něm program nedokázal nalézt dostatečné množství spojovacích bodů vůči terénu.

Třetím krokem je generování samotných výstupů, tedy DSM a mozaiky. Mozaika ani výsledné DSM v programu nejsou přímo v programu vidět, ale jsou uloženy do adresáře, který byl zvolen na začátku projektu. Mozaika je uložena ve formátu .TIF a lze u ní v adresáři nalézt také jednotlivé dílky, ze kterých byla složena.

První výstupní ortofoto z Pix4Dmapper bylo za měsíc červenec z důvodu silného předpokladu na dobrou výslednou mozaiku. U měsíců května a června totiž dochází k vytvoření různých druhů deformací a artefaktů ve výsledcích. Tyto problémy budou blíže specifikovány níže. Snímky pro měsíc červenec byly pořizovány 31. 7. 2018 v rozmezí 10.34 až 10.49 hod. z výšky 40 metrů a za jasného počasí s celkovým počtem 62 pořízených snímků.



Obrázek 12 - Červencová ortofotomozaika z Pix4Dmapper

Zdroj: [vlastní]

Na výsledném snímku č. 12 je zprvu vidět ořezání horních vodních ploch, kde nebyl program schopný najít dostatek společných bodů pro napojení snímků. Břeh levého cípu je však velmi detailní i po přiblížení snímku. To především díky nízké letové hladině, která má za následek vysoké prostorové rozlišení. V pravé i ve střední části obrázku je na vodních plochách vidět nepřesné napojení snímků, které tvoří „praskliny“. Také je možné po celém snímku zaregistrovat čtvercové barevné skvrny, které se dají přičíst nedostatečné barevné korekci snímku.



Obrázek 13 - Ořez červencového zájmového území z Pix4Dmapper

Zdroj: [vlastní]

Ořez zájmového území, konkrétně levého výběžku z obrázku č. 12, na kterém je vidět vysoký detail snímané vegetace jak na pobřeží, tak velmi precizně spojené koruny stromů.

Dalším výstupem je mozaika z měsíce srpna, která také vyšla věrohodně a správně. Tyto dobré výsledky se po delším zkoumání, v obou programech, dají přičítat rozličným barvám, především v korunách stromů, kde jsou nástroje pro vytváření mozaiky schopné najít dostatek referenčních bodů pro správné vyhodnocení. Letová mise proběhla 22. 8. 2018 v rozmezí 9.27 až 9.37 hod. za jasného počasí. Pro potencionální zvýšení výstupní kvality snímků byla letová hladina zvýšena na 60 metrů s výsledným počtem 47 pořízených snímků.



Obrázek 14 - Srpnová ortofotomozaika z Pix4Dmapper

Zdroj: [vlastní]

Oproti snímku z měsíce července je vidět mnohem více z pobřežní vegetace. Lepší vyhodnocení pobřežní vegetace je způsobeno dvěma faktory. Prvním z nich je přirozená změna zabarvení koruny stromů během ročních období a druhým faktorem je navýšení letové hladiny o 20 metrů. Díky snímkům z vyšší výšky mají nástroje pro vytváření mozaiky snadnější vyhledávání spojovacích bodů a následné navázání snímků. Výsledná mozaika však vykazuje známky horší barevné korekce než červencová, a čtvercové artefakty v oblasti vodních ploch jsou velmi markantní.



Obrázek 15 - Ořez srpnového zájmového území z Pix4Dmapper

Zdroj: [vlastní]

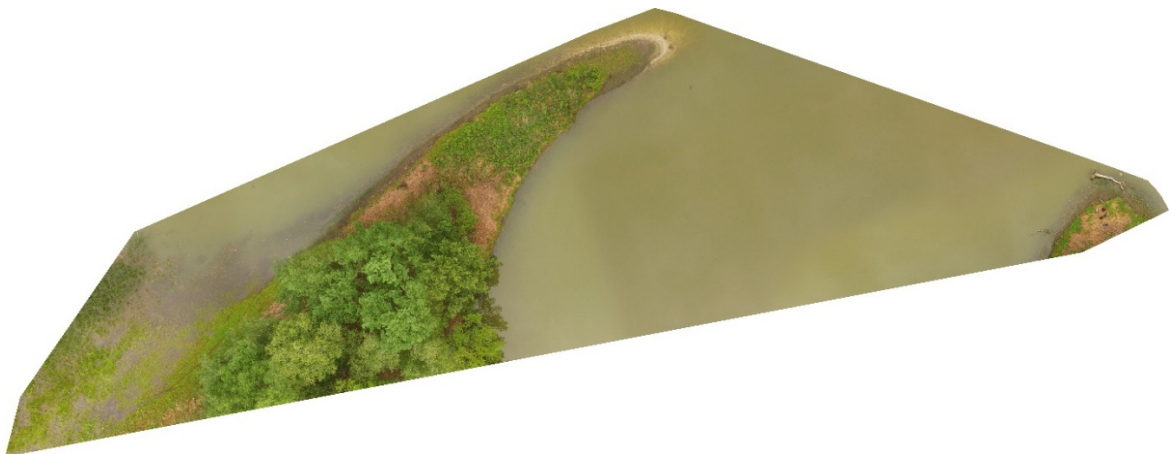
Květnové snímky byly pořízeny 11. 5. 2018 v rozmezí 9.53 až 10.07 hod. za oblačného počasí. Letová hladina byla 40 metrů s výsledným počtem 63 snímků. Při vizuálním průzkumu jednotlivých snímků lze zjistit, že všechny koruny stromů jsou sytě zelené a tím pádem bude těžší tyto snímky spojit. Dle očekávání u květnové mozaiky nastaly problémy při správném umístění obrázků. Z celkových 63 obrázků jich bylo správně umístěno pouze 21 (33 %) a medián klíčových bodů je 15 419 na jeden snímek. Pro srovnání: měsíc srpen měl tuto hodnotu více než dvojnásobnou, tedy 33 608 klíčových bodů na snímek. Z celkové plochy 2,85 ha je celkovým výstupem mozaiky pouze 0,633 ha s průměrným 1,72cm GSD.

Quality Check i		
🔍 Images	median of 15419 keypoints per image	✅
🔍 Dataset	21 out of 63 images calibrated (33%), all images enabled, 2 blocks	⚠️
🔍 Camera Optimization	5.42% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	⚠️
🔍 Matching	median of 558.137 matches per calibrated image	⚠️
🔍 Georeferencing	yes, no 3D GCP	⚠️

Obrázek 16 - Kontrola kvality z reportu Pix4Dmapper

Zdroj: [vlastní]

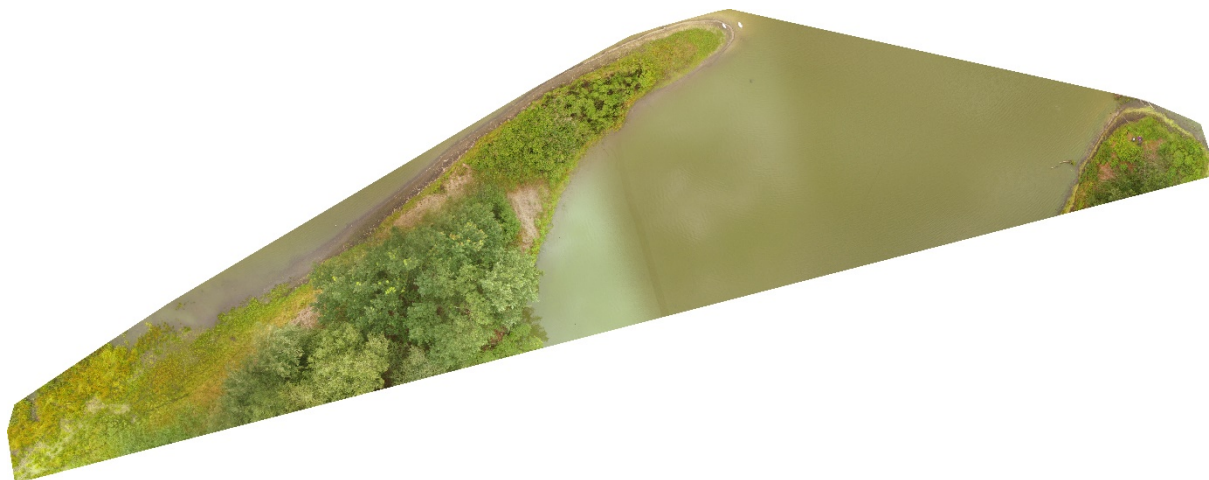
Pro dosažení alespoň takového výsledku, jaký je na obrázku č. 17, bylo nutné v Pix4Dmapper nastavit parametr „Keypoints image scale“ na „1/2 (Half image size)“. Nastavování dalších dodatečných parametrů nepřinášelo žádné významné změny ke zlepšení výstupu, mnohdy spíše došlo k jeho zhoršení.



Obrázek 17 - Květnová ortofotomozaika z Pix4Dmapper

Zdroj: [vlastní]

Letová mise v červnu byla uskutečněna 27. 6. 2018 v rozmezí 9.28 až 9.43 hod. dopoledne za mírně oblačného počasí. Letová hladina činila 40 metrů s výsledným počtem 63 snímků.



Obrázek 18 - Červnová ortofotomozaika z Pix4Dmapper

Zdroj: [vlastní]

Výsledky mozaikování se nijak zvlášť neliší od měsíce června, kdy bylo využito pouze 23 snímků s 10 831 klíčovými body na snímek. Pro dosažení uspokojivého výstupu bylo opět nutné nastavení hledání klíčových bodů na polovičním rozlišení snímku. Pix4Dmapper však rapidně ořezává levý výběžek rybníku shora a veškerá vodní plocha, která je nasnímána na původních snímcích, tak není vidět. Tento problém způsobila skutečnost, že výsledná mozaika je nejmenší ze všech vytvořených s celkovou pokrytou plochou 0,557 ha.

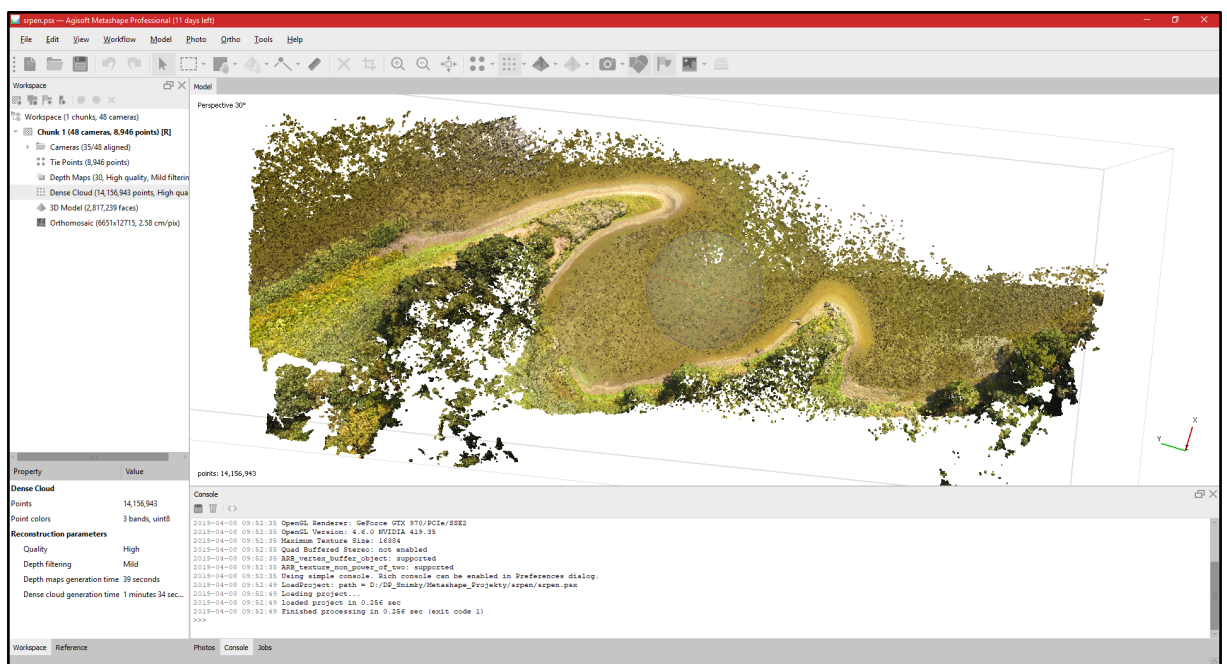
7.4.2 Agisoft Metashape

Druhým vybraným softwarem pro zpracování snímků z UAV je program Metashape od ruské společnosti Agisoft. Oproti programu Pix4Dmapper je Metashape na první pohled složitějším nástrojem, protože nevede uživatele krok po kroku tak, jako je tomu právě u Pix4D.

Po otevření nástroje Metashape se uprostřed objeví prázdná obrazovka „Model“ s ovládacím panelem v horní části obrazovky. Dle online manuálu (Metashape 1.5 Manual, ©2019) je pro správné fungování zprvu nutné ověřit, že bude Metashape k výpočtům využívat primární grafickou kartu stroje. Následující kroky jsou také čerpány z manuálu především kvůli dodržení pořadí navazujících operací, které na rozdíl od Pix4Dmapperu musí uživatel spouštět a parametrizovat manuálně. Veškeré operace a funkce jsou dostupné přes volbu „Workflow“ z horního panelu nástrojů.

Prvním krokem je přidání fotografií. Po jejich výběru v souborovém systému počítače se veškeré letecké snímky objeví v levé části programu pod titulkem „*Chunk*“. Pokud jsou doplňující informace ke snímkům dostupné, jsou automaticky doplněny z metadat. Dále následuje umístění a seřazení snímků pod možností „*Align photos*“, kde je možné parametrizovat, kolik klíčových bodů by měl Metashape na snímcích nalézt a s jakým maximálním limitem. Je zde i možnost generické selekce, která dle manuálu značně zrychluje seřazování snímků. Tato možnost zajistí, že nástroj letmo analyzuje snímky a označí takové, které by mohly mít společné body a které nemá smysl porovnávat. Také je možné nechat zaškrtnutou možnost referenční selekce, kdy je pro urychlení řazení brána v potaz i poloha pořízení snímků. Obě možnosti urychlují celkový proces řazení snímků.

Po dokončení řazení fotek se v prostřední části Metashape objeví model s jednotlivými klíčovými body. S takovým modelem již lze manipulovat, pohybovat nebo ho otáčet. Dalším krokem je vybudování „*Dense cloud*“ (mračna bodů), kde parametr dovoluje nastavit, v jaké kvalitě bude toto mračno rekonstruováno. Po vybudování mračna je nutné vygenerovat „*Mesh*“ a zároveň propojit body z předchozího kroku. Dle manuálu je u tohoto kroku doporučováno využít jako zdroj dat vygenerovaný „*Dense cloud*“ a u leteckých snímků zvolit typ povrchu „*Height field (2.5D)*“. Po vytvoření sítě se z tečkového modelu vytvoří model podobný finálnímu s tím rozdílem, že ještě není správně texturovaný.



Obrázek 19 - Prostředí Agisoft Metashape – Srpnový Dense cloud

Zdroj: [vlastní]

Pro export výsledné mozaiky není následující krok nutný, ale pokud chce uživatel vidět přibližný finální výsledek mozaiky, je nutné navíc využít funkce „*Build Texture*“. Posledním krokem je možnost „*Build Orthomosaic*“, kde je možné nastavit jiné výstupní souřadnice, které se jinak shodují se souřadnicemi modelu (leteckých snímků). Ostatní parametry, jako GSD nebo výstupní region, nastaví Metashape sám a není nutné je měnit. Pokud vše proběhne správně, je možné vyexportovat výsledné ortofoto. Po vygenerování ortofotomozaiky je možné ji z programu exportovat se zvoleným souřadnicovým systémem.

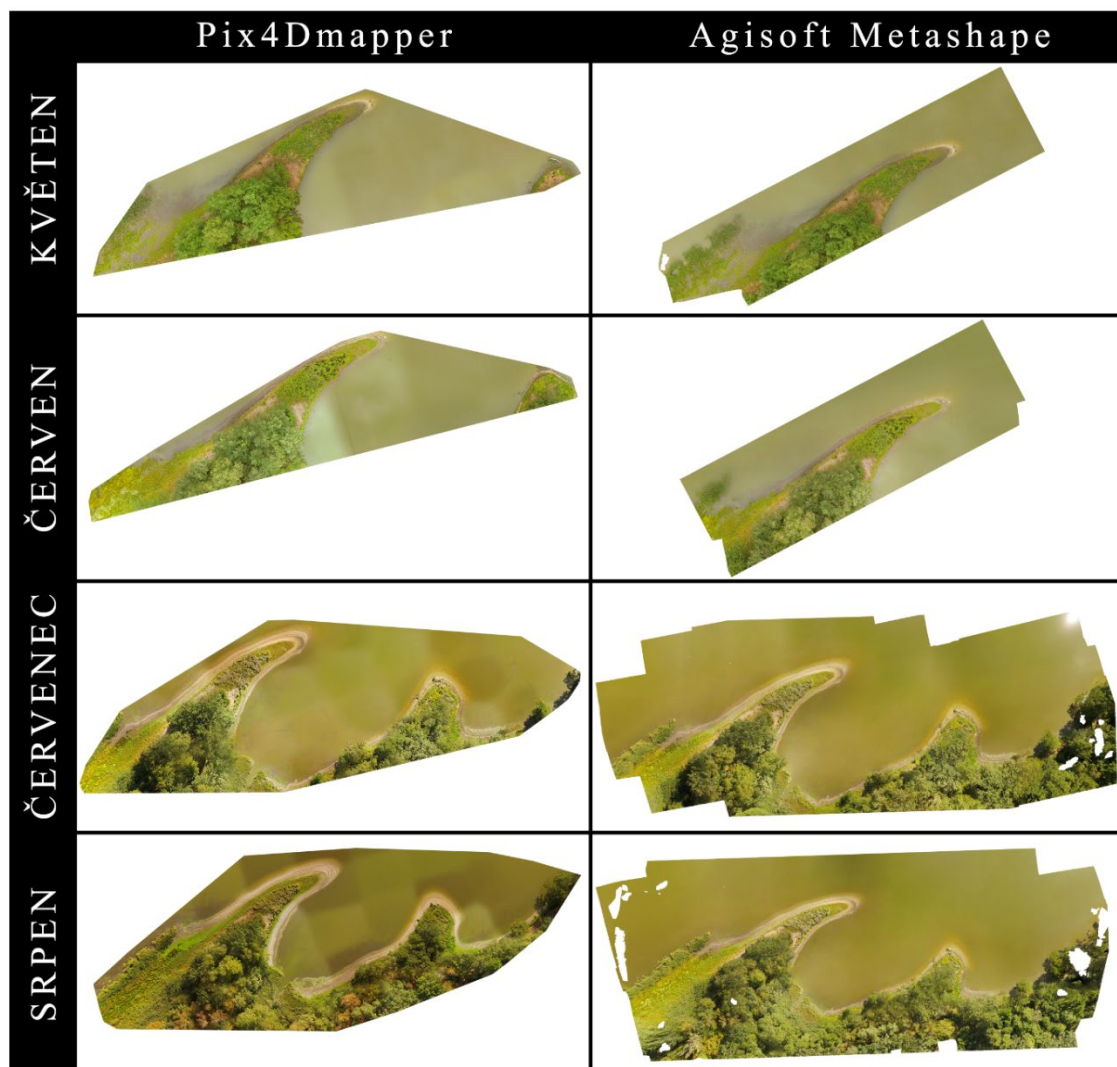
V rámci zpracovávání leteckých snímků v Metashape byly na výsledných mozaikách pozorovány jevy v podobě bílých otvorů, které se objevovaly v případech, kdy překryv snímku nebyl pro software dostatečný, a tak nebylo možné zcela dopočítat styčné body. Pro uzavření těchto otvorů je možné použít v nástrojích pod volbou „*Mesh*“ využít možnost „*Close holes*“, kde je nutné nastavit velikost největšího otvoru v jeho procentuálním poměru k velikosti celého modelu. Při snaze uzavřít všechny otvory došlo ve většině případů k deformaci geometrie modelu, a vzhledem k faktu, že se otvory nikdy neobjevily v zájmovém území, nebyl na ně brán zvláštní zřetel.

Obrázek č. 20 porovnává výstupy za jednotlivé měsíce u obou programů. Na první pohled je jasné, že program Metashape mnohem lépe pracuje z vodními plochami, jak v případě, kdy je správně vyhodnocen pouze levý výběžek, tak v případech, kdy je výstupem mozaika takřka celého snímaného území. Mimo lepší vyhodnocování vodní ploch si nástroj Metashape vede mnohem lépe i ve finální barevné korekci a spojování textur jednotlivých snímků, protože na mozaice nelze zpozorovat žádné přechody nebo čtvercové artefakty.

Všechny výstupní ortofotomozaiky byly zpracovány na stejném stroji - viz tabulka č. 1. Jejich časová náročnost se nijak výrazně neodvívěla od použitého softwarového nástroje. Celý proces vygenerování mozaiky trval déle pro červencovou a srpnovou mozaiku, protože pokrytá plocha je výrazně větší než u květnové a červnové.

Tabulka 1 - Parametry osobního počítače

Grafický adaptér	GeForce GTX 970 (4 GB)
Procesor	QuadCore Intel Core i5-4690K, 3800 MHz
Pracovní paměť (RAM)	16 GB DDR3



Obrázek 20 - Porovnání výstupů z obou použitých nástrojů

Zdroj: [vlastní]

Je těžké jednoznačně stanovit, který software pro vytváření ortofota je lepší. Z výstupů výše uvedených je zřejmé, že se lépe ve spojování celistvých ploch daří programu Metashape. Na druhou stranu například u měsíce června a května nebylo možné z nástroje i při různé parametrizaci klíčových a styčných bodů dostat stejný výsledek a mozaikovat alespoň kousek pravého výběžku, jako se to povedlo softwaru Pix4Dmapper. Toho by se dalo docílit pouze manuálním přidáním styčných bodů v softwaru Metashape. Další výhodou pro Pix4D by mohl být jeho uživatelský komfort a ovládání, který je pro běžné uživatele mnohem příjemnější než prostředí v Metashape. Pro jednotlivé kroky mozaikování jako řazení snímků, vytváření mračna bodů, sítě atp. je jednoznačně lepší Metashape, kde jsou přímo pod kontrolou parametry těchto kroků. Pix4Dmapper nemá takové možnosti škálování a ve chvíli, kdy je nastavena cesta k leteckým snímkům, se stává „černou skříňkou“, ze které vzejdou buď dobré nebo špatné výsledky.

7.5 Digitalizace zájmového území

Pro účely digitalizace zájmového území byl vybrán software ArcGIS for Desktop ve verzi 10.2. Digitalizace je vypracována v aplikaci ArcMap. V digitalizaci se rozlišují tři druhy povrchů: vodní plocha, zaplavované pásmo a vegetace. Tyto 3 druhy povrchů byly klasifikovány dle tabulky č. 2.

Výstupní ortofotomozaiky z obou vybraných softwarů byly až na několik výjimek srovnatelné. Druhý nástroj pro vytváření mozaiky však nabídl větší výstup v podobě neořezaných vodních ploch, a proto byly zpracovány výstupní mozaiky ze softwaru Agisoft Metashape. Zájmové území bylo zmenšeno pouze na severnější (levý) výběžek rybníku Skříň, protože u měsíců května a června není možné zpracovat celé území ve formě vhodné pro digitalizaci.

Tabulka 2 – Klasifikační schéma 3 sledovaných druhů povrchů

Název	Barva v legendě	R	G	B
Vegetace		115	178	115
Zaplavované území		255	234	190
Voda		151	219	242

7.5.1 Vizuální interpretace

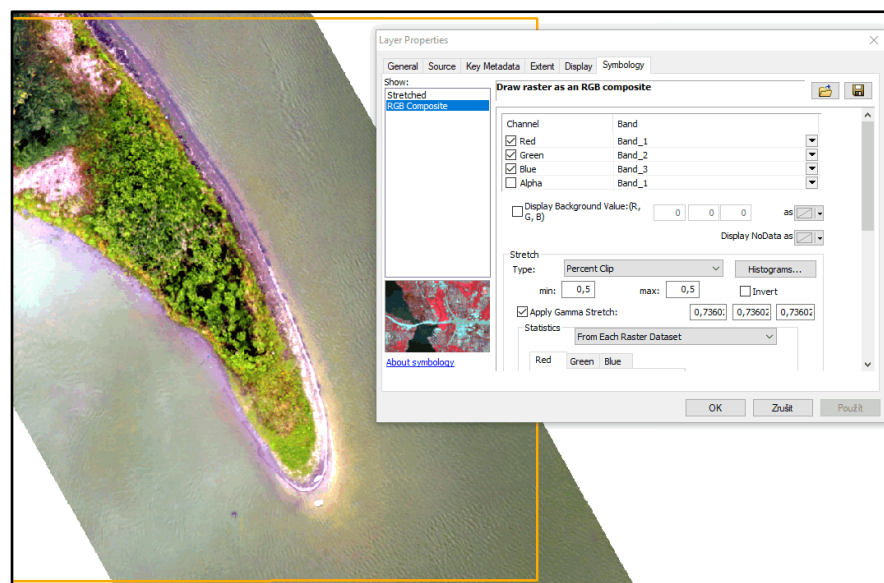
Všechny čtyři výstupní mozaiky byly zprvu vyexportovány společně se souřadnicovým systémem GCS WGS 1984, protože ve stejném systému byly pořizovány snímky z dronu. Později při digitalizaci však bylo zjištěno, že program ArcMap není schopný vypočítat plošné výměry standardní funkcí „*Calculate Geometry*“ pro tento souřadnicový systém. Zobrazí se chybová hláška se sdělením, že všechny geometrické výpočetní funkce ArcGIS používají ke svým výpočtům planimetrické algoritmy. V programu ArcMap je možné vstupní data zobrazit ve dvou typech souřadnic, konkrétně „*Geographic Coordinate System (GCS)*“ anebo „*Projected Coordinate System (PCS)*“. Souřadnicové systémy GCS zobrazují geografické souřadnice na elipsoidu a PCS představují kartografické zobrazení (projekci), tedy rovinné souřadnice. Pro správnou digitalizaci a počítání velikosti ploch na snímku bylo nutné v softwaru Metashape vyexportovat hotové mozaiky v souřadnicovém systému WGS 1984 UTM zone 33N.

V programu ArcMap byly po vytvoření nového projektu vloženy a pojmenovány čtyři nové datové rámce (Data Frame) tak, aby vždy jeden rámeček odpovídal za jedno období. Pro každý rámeček byl zvolen rovinný souřadnicový systém WGS 1984 UTM zone 33N. Dále byla do každého datového rámce naimportována ortofotomozaika dle měsíce. Pro digitalizaci bylo nutné

vytvořit rám (čtverec) kolem zájmového území, aby bylo pokaždé digitalizováno území o stejném rozměru.

Pro vytvoření oblasti kolem zájmového území byl založen nový shapefile (datový formát pro ukládání vektorových prostorových dat společnosti ESRI ve tvaru *.shp). Shapefile byl pojmenován „zajmove_uzemi“ a jeho typ nastaven na „Polygon“. Polygon proto, že cílem je vytvořit tvar čtverce kolem výběžku na rybníku. U vytváření nového shapefile je nutné mít v patrnosti správné nastavení souřadnicového systému, což zajistí správné vyznačení zájmového území napříč datovými rámci. Zde byl znovu vybrán souřadnicový systém WGS 1984 UTM zone 33N. Po potvrzení zvolených parametrů je shapefile vytvořen. Pro jeho editaci je nutné si v horní oblasti ovládacích panelů zobrazit nástroj „Editor“. Až po zvolení možnosti „Start Editing“ v Editoru a výběru shapefile je možné vytvořit čtverec.

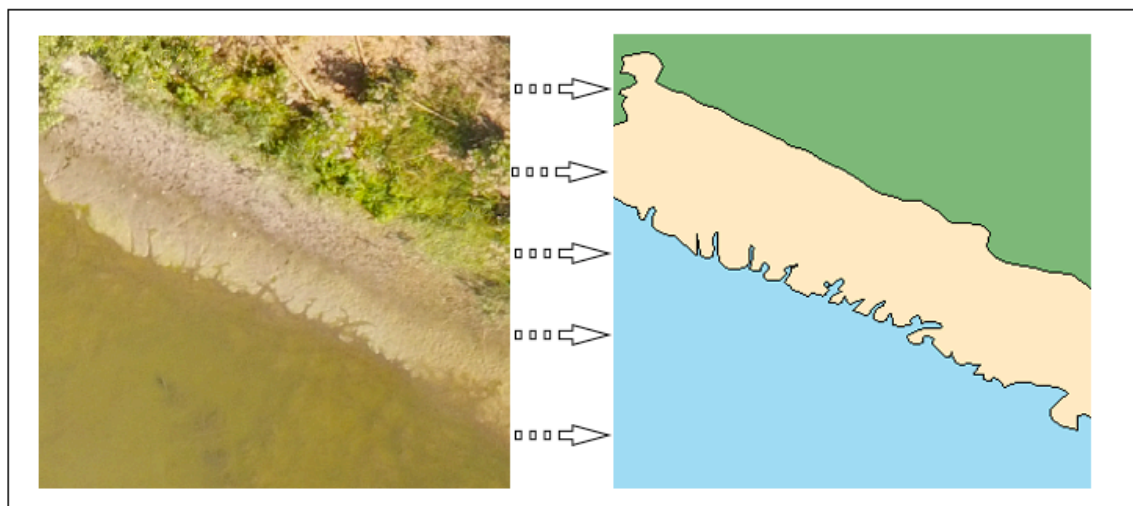
ArcMap barevně optimalizuje snímky dle vlastního přednastavení pomocí aplikace různých filtrů na barevný histogram snímku kvůli posílení jeho vizuální interpretace. V této práci to mnohdy vedlo ke zhoršení a ztížení možnosti rozeznání mezi vodou a zaplavovaným pásmem, nebo mezi vegetací a zaplavovaným pásmem. Proto bylo u daných snímků, kde tyto automatické optimalizace ztěžovaly digitalizaci, zvolena možnost Stretch na „None“ a vypnuté „Gamma Stretch“, v záložce „Symbology“. Záložku „Symbology“ lze nalézt pod vlastnostmi snímku. U mozaiky z června bylo naopak pro usnadnění nalezení obrysu vodní hladiny použito nastavení Stretch na možnost „Percent Clip“ s hodnotami min a max 0,5 a aplikován „Gamma Stretch“ s hodnotou 0,73602 pro každé barevné pásmo viz obrázek č. 21.



Obrázek 21 - Nastavení „Stretch“ ve vlastnostech červnové mozaiky

Zdroj: [vlastní]

Pro digitalizaci zájmového území bylo nutné vytvořit další shapefile, který bude odrážet vizuální interpretaci autora. Shapefile je typu „*Polygon*“ a má nastavený stejný souřadnicový systém jako zájmové území. Samotná digitalizace probíhá postupným volením jednotlivých obrysových bodů na zvoleném typu povrchu. Tyto body se vytvářejí klikáním, kdy je poté nutné dvojklikem vytvořit mnohoúhelník digitalizované oblasti. Nejdříve byla vždy digitalizována vegetace, protože při následné digitalizaci zaplavovaného území bylo možné využít nástroje „*Auto Complete Polygon*“. Pokud první a poslední bod začne na již předtím vytvořeném mnohoúhelníku, tento nástroj automaticky vytvoří hrany podél něj. Tím je usnadněna práce a předchází se případným otvorům ve finální mapě. Náročnost digitalizace se odvíjela od měsíce, který byl zrovna digitalizován. Časově nejnáročnější byl měsíc červenec. Na spodním okraji výběžku totiž došlo k částečné erozi zaplavovaného území ve spodním sedimentu vlivem vlnící se vody. Pro co nejuvěrnější odraz reality byla snaha o digitalizaci eroze, jak je vidět na obrázku č. 22.



Obrázek 22 - Digitalizace eroze v zaplavovaném území

Zdroj: [vlastní]

Po digitalizaci zájmového území byla vytvořena mapa pro jednodušší možnost porovnání stavu výběžku na rybníku Skříň ve všech měsících. Vytváření mapy probíhá po přepnutí do režimu „*Layout View*“. Mapový výstup v příloze č. 1. zobrazuje porovnání severnějšího výběžku rybníku v konkrétních datech společně s legendou a měřítkem. Pro porovnání je možné sledovat postupný vývoj vodní hladiny a celkový úbytek vody v čase. S tím je spojeno i postupné rozšiřování plochy zaplavovaného území.

7.5.2 Automatická klasifikace

Pro zobrazení automatických klasifikačních nástrojů je nutné si v softwaru ArcMap zapnout nástroj s názvem „*Image Classification*“. Po zobrazení nástroje budou jednotlivé funkcionality v políčku *Classification* neaktivní. Zdrojem tohoto problému je vypnutý prvek rozšíření v ArcMap, který je nutné zapnout přes nabídku „*Extensions*“ v horní liště „*Customize*“. Název rozšíření, které musí být zaškrtnuté, je „*Spatial Analyst*“. Tato volba umožní zpracovávat prostorová i vektorová data.

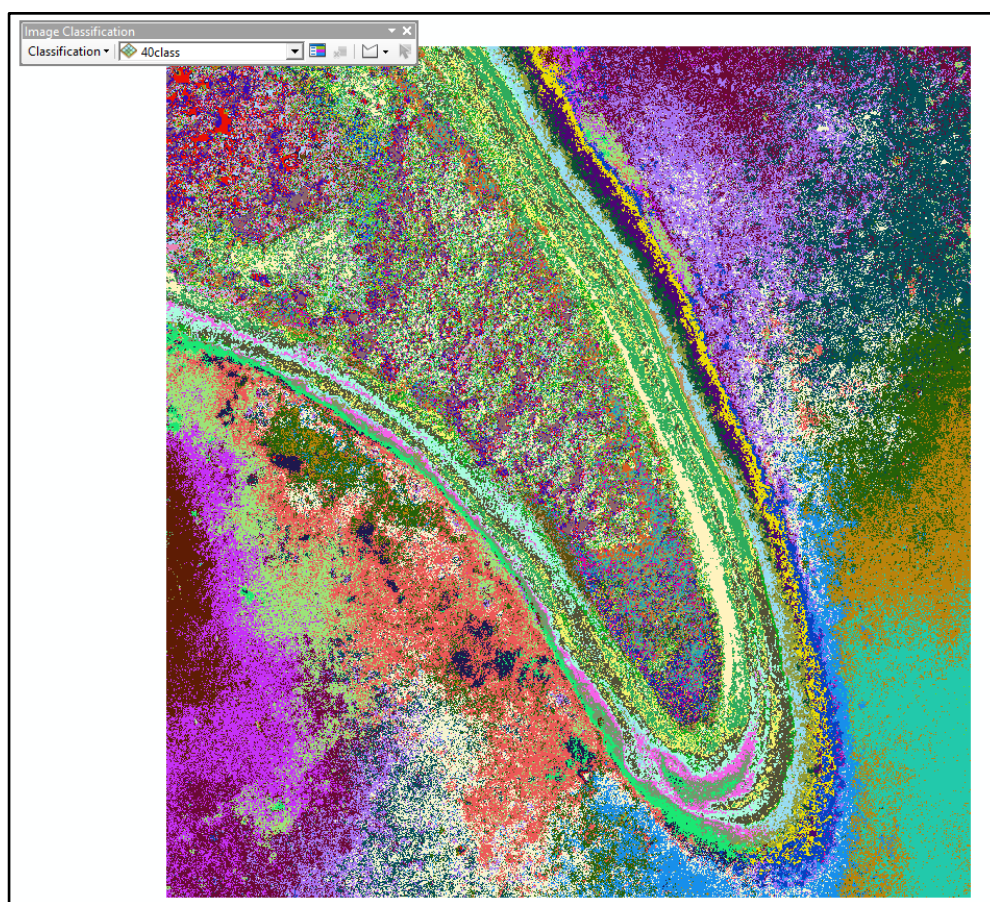
Nástroj „*Image Classification*“ nabízí klasifikaci metodou maximální věrohodnosti (řízená klasifikace) nebo shlukovou metodou Iso cluster (neřízená klasifikace). Pro účely této práce, byla vybrána metoda Iso cluster. Obecně totiž bývá přesnější řízená klasifikace, kde je nejprve nutné vybrat na snímku pár ploch, ze kterých se potom může řízená klasifikace naučit, jak klasifikovat celý snímek. Řízená klasifikace je ale časově náročná oproti neřízené, kde pouze stačí zadat počet tříd, do kterých se má povrch rozdělit.

Po spuštění funkce „*Iso Cluster Unsupervised Classification*“ se objeví dialog, do kterého je nutné vyplnit parametry klasifikace. V seznamu „*Input raster bands*“ je vždy vybrána výstupní ortofotomozaika za daný měsíc. Slouží jako vstup rastrových pásem. V poli „*Number of classes*“ je nutné zadat počet požadovaných klasifikačních tříd. Toto číslo by mělo mít hodnotu 3. A to na základě 3 sledovaných a digitalizovaných povrchů ve vizuální interpretaci. Často se však v případě zadání tohoto čísla stalo, že byly nesprávně klasifikovány velké části vodní hladiny jako zaplavované území, nebo vegetace jako vodní hladina. Proto byl zvolen jiný přístup ke konečnému počtu těchto tříd. Počet tříd bude výrazně navýšen a poté budou jednotlivé třídy zase spojeny zpět takovým způsobem, aby tvořily 3 pozorované povrchy.

Po zkoušení různých kombinací se u květnové a červnové mozaiky ukázal jako nejlepší počet cílových tříd 20 a u zbylých 2 byl optimální počet tříd 40. Vzhledem k vysokému detailu na výsledném snímku se povrch pro ArcMap jeví jako velmi heterogenní. Dalším důvodem je i vliv odrazivosti snímaných povrchů, protože software hodnotí mj. i podle barvy pixelu a v určitých podmínkách, jako je třeba jasné slunečné záření, se odražené slunce od vodní hladiny zdá pro ArcMap barevně stejné jako zaplavované území. Může také nastat situace, kdy počet zadaných tříd není zcela naplněn. Zdrojem tohoto jevu je buď nevyrovnané rozložení počátečních shluků pixelů nebo nerozeznatelná podobnost statistických vlastností pixelu. Zbylé dva parametry v dialogu jsou volitelné a předem vyplněné. Jedná se o minimální počet vzorků ve třídě a vzorkovací interval. Pro účely tohoto projektu je ještě nutné omezit vyhodnocování

klasifikace pouze na zájmové území. K tomu slouží volba „*Environments...*“, kde je možné pod řádkem „*Processing Extent*“ zvolit zpracovávané území pouze dle předem vytvořeného shapefile „*zajmive_uzemi*“. Toto nastavení urychlí klasifikaci a ušetří další kroky ořezávání mozaiky.

Vzhledem k počtu výstupních tříd u červencové a srpnové mozaiky dalo největší práci postupné seskupování vygenerovaných tříd tak, aby bylo docíleno pouze tří druhů povrchů. Pro příklad je zde uveden obrázek č. 23, který zobrazuje stav po dokončení neřízené klasifikace s parametrem 40 výstupních tříd.



Obrázek 23 - Iso Cluster klasifikace s výstupem 40 tříd

Zdroj: [vlastní]

Slučování tříd probíhá ve vlastnostech nově vytvořené vrstvy v záložce „*Symbology*“. Postup pro spojování je takový, že jsou nejdříve slučovány barvy, které se vyskytují na vodní ploše, mimo výběžek, potom jsou slučovány barvy, které tvoří zaplavované území a zbytek tříd je sloučen tak, aby vytvořil vegetaci. Samotné sloučení probíhá tak, že jsou hromadně vybrány

třídy a vybraná možnost „*Group Values*“. Po sloučení ještě následuje barevná korekce jednotlivých tříd, aby lépe interpretovaly dané území. Výsledky celé klasifikace jsou uvedeny v příloze č. 2 této práce.

Sloučení jednotlivých tříd v záložce „*Symbology*“ je jedna možnost, jak lze přistupovat k tomuto problému. Další možností je využití nástroje prostorové analýzy s názvem „*Reclassify*“. Tento nástroj vytvoří ze vstupní vrstvy novou vrstvu, ve které jsou třídy dle zvoleného atributu znovu zatříděny dle nastavených parametrů.

Po otevření nástroje „*Reclassify*“ se objeví dialogové okno, kde je nutné zadat vstupní vrstvu a její atribut, podle kterého bude nové zatřídění probíhat. ArcMap automaticky doplní unikátní hodnoty tohoto atributu. Po stisknutí volby „*Classify*..“ se objeví další okno, ve kterém je zvolen nový cílový počet tříd. Zde je vybrána hodnota 3 (počet sledovaných povrchů), načej ArcMap automaticky rozdělí hodnoty vstupní vrstvy do 3 intervalů. V okně, kde se nachází hodnoty atributu, je možné vidět pole „*Old values*“ a pole „*New values*“. Obě pole jsou editovatelná a je na uživateli, jaké zvolí konkrétní rozsahy (intervaly) pro nové třídy. V tuto chvíli ale už je nutné mít na paměti jednotlivé rozmístění tříd předchozích, aby došlo ke správnému novému rozřídění. Po dokončení editace intervalů je už jen vyžadován název nové výstupní vrstvy včetně cesty v souborovém systému počítače. Stejně jako u předchozích kroků je ve volbě „*Environments...*“ nastaven řádek „*Processing Extent*“ na zpracovávané území dle předem vytvořeného shapefile „*zajmove_uzemi*“.

Rozdíl oproti předešlé metodě tkví v tom, že v záložce „*Symbology*“ ve vlastnostech třídy se pouze mění symbolika neboli zobrazování daných tříd po jejich sloučení. Funkce „*Reclassify*“ ale vytvoří vrstvu novou, kde jsou již třídy rozděleny dle zvolených hodnot a jednotlivé pixely jsou součástí tohoto konečného počtu tříd, ve kterých sdílejí stejné vlastnosti.

7.5.3 Porovnání výsledků vizuální interpretace a automatické klasifikace

Následující kapitola pojednává o porovnání dvou přístupů k identifikaci druhů povrchů pomocí manuální a automatické metody. Jako manuální metoda byla využita vizuální interpretace prostřednictvím on-screen digitalizace obrazu do vektorové podoby. Automatickou metodou je shluková klasifikační metoda Iso cluster.

Jak již bylo předesláno v kapitole 7.5.1, k digitalizovanému obrazu je ještě nutné přidat další informace v podobě rozlohy vytvořených ploch. Rozloha se dá nejsnadněji přidat přes funkci „*Calculate Geometry*“ v atributové tabulce vrstvy. Nejdříve přes pole „*Add field*“ přidat nový sloupeček s datovým typem double. Název sloupečku je možné změnit v editačním režimu. Po zvolení nově vytvořeného sloupečku je nutné spustit funkci „*Calculate Geometry*“. V dialogovém okně je zvolena možnost „*Area*“ pro výpočet plochy. Je ponechán souřadnicový systém zdrojového datového rámce „*WGS 1984 UTM zone 33N*“ a jednotky pro výpočet jsou nastaveny na metry čtvereční. Nově přidáný sloupec je naplněn vypočtenými hodnotami.

Tabulka 3 - Porovnání výsledků obou zvolených metod

VIZUÁLNÍ INTERPRETACE			AUTOM. KLASIFIKACE (NEŘÍZENÁ)		
Květen	m ²	%	Květen	COUNT	%
Vegetace	478,5265	17,15	Vegetace	1244882	13,24
Zaplavované území	87,23898	3,13	Zaplavované území	596417	6,34
Vodní plocha	2224,191	79,72	Vodní plocha	7560601	80,42
Suma	2789,956	100,00	Suma	9401900	100,00
Červen	m ²	%	Červen	COUNT	%
Vegetace	511,9827	18	Vegetace	1168637	12
Zaplavované území	80,64675	3	Zaplavované území	540422	5
Vodní plocha	2197,327	79	Vodní plocha	8268441	83
Suma	2789,956	100	Suma	9977500	100
Červenec	m ²	%	Červenec	COUNT	%
Vegetace	617,8938	22	Vegetace	860359	9
Zaplavované území	340,2397	12	Zaplavované území	1801286	20
Vodní plocha	1831,823	66	Vodní plocha	6439283	71
Suma	2789,956	100	Suma	9100928	100
Srpen	m ²	%	Srpen	COUNT	%
Vegetace	624,673	22	Vegetace	323079	8
Zaplavované území	349,1103	13	Zaplavované území	812489	19
Vodní plocha	1816,173	65	Vodní plocha	3069662	73
Suma	2789,956	100	Suma	4205230	100

U automaticky klasifikovaných vrstev nelze spočítat rozlohu pomocí funkce „*Calculate Geometry*“, protože se nejedná o mnohoúhelníky, ale o rastrová data. Je zde však k dispozici sloupeček „*COUNT*“, který udává počet obrazových bodů v příslušné třídě. Procentuální poměry jednotlivých povrchů proto byly vypočítány z tohoto parametru vrstvy.

Z výsledků v tabulce č. 3 je patrné, že mnohem přesnější údaje poskytuje manuální metoda, tedy vizuální interpretace obrazu. Další faktory, které výrazně ovlivňují výsledky automatické klasifikace jsou například podmínky při pořizování leteckých snímků (slunečné, zataženo, deštivo) a odrazivé vlastnosti povrchu. Dále je možné pozorovat postupnou ztrátu přesnosti, především pokud se jedná o vegetaci. Klasifikace Iso cluster totiž v měsících červenci a srpnu často zaměňovala vegetaci s vodním povrchem nebo zaplavovaným územím kvůli velkému množství organického materiálu ve vodě. Dostatečně nepomáhalo ani zvyšování počtu generovaných výstupních tříd.

Procentuální poměr rozlohy jednotlivých území manuální a automatické digitalizace se v pozdějších letních měsících lišil až o několik procent. Celková rozloha zájmového území dle manuálně provedené digitalizace byla cca 2 800 m² s tím, že v květnu tvořila až 80 % (2 224 m²) této rozlohy vodní plocha. Následkem úbytku vody se rozloha zaplavovaného území zvětšila z 3 % (87 m²) do měsíce srpna o 10 % (349 m²).

Postupně zhoršující se výsledky automatické klasifikace lze přičíst především vysokému prostorovému rozlišení ortofotomozaiek. U menšího počtu snímků s nižším prostorovým rozlišením nebo u satelitních snímků by si měla automatická klasifikace vést mnohem lépe. Automatická klasifikace také nijak výrazně neurychlila proces digitalizace snímku. V porovnání s manuální digitalizací, kde po založení shapefilu zabere dalších několik minut tvorba povrchů, stejný čas zaberou i následné operace po neřízené klasifikaci Iso Cluster. Právě v případě této práce byl čas ručního digitalizování území a spojování vygenerovaných tříd automatickou klasifikací skoro totožný. Je ale také nutné přihlídnout k velikosti interpretovaného území. Pokud by mělo být digitalizováno několikanásobně větší území, než se nachází v této práci, určitě by automatická klasifikace měla být zvážena jako další možnost interpretování území.

8 INTERPRETACE VÝSLEDKŮ

V této práci byly zpracovávány letecké snímky z roku 2018 v časovém období od měsíce května do srpna téhož roku. Snímky byly pořízeny v západní části rybníku Skříň, který se nachází nedaleko města Lázně Bohdaneč. Letové mise byly ve všech 4 měsících prováděny s komerčním dronem DJI Phantom 3 v letových hladinách 40 m a 60 m. Samotný let byl plánovaný v aplikaci DJI GO 3.1 s celkovou plochou pokrytí 2,8 ha.

Pořízené snímky byly nejdříve mozaikovány ve vybraném softwarovém nástroji, aby bylo možné je dále zpracovávat. Nároky na software pro vytváření mozaiky byly směřovány na oblast bezplatného vyzkoušení se zachováním plné funkcionality. Vyhovující byly 2 softwarové nástroje, konkrétně Pix4Dmapper a Agisoft Metashape, dříve známý jako Photoscan.

Při porovnání výstupních ortofotomozaiek z obou nástrojů bylo zjištěno, že vizuálně lepší výsledky poskytuje software Agisoft Photoscan. Ve výstupech z Pix4Dmapper se totiž často objevovaly barevné skvrny, které vznikly nedostatečnou barevnou korekcí při napojování jednotlivých snímků. U Pix4Dmapper také nelze dostatečně ovládat celkový proces mozaikování ani přímo pozorovat jednotlivé kroky, které se v tomto procesu dějí. Oproti nástroji Photoscan, ve kterém je nutné projít a parametrizovat každou část až po výslednou mozaiku, je Pix4Dmapper do jisté míry černou skříňkou. Ortofotomozaiky byly ze softwaru Photoscan exportovány se souřadnicovým systémem WGS 1984 UTM zone 33N.

Vlivem stavu vegetace v měsících květnu a červnu, kdy měla naprostá většina stromů svoji korunu v odstínech zelené, se podařilo nástrojům z dostupných snímků sestavit mozaiky pouze severnějšího výběžku rybníku. Zbylé území je totiž pokryté stromovou vegetací a nástroje nejsou schopné najít dostatek styčných bodů na několika snímcích tak, aby je úspěšně spojily.

Jelikož byly pro dva ze čtyř měsíců dostupné mozaiky pouze pro část území, zájmové území bylo pozměněno pouze na tento severní výběžek o velikosti 0,28 ha, což je zhruba desetina původní velikosti mozaiky. Výběžek totiž bylo možné z dostupných dat digitalizovat a nadále podrobit analýze.

Digitalizace a následná interpretace probíhala v softwaru ArcMap 10.2, který je součástí prostředí ArcGIS. Na snímcích byly rozlišovány celkově 3 druhy povrchů. Jednalo se o vegetaci, zaplavované území a vodní plochu. Pro správnou interpretaci výstupního území byl vytvořen čtvercový rám lemující zájmové území. Digitalizace výběžku nejprve probíhala metodou vizuální interpretace, při které je nutné do nového shapefile vytvořit všechny typy povrchů ručně. Manuální vytváření pomocí polygonů probíhalo pomocí nástrojů ve funkci Editor a po

jeho dokončení bylo všem povrchům přiřazeno ID. Následně byly povrchy obarveny dle předem zvoleného klasifikačního schématu a tato výsledná digitalizovaná území vložena do společného mapového výstupu.

Další zvolenou metodou byla automatická neřízená klasifikace Iso Cluster. Při práci s metodou Iso Cluster proběhlo několik experimentů s počtem výstupních tříd pro klasifikaci povrchu. V případě menšího počtu výstupních tříd docházelo k chybné klasifikaci velkých oblastí na vodní ploše a zároveň zkreslení výstupní mapy. Proto byl počet těchto tříd navýšen na 20 v případě květnové a červnové mozaiky. U červencové a srpnové mozaiky byl konečný počet tříd 40. Tyto třídy byly poté ve vlastnostech vrstvy spojeny takovým způsobem, aby co nejlépe vystihly 3 požadované povrchy. Barvená korekce povrchů se opět držela klasifikačního schématu. Pro účely této práce nebylo nutné reklasifikovat třídy vytvořené metodou neřízené klasifikace.

Z vypočtených rozloh manuální digitalizace bylo možné zjistit, o kolik se zvětšilo zaplavované území výběžku rybníku Skříň. V průběhu 4 pozorovaných měsíců se zaplavované území zvětšilo o necelých 10 %. Postupné rozšíření tohoto území je spojeno i s celkovým úbytkem vody díky vysokým letním teplotám a vznikání eroze ve vrstvě spodního sedimentu. Pokles vody mohl také souviset s prováděnou regulací hladiny rybníka majitelem Rybníční hospodářství, s.r.o, Lázně Bohdaneč, v reakci na sucho.

Vzhledem k faktu, že bylo území digitalizováno dvěma metodami, byla porovnána přesnost těchto metod na základě výměry rozlohy jednotlivých povrchů. Jako spolehlivější metoda se ukázala být manuální digitalizace. Ta však může být v případě velkých snímků velmi náročná na čas a preciznost výstupu. Pokud by měly být analyzovány snímky z družice nebo letecké snímky s menším prostorovým rozlišením, výsledky automatické klasifikace budou přesnější.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo monitorování změn v okolí malých vodních ploch s využitím dat z UAV. Data z UAV byla postupně zpracována až po výslednou interpretaci.

Z dostupných leteckých snímků byla vytvořena ortofotomozaika ve vybraném softwarovém nástroji. Na vytvořených mozaikách byly vyhodnoceny změny v krajině za pomoci vizuální interpretace a automatické neřízené klasifikace.

Letecké snímky, které tvořily podklad pro tuto práci, byly vyhotovené v rámci leteckých misí Ústavu systémového inženýrství a informatiky Fakulty ekonomicko-správní na Univerzitě Pardubice. Tyto letecké mise probíhají po celý rok i pro účely ostatních projektů univerzity. V této práci byly analyzovány snímky za měsíce květen, červen, červenec a srpen roku 2018 pořízené dronem DJI Phantom 3 Standard.

Pro účely mozaikování byl proveden průzkum dostupných softwarových nástrojů, které nabízely možnost vyzkoušení zdarma. Samotné zpracování leteckých snímků probíhalo ve 2 nástrojích, jmenovitě Pix4Dmapper a Agisoft Metashape. Po vyhodnocení výstupů z obou programů bylo zjištěno, že lepší ortofotomozaiky vytvořil Agisoft Metashape.

Sledování změn v krajině a analýzy s tímto úkonem spojené byly vypracovány v programu ArcGIS Desktop 10.2. V nástroji ArcMap bylo sledování změn v krajině provedeno 2 metodami. Nejdříve metodou vizuální interpretace a poté vyhodnocení metodou automatické neřízené klasifikace.

Metoda vizuální interpretace je pro zpracovatele časově náročnější než klasifikace. Jedná se o stereotypní práci vytváření povrchů na zvoleném území. Její výsledky však bývají zpravidla nejpřesnější na snímcích s vysokým prostorovým rozlišením. Metoda automatické neřízené klasifikace byla provedena nejdříve s nízkým počtem výsledných tříd. Výsledky však nebyly uspokojivé kvůli vysoké heterogenitě snímků a vysokému počtu špatně zatříděných pixelů.

Výsledky obou metod byly porovnány pomocí výpočtu rozloh. Tyto výpočty ukázaly postupný nárůst špatně zatříděných pixelů u automatické klasifikace. Špatné výsledky u automatické klasifikace lze přisoudit vysokému prostorovému rozlišení výstupních snímků a různé odrazivosti povrchů při různých světelných podmínkách. Pokud by však nebyly kladeny vysoké nároky na přesnost, nýbrž na hrubý odhad velikosti jednotlivých ploch, dalo by se říci, že je automatická klasifikace dostačujícím nástrojem pro výměru rozlohy na zvoleném území.

Tato práce může sloužit jako podklad pro studenty zabývající se mozaikováním leteckých snímků a sledováním změn v krajině. Dále pro laickou veřejnost, která se zajímá o bezpilotní létající systémy, nebo chce získat hlubší náhled do problematiky dálkového průzkumu Země a digitálního zpracování obrazu.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ACHARYA, Tinku a Ajoy K. RAY, 2005. *Image processing: principles and applications*. Hoboken, N.J.: John Wiley. ISBN 978-0-471-71998-4.
- [2] BALTSAVIAS, Emmanuel P., 1999. A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* [online]. Elsevier, (54), 83-94 [cit. 2018-12-17]. DOI: 10.1016/s0924-2716(99)00014-3. ISSN 0924-2716. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271699000143>
- [3] BANDINI, Filippo, Jakob JAKOBSEN, Daniel OLESEN, Jose Antonio REYNAGUTIERREZ a Peter BAUER-GOTTWEIN, 2017. Measuring water level in rivers and lakes from lightweight Unmanned Aerial Vehicles. *Journal of Hydrology*. **548**, 237-250. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.02.038. ISSN 00221694. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169417301178>
- [4] CAMPBELL, James B. a Randolph H. WYNNE, c2011. *Introduction to remote sensing*. 5th ed. New York: Guilford Press. ISBN 978-1609181765.
- [5] DOBROVOLNÝ, Petr, 2005. *Základy fotogrammetrie: 1. Základní pojmy a definice, rozdělení metod fotogrammetrie, historický přehled* [online]. Masarykova univerzita [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/jaro2005/Z8101/um/FOTOGGRAM_01.pdf
- [6] DOBROVOLNÝ, Petr, 1998. *Dálkový průzkum Země: digitální zpracování obrazu*. Brno: Masarykova univerzita. ISBN isbn8021018127.
- [7] GOLDMAN, DJI Phantom 3 Standard review. In: *CNET* [online]. CBS INTERACTIVE, 20.1.2016 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.cnet.com/reviews/dji-phantom-3-standard-review/>
- [8] GREWAL, Seema, 2013. Image Processing. *International Journal of Science, Engineering and Computer Technology* [online]. **3**(1), 32-34 [cit. 2018-12-18]. ISSN 2231508X. Dostupné z: <https://search.proquest.com/docview/1515299528?accountid=17239>
- [9] HALOUNOVÁ, Lena a Karel PAVELKA, 2005. *Dálkový průzkum Země*. Praha: Vydavatelství ČVUT. ISBN 80-01-03124-1.

- [10] CHEN, Assaf, Valerie ORLOV-LEVIN a Moshe MERON, 2019. Applying high-resolution visible-channel aerial imaging of crop canopy to precision irrigation management. *Agricultural Water Management* [online]. **216**, 196-205 [cit. 2019-02-27]. DOI: 10.1016/j.agwat.2019.02.017. ISSN 03783774. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S037837741831758X>
- [11] KOMÁRKOVÁ, Jitka a Pavel SEDLÁK, 2018. UAV Spectral Image Mapping of Shoreline Vegetation. *GIM International*. Nizozemsko: Geomares, **32**(6), 26-27. ISSN 1566-9076.
- [12] LILLESAND, Thomas M., Ralph W. KIEFER a Jonathan W. CHIPMAN, c2008. *Remote sensing and image interpretation*. 6th ed. Hoboken, NJ: John Wiley. ISBN ISBN978-0-470-05245-7.
- [13] LIPSKÝ, Zdeněk, 1999. Sledování změn v kulturní krajině: učební text pro cvičení z předmětu Krajinná ekologie. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce. ISBN 80-213-0643-2.
- [14] LUO, Wei, Xianli XU, Wen LIU, et al., 2019. UAV based soil moisture remote sensing in a karst mountainous catchment. *CATENA*. **174**, 478-489. DOI: 10.1016/j.catena.2018.11.017. ISSN 03418162. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0341816218305046>
- [15] MANFREDA, Salvatore, Matthew MCCABE, Pauline MILLER, et al., 2018. On the Use of Unmanned Aerial Systems for Environmental Monitoring. *Remote Sensing*. **10**(4). DOI: 10.3390/rs10040641. ISSN 2072-4292. Dostupné také z: <http://www.mdpi.com/2072-4292/10/4/641>
- [16] NEEVES, Katie, 2019. Aerial Photography Hinckley – What it is – How it can be used. In: *Marrtin Neeves Photography & Film* [online]. 11.9.2014 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.martinneeves.com/tag/aerial-photography-2/>
- [17] PRATT, Leslie, 2004. MQ-9 Reaper UAV. In: *Wikimedia Commons* [online]. San Francisco, 29.11.2008 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MQ-9_Reaper_UAV.jpg

- [18] REIS, Selçuk, 2008. Analyzing Land Use/Land Cover Changes Using Remote Sensing and GIS in Rize, North-East Turkey. *Sensors* [online]. **8**(10), 6188-6202 [cit. 2019-02-01]. DOI: 10.3390/s8106188. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1424-8220/8/10/6188>
- [19] RICHARDS, J. A. a Xiuping JIA, c2006. *Remote sensing digital image analysis: an introduction*. 4th ed. Berlin: Springer. ISBN 35-402-5128-6.
- [20] RUSNÁK, Miloš, Ján SLÁDEK, Anna KIDOVÁ a Milan LEHOTSKÝ, 2018. Template for high-resolution river landscape mapping using UAV technology. *Measurement*. **115**, 139-151. DOI: 10.1016/j.measurement.2017.10.023. ISSN 02632241. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S026322411730653X>
- [21] SALAŠOVÁ, Alena, 2014. *Nauka o krajině I*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN isbn978-80-7509-185-7.
- [22] SEMYONOV, Dmitry, Agisoft Forum - Agisoft Metashape 1.5.0 pre-release. *Agisoft* [online]. St. Petersburg, 6.10.2018 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.agisoft.com/forum/index.php?topic=9793.0>
- [23] STUHLÍK, Radim, 2015. *Získávání dat pomocí UAV a jejich využití v krizovém řízení*. Brno. Diplomová práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Doc. RNDr. Petr Kubíček, CSc.
- [24] ŠIMÍČEK, Martin, 2014. *Implementace metody structure from motion do UAV fotogrammetrie*. Olomouc. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce RNDr. Jakub MÍŘIJOVSKÝ, Ph.D.
- [25] TEDESCO, M., 2015. *Remote sensing of the cryosphere*. Hoboken, NJ: Wiley Blackwell. ISBN 978-1-118-36885-5.
- [26] WATTS, Adam C., Vincent G. AMBROSIA a Everett A. HINKLEY, 2012. Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use. *Remote Sensing* [online]. **4**(6), 1671-1692 [cit. 2019-02-05]. DOI: 10.3390/rs4061671. ISSN 2072-4292. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2072-4292/4/6/1671>

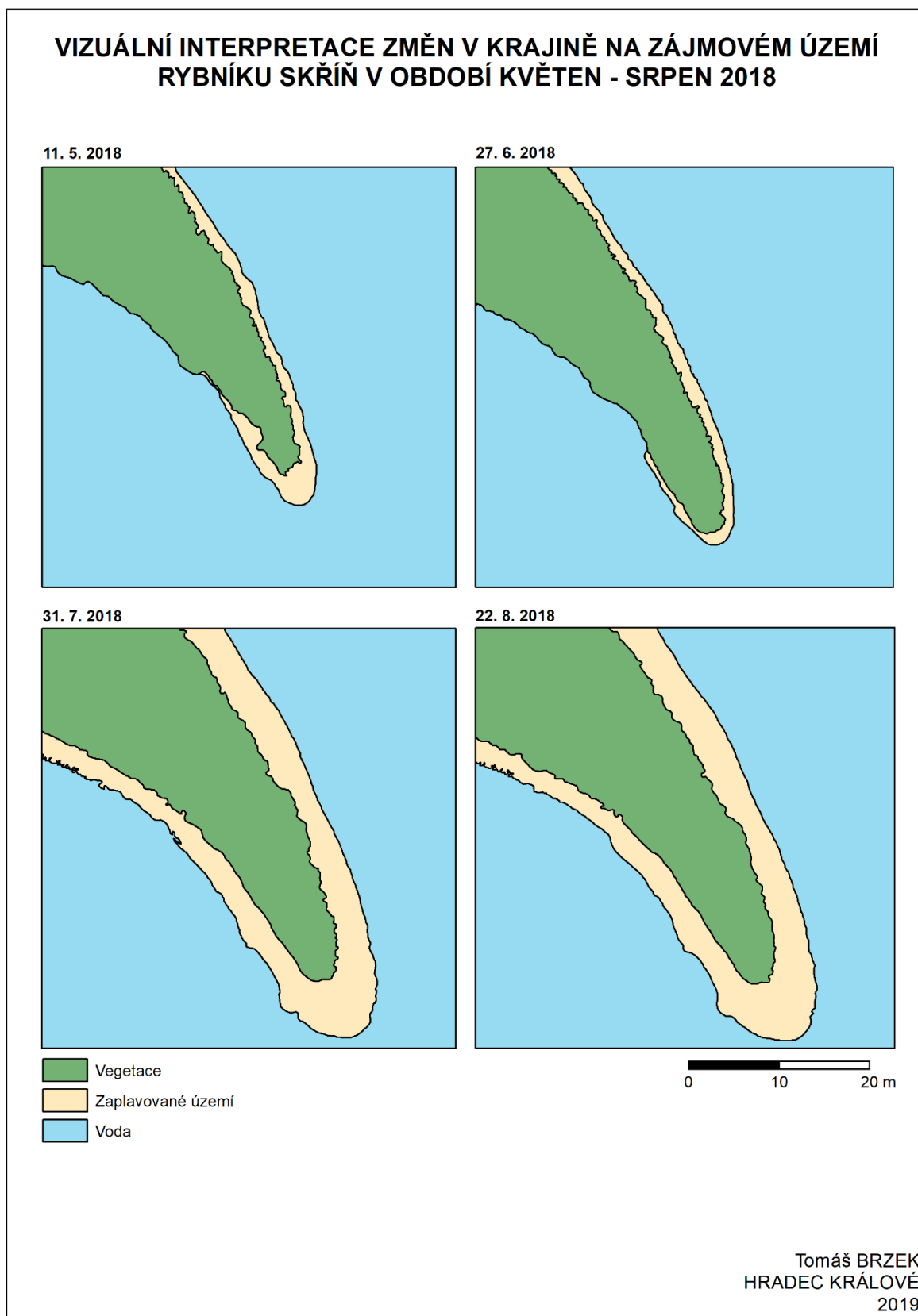
- [27] ArcGIS for Student Use, ©2019. *Esri* [online]. Redlands [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.esri.com/en-us/store/arcgis-student-use>
- [28] "aerial photography", 2010. In: *Britannica Academic* [online]. Encyclopædia Britannica [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: <https://academic.eb.com/levels/collegiate/article/aerial-photography/3870>
- [29] UltraCam Eagle Mark 3, ©2018. *Vexcel Imaging GmbH* [online]. [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: <https://www.vexcel-imaging.com/ultracam-eagle/>
- [30] Ground sample distance (GSD), ©2014. *The John A. Dutton e-Education Institute* [online]. The Pennsylvania State University [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: <https://www.e-education.psu.edu/glossary/taxonomy/term/2>
- [31] About ArcGIS, ©2019. *Esri* [online]. Redlands [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview>
- [32] ArcGIS Pro, ©2019. *ARCDATA PRAHA* [online]. Praha: Esri [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/arcgis/desktopovy-gis/arcgis-pro>
- [33] *ArcMap* [online], ©2019. Praha: Esri [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/arcgis/desktopovy-gis/arcmap>
- [34] Pix4D Store, ©2019. *Pix4D* [online]. Lausanne [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://cloud.pix4d.com/store>
- [35] Pix4Dmapper, ©2019. *Pix4D* [online]. Lausanne [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software>
- [36] ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing, Amsterdam: Elsevier.
- [37] *STANOVISKO č. 1/2013*, 2013. In: . Praha: Úřad pro ochranu osobních údajů. Dostupné také z: https://www.uouu.cz/files/stanovisko_2013_1.pdf
- [38] Je nějak řešena ochrana soukromí a ochrana osobních údajů?, ©2011. *Úřad pro civilní letectví* [online]. Praha [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/je-nejak-resena-ochrana-soukromi-a-ochrana-osobnich-udaju>
- [39] *Mapy.cz* [online], ©2019. Praha: Seznam [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: www.mapy.cz

- [40] Metashape 1.5 Manual, ©2019. *Agisoft* [online]. St. Petersburg [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_en.pdf
- [41] *DronView* [online], ©2018. Praha [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <http://dronview.ans.cz/>
- [42] DOPLNĚK X – BEZPILOTNÍ SYSTÉMY, 2017. In: *PŘEDPIS L 2*. Dostupné také z: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>
- [43] Drone paramoteur Aube by Ihmati, 2005. In: *Youtube* [online]. San Francisco, 28.9.2016 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=xyNhrN1-g3Q>
- [44] A brief history of drones, *Imperial War Museum* [online]. Londýn: Imperial War Museum Trading Company, 30.1.2018 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.iwm.org.uk/history/a-brief-history-of-drones>
- [45] Co je to bezpilotní letadlo, bezpilotní systém, model letadla?, ©2011. *Úřad pro civilní letectví* [online]. Praha [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/co-je-to-bezpilotni-letadlo-bezpilotni-system-model-letadla>
- [46] *The UAV* [online], ©2006. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <http://www.theuav.com>
- [47] Agisoft - Licensing options, ©2019. *Agisoft* [online]. St. Petersburg [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.agisoft.com/buy/licensing-options/>
- [48] Agisoft - Features compare, ©2019. *Agisoft* [online]. St. Petersburg [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.agisoft.com/features/compare/>
- [49] Dr Julius Neubronner's Miniature Pigeon Camera, In: *The Public Domain Review* [online]. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://publicdomainreview.org/collections/dr-julius-neubronners-miniature-pigeon-camera/>
- [50] Fundamentals of Remote Sensing - Introduction, In: *Natural Resources Canada* [online]. 19.11.2015 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.nrcan.gc.ca/node/9363>
- [51] ENVI OneButton, ©2019. *ARCDATA PRAHA* [online]. Praha: Esri [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/envi/envi-onebutton>

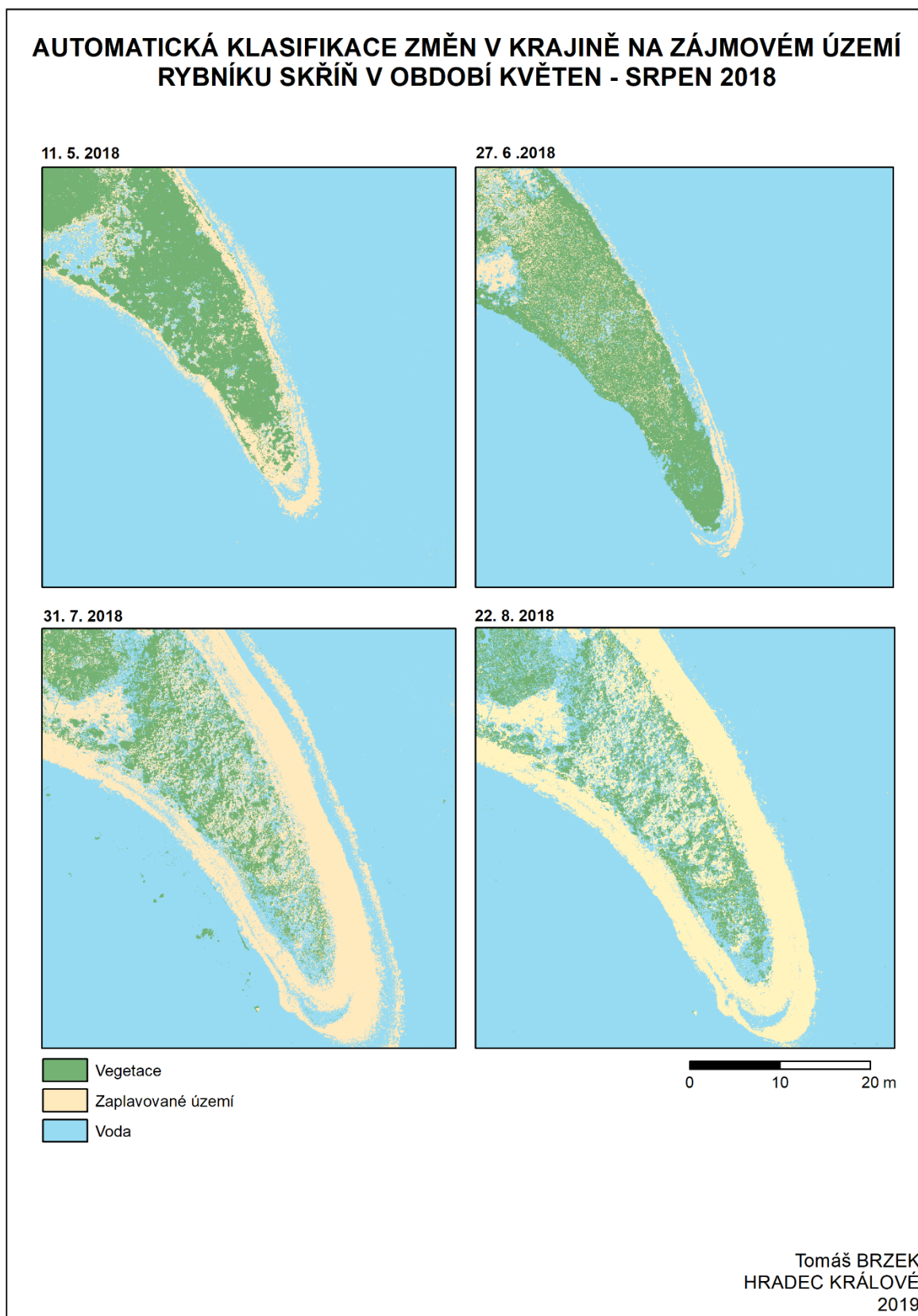
PŘÍLOHY

Příloha 1 - Výsledek vizuální interpretace ze softwaru ArcMap	69
Příloha 2 - Výsledky neřízené klasifikace Iso Cluster ze softwaru ArcMap	70
Příloha 3 - Porovnání snímků z UAV, vizuální interpretace a neřízené klasifikace.....	71
Příloha 4 - Šablona pro mapování pobřeží řeky ve vysokém rozlišení.....	72

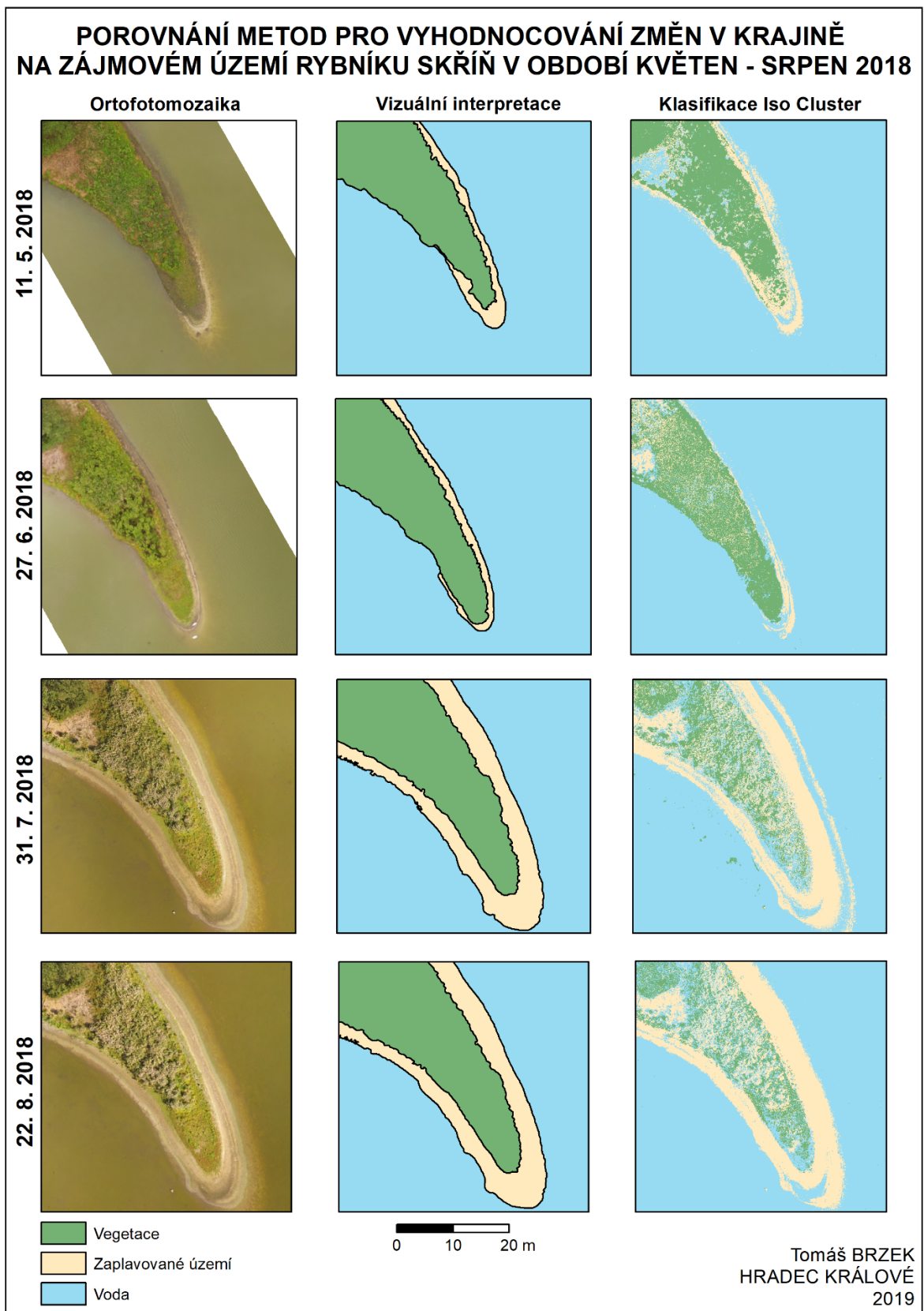
PŘÍLOHA 1 – VÝSLEDKY VIZUÁLNÍ INTERPRETACE ZE SOFTWARE ARCMAP



PŘÍLOHA 2 – VÝSLEDKY NEŘÍZENÉ KLASIFIKACE ISO CLUSTER ZE SOFWTARU ARCMAP

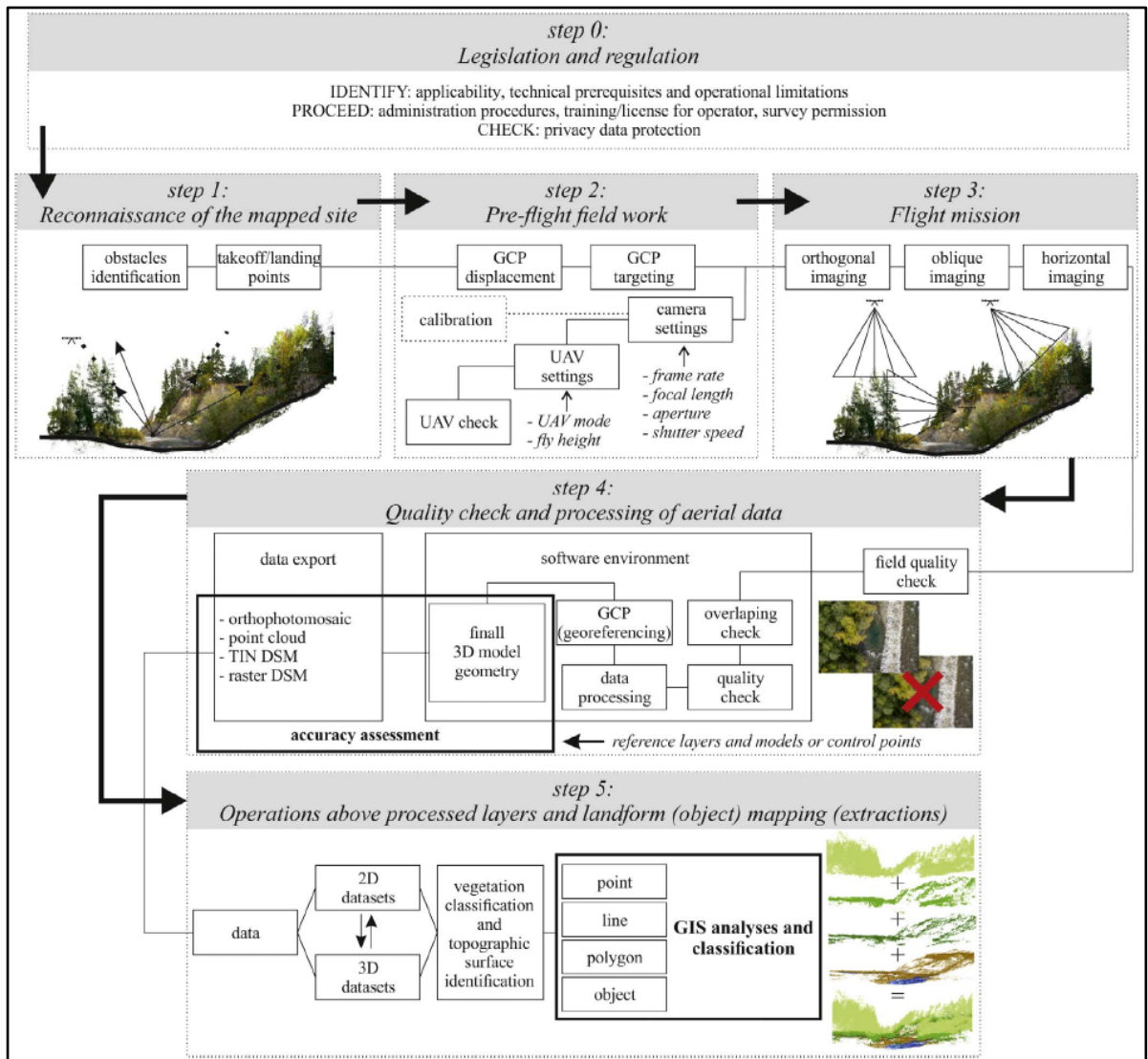


PŘÍLOHA 3 – POROVNÁNÍ SNÍMKŮ Z UAV, VIZUÁLNÍ INTERPRETACE A NEŘÍZENÉ KLASIFIKACE



Příloha 3 - Porovnání snímků z UAV, vizuální interpretace a neřízené klasifikace

PŘÍLOHA 4 – ŠABLONA PRO MAPOVÁNÍ POBŘEŽÍ ŘEKY VE VYSOKÉM ROZLIŠENÍ ZA POMOCI UAV



Příloha 4 - Šablona pro mapování pobřeží řeky ve vysokém rozlišení

Zdroj: [20]