

**Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní**

**Využití snímků z bezpilotních prostředků
pro detekci změn v okolí malých vodních ploch**

Bc. Lucie Švorcová

**Diplomová práce
2019**

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, 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. 7/2019 Pravidla pro odevzdání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 10. 8. 2020

Lucie Švorcová

PODĚKOVÁNÍ:

Tímto bych ráda poděkovala svému vedoucímu práce Mgr. Pavlovi Sedlákov, Ph.D. za jeho odbornou pomoc, poskytnuté materiály a velmi cenné rady, které mi pomohly při zpracování diplomové práce. Zároveň bych chtěla poděkovat mé rodině za nekonečnou podporu, kterou mi poskytovala během dosavadního studia.

ANOTACE

Obsahem této diplomové práce je využití snímků z bezpilotních prostředků k identifikaci změn v krajině. První část této práce se zabývá problematikou dálkového průzkumu Země, digitálním zpracováním obrazu, krajinou a jejími změnami a v neposlední řadě i bezpilotními letouny. Nedílnou součástí je i současný stav řešené problematiky. Druhá část práce zahrnuje samotné zpracování dat z bezpilotních letounů a jejich následnou vizualizaci a interpretaci.

Klíčová slova

Dálkový průzkum Země, krajina, UAV

TITLE

Use of images from unmanned aerial vehicles to detect changes around small water areas

ANNOTATION

The content of this thesis is the use of images from unmanned aerial vehicles to detect changes in the area of interest. The first part deals with the issue of remote sensing, digital image processing, landscape and its changes and finally, unmanned aerial vehicles. An integral part is the current state of the issue. The practical part of the work includes the actual processing of data from unmanned aerial vehicles and their subsequent interpretation.

KEYWORDS

Remote sensing, landscape, UAV

OBSAH

Úvod	9
1. DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ.....	10
1.1. Metody DPZ.....	11
1.2. Historie DPZ	12
2. DIGITÁLNÍ ZPRACOVÁNÍ OBRAZU	13
2.1. Zpracování obrazových záznamů.....	13
2.2. Předzpracování obrazových záznamů	13
2.3. Zvýraznění obrazu.....	15
2.4. Klasifikace.....	15
2.5. Úpravy obrazu po klasifikaci	16
3. KRAJINA A JEJÍ ZMĚNY	17
4. BEZPILOTNÍ PROSTŘEDKY	18
4.1. Vývoj dronů	18
4.2. Klasifikace dronů	19
4.3. Legislativa	22
4.4. Létání.....	23
5. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	25
6. CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ.....	28
7. ZPRACOVÁNÍ DAT Z UAV.....	30
7.1. Sběr a zpracování UAV dat.....	30
7.2. Zpracování dat z UAV	30
7.3. Sběr prostorových obrazových dat.....	32
7.4. Práce s Pix4D	32
7.5. Práce s 3Dsurvey.....	37
7.6. Digitalizace snímků.....	46
7.7. Řízená klasifikace	51
7.8. Neřízená klasifikace	52
7.9. Porovnání výsledků.....	53
8. INTERPRETACE VÝSLEDKŮ	59
Závěr	60
Použitá literatura	61
Přílohy.....	67

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Systém DPZ (Natural Resources Canada, ©2019).....	11
Obrázek 2 - Dromida multikoptéra VISTA - DIDE04YY (Heureka, ©2016).....	21
Obrázek 3 - Vojenský letoun MQ-1 Predator (Požáry, ©2013).....	22
Obrázek 4 - Rybník Baroch (Geoportal ČÚZK, ©2010)	28
Obrázek 5 - Hranice snímaného a části zájmového území [vlastní]	29
Obrázek 6 - Inicializační fáze v Pix4D [vlastní]	33
Obrázek 7 - Point cloud and Mesh v Pix4D [vlastní].....	33
Obrázek 8 - Vázací body v Pix4D [vlastní].....	34
Obrázek 9 - Výsledná ortofotomozaika za květen v Pix4D [vlastní].....	35
Obrázek 10 - Ortofotomozaika za první půli června v Pix4D [vlastní]	36
Obrázek 11 - Ortofotomozaika za druhou půli června v Pix4D [vlastní].....	37
Obrázek 12 - Nalezení bodů snímání v 3Dsurvey [vlastní]	38
Obrázek 13 - Mračno bodů v 3Dsurvey [vlastní].....	38
Obrázek 14 - Fáze rekonstrukce v 3Dsurvey [vlastní]	39
Obrázek 15 - Ortofotomozaika za květen v 3Dsurvey [vlastní].....	40
Obrázek 16 - Rekonstrukce dat z první půli června v 3Dsurvey [vlastní]	41
Obrázek 17 - Ortofotomozaika za první půli června v 3Dsurvey [vlastní]	42
Obrázek 18 - Rekonstrukce z druhé půli června v 3Dsurvey [vlastní].....	43
Obrázek 19 - Ortofotomozaika za druhou půli června v 3Dsurvey [vlastní]	44
Obrázek 20 - Vybraná část zájmového území [vlastní].....	47
Obrázek 21 - Výřez mozaiky na květen [vlastní].....	48
Obrázek 22 - Digitalizovaný snímek za období květen [vlastní]	48
Obrázek 23 - Výřez mozaiky za první polovinu června [vlastní]	49
Obrázek 24 - Digitalizovaný snímek za období první poloviny června [vlastní].....	49
Obrázek 25 - Výřez mozaiky za druhou polovinu června [vlastní].....	50
Obrázek 26 - Digitalizovaný snímek za období druhé poloviny června [vlastní].....	50
Obrázek 27 - Výsledek řízené klasifikace pro období druhé poloviny června [vlastní]	52
Obrázek 28 - Výsledek neřízené klasifikace za období první poloviny června [vlastní]	53
Obrázek 29 - Snímek atributové tabulky pro prvek vegetace [vlastní].....	54
Obrázek 30 - Graf porovnání klasifikací za květen [vlastní]	56
Obrázek 31 - Graf porovnání klasifikací za první polovinu června [vlastní].....	56
Obrázek 32 - Graf porovnání klasifikací za druhou polovinu června [vlastní].....	57
Obrázek 33 – Graf znázornění změn v zájmovém území za všechna období [vlastní].....	59

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Porovnání výstupních ortofotomozaik z jednotlivých softwarů	45
Tabulka 2 - Plocha vegetace v jednotlivých období.....	54
Tabulka 3 - Porovnání hodnot NDVI za jednotlivá období	55
Tabulka 4 - Porovnání ploch v m ² jednotlivých prvků za všechna období.....	55
Tabulka 5 - Porovnání ploch po řízené klasifikaci	55
Tabulka 6 - Plochy jednotlivých prvků za všechna období v m ²	59

SEZNAM ZKRATEK

DN	Digital number
DPZ	Dálkový průzkum Země
GCP	Ground control points
GPS	Global positioning systém
NDVI	Normalized difference vegetation index
SVM	Support vectom machines
UAV	Unnamend aerial vehicle

ÚVOD

Současný svět je plný vědeckých pokroků, které jdou neustále dopředu a posouvají současnou životní úroveň a celkové vědění stále dál. Pro další budoucí vývoj je důležité udržet krok s novými technologiemi a postupy. Mezi jednu takovou moderní technologii patří tzv. drony. Jedná se o bezpilotní prostředky, které člověku pomáhají s průzkumem Země z výšky. Drony jsou často využívány v rámci dálkového průzkumu Země. Pomocí bezpilotních letounů lze monitorovat Zemi i v nejméně přístupných oblastech a sbírat tak data o vývoji takřka jakéhokoli území. Sledování krajiny je možné v různých vlnových dálkách dle potřeby.

Sledování změn v krajině je nedílnou součástí různých vědeckých oborů a je důležité pro současné i budoucí výzkumy. Krajina se stále mění a je podstatné sbírat o těchto změnách informace. Bezkontaktní sběr dat je pro dnešní dobu nepostradatelnou záležitostí. Bepilotní letouny, jak již bylo zmíněno výše, lze využít v mnoha různých oborech. Drony využívají například policejní složky k hledání ztracených lidí při využití termokamer umístěných na nosiči UAV, hasičské jednotky při hašení požárů v nepřístupných či špatně přístupných terénech za pomoci nádob s vodou též přivěšených k dronu nebo tvůrci filmů pro vylepšení efektů.

Původně hrály drony hlavní roli v armádě, kde sloužily k prozkoumávání nepřátelského území bez ohrožení života vojáků. Armádní složky drony využívají ke stejným a dalším účelům dodnes. V současnosti jsou drony relativně běžnou záležitostí pro využití jak rekreační, tak komerční. Jelikož se vlastnictví dronů velmi rozmohlo, bylo nutné provést jisté kroky, které vedly k větší zodpovědnosti. Po celém světě jsou tak vytvořeny legislativní opatření, která mají přesně vystihnou, co se s dronem smí a co nikoli.

S rozvojem dronů přišel i rozvoj aplikací, které napomáhají manipulaci s tímto bezpilotním letounem. Díky těmto aplikacím je možné například sledovat letový provoz či dokonce plánovat misi dronu. V dalších aplikacích je třeba možné kontrolovat mezinárodní zóny či povětrnostní podmínky během letu.

Cílem této práce je detekování změn v okolí malých vodních ploch pomocí snímků z bezpilotních letounů. Je zde probráno téma dálkového průzkumu Země a s tím spojené digitální zpracování obrazu. Další kapitola se zabývá krajinou a změnami, které v ní probíhají. Práce se dále zabývá problematikou dronů a jejich současným využitím. Nakonec je v práci uvedena konkrétní zájmová oblast s praktickou ukázkou detekce změn v jejím okolí.

1. DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ

V dnešní době je dálkový průzkum Země (DPZ) velmi rozšířeným oborem. Existuje zde i více pohledů, jak tento obor definovat. Jeden z možných pohledů na DPZ je tzv. tradiční. Tento pohled lze též nazvat jako konvenční. Podle Dobrovolného (1998) lze DPZ chápat jako získání informací o objektech a jevech na dálku bez přímého kontaktu s těmito jevy nebo objekty.

Dálkový průzkum Země je také možné si vyložit jako vědu i umění získávat užitečné informace o objektech, plochách či jevech prostřednictvím dat měřených na zařízení, která s těmito zkoumanými objekty, plochami či jevy nejsou přímo v kontaktu. (Lillesand, 2015; Kiefer, 2015)

Poslední zmínka v souvislosti s konvenční definicí je o tom, že v rámci DPZ se shromažďují informace o přírodních zdrojích s využitím snímků pořízených senzory umístěnými na palubách letadel nebo do družic. Další možnou definicí DPZ je tzv. nekonvenční. Jedná se o definici, podle které je DPZ umění rozdělit svět na množství malých barevných čtverečků, se kterými si lze hrát na počítači a odhalovat jejich neuvěřitelný potenciál, který vždy přesahuje naše možnosti. (Jon Huntington, CSIRO Exploration, Geoscience, Australia))

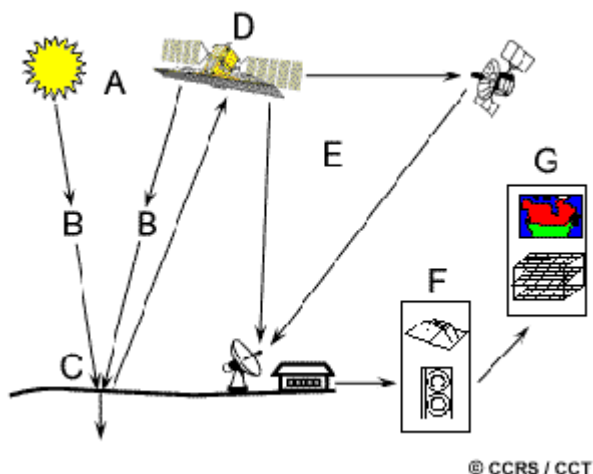
Případně lze na DPZ nahlížet jako na nejdražší způsob, jak vytvořit obrázek. (Andrew Bashfield, Intergraph Corporation)

Ať je tato metoda definována konvenčně či nekonvenčně, závěr je vždy stejný, a to získání informací o objektech či jevech bez přímého kontaktu se Zemí. Sbíráme data z družic či letadel, kde je na nosiči umístěno zařízení, které snímá elektromagnetické záření, které může mít zdroj buď aktivní nebo pasivní. Toto záření snímáme a zaznamenáváme a dále pak vizualizujeme nejčastěji v podobě obrázku. Aplikace DPZ je v různých oborech jako například geologie a geomorfologie, kartografie či zemědělství nebo urbanismus. (CollGS, ©2020)

DPZ se skládá z dvou základních subsystémů. První subsystém je sběr a přenos dat, kde dochází k vlastnímu technickému zabezpečení pořizování dat. Druhý subsystém je pak analýza a interpretace dat. Dochází zde k zaměření na získávání dat, vizualizaci a další využití. (Lillesand, 2015)

1.1. Metody DPZ

Než dojde na samotné metody DPZ je důležité ukázat samotný systém DPZ. Krásně tento systém zobrazuje obrázek č.1. „A“ označuje zdroj energie a světla, v tomto případě Slunce. Slunce vysílá záření, které prochází atmosférou (B) a přichází do kontaktu s předmětem (C). Písmeno „D“ vyobrazuje zařízení, které zaznamenává odraženou energii senzorem. Tato energie (data) jsou přenášena, přijata a zpravována (E). Následně dochází k analýze a interpretaci dat (F) a využití informací (G). (Natural Resources Canada, ©2019)



Obrázek 1 - Systém DPZ (Natural Resources Canada, ©2019)

Jak již bylo zmíněno výše, metody pořizování dat v rámci dálkového průzkumu Země lze rozdělit na dvě skupiny, a to konvenční a nekonvenční metody. Výsledkem konvenčních metod jsou fotografické snímky, které vznikají centrální projekcí a následným přenesením na fotografický papír. Nejčastěji se jedná o letecké snímky, kde nosičem je letadlo. U nekonvenčních metod snímky nejčastěji vznikají postupně scanováním po jednotlivých řádcích, nebo pomocí radiometrů měřících radiaci nebo scannery, což jsou snímací rozkladová zařízení. Získané záznamy jsou v digitální podobě. Naměřené hodnoty nesou jednotlivé obrazové prvky a označují se jako DN hodnoty. Obecně platí, že mají menší prostorové rozlišení a většinou větší spektrální rozlišení než data pořízená konvenční metodou. Dříve měly tyto metody menší detail (menší prostorové rozlišení), ale dnes se již tento rozdíl minimalizuje. S možností snímat i v jiné než viditelné části spektra roste i spektrální rozlišení. (Dobrovolný, 1998; Langhammer, 2003)

Získané snímky poskytují dva druhy informací, a to topologickou a tematickou. Topologická informace vypovídá o poloze, velikosti a tvaru objektů na snímku. Zatímco tematická informace sděluje například druh vegetace, typ reliéfu nebo strukturu osídlení. (GJS, ©2004-2005)

1.2. Historie DPZ

Dobrovolný (1998) popisuje rozvoj DPZ v souvislosti s fyzikálními objevy v oblasti teorie vlnění, s rozvojem letectví a fotografie a s rozvojem dobývání vesmíru. Jako první milník lze považovat objev rozkladu bílého světla na spektrální barvy. Při hře se skleněným hranolem si toho všiml Isaac Newton v roce 1666. Velmi důležitým stoletím bylo století 17. Na začátku tohoto období byl postaven první model horkovzdušného balónu. Na konci tohoto století Frederick William Herschel objevil infračervené záření (dosud bylo známo pouze viditelné záření). V polovině 19. století Louis-Jacques-Mandé-Daquerre spolu s Nicéphorem Niepcem a Williamem Foxem Talbotem se zasloužili o objev fotografie. Hippolyte Fizeau sestrojil přístroj k měření rychlosti světla. Jeho metodu vylepšil Léon Foucault. Společně poznávají vlastnosti infračerveného záření. Na konci 50. let 19. století je pořízena první fotografie z výšky. V 60. letech James Wallace Black pořizuje fotografii Bostonu z balónu.

V 70. letech James Clerk Maxwell přichází s teorií elektromagnetického záření. Dochází k vynalezení svitkového filmu. Na začátku 20. století Julius Neubronner aplikuje fotokamery na hrudě holubů. V roce 1906 dochází k prvnímu snímání z DPZ pro dokumentaci katastrofického jevu, a to zemětřesení v San Francisku. O tři roky později přichází první snímek z letadla při letu Wilbura Wrighta. S příchodem 1. světové války přichází i výrazný rozvoj letecké fotografie a její interpretace. Společně s koncem 2. světové války dochází k rozvoji raketové techniky a radarů, jež využívají mikrovln a mohou tak vznikat infračervené fotografie. (Krupička, 2007; Geografie, [b.r.])

Co se týče kosmických letů, jejich rozvoj začal o mnoho později, a to v polovině 20. století. V roce 1958 získáváme první snímek zemského povrchu. 60. léta jsou považována za počátek družicového snímání. Velký rozvoj je zaznamenán v 80. a 90. letech 20. století, kdy se začínají využívat hyperspektrální a multispektrální systémy. Do té doby bylo snímáno jen v jednom intervalu vlnových délek. (Dobrovolný, 1998; Geografie, [b.r.])

V současnosti je velké množství dat v digitální podobě. Zemský povrch je snímán pro určitý účel, a tedy v různých vlnových délkách v různých časových intervalech. Díky DPZ se lze zabývat globálními problémy, jelikož je možné globálně monitorovat životní prostředí. DPZ je nedílnou součástí geoinformatiky.

2. DIGITÁLNÍ ZPRACOVÁNÍ OBRAZU

Jedná se o moderní vědecko-technickou disciplínu, která je pro dnešní vyspělý svět velmi důležitá. Digitální zpracování obrazu se zabývá zpracováním obrazových dat. Na letadlo, družici či dron může být přidělána kamera či klasický fotoaparát. Díky přístrojům na nosiči získáváme potřebná obrazová data.

2.1. Zpracování obrazových záznamů

Podle toho, jak jsou snímky získány (viz kapitola 1), se dále pracuje získanými daty. Zpracování obrazových záznamů závisí na typu dat. Ty mohou být buď analogová nebo digitální. Analogová data jsou výsledkem leteckého snímkování. Jejich zpracování je velmi časově náročné a interpretovat lze pouze snímek po snímku, tedy po jednom. K jednodušší interpretaci slouží tzv. interpretační klíče. Tento způsob zpracování záleží výhradně na zpracovateli, proto je velmi složité až nemožné opakovat použité postupy a interpretaci. Digitální zpracování využívá letecké a družicové snímky. Na rozdíl od analogových dat, v tomto případě lze využít výpočetní techniky a zpracovávat tak více dat. V případě digitálních dat je mnohem snadnější opakovat klasifikační postupy. (Pinkavová, 2008; Plánka, 2007)

Výsledkem snímkování, ať už pomocí letadla či družice, jsou obrazy spojité. Pro snadnou interpretaci a reprezentaci dat jsou takové obrazy žádoucí. Avšak pro využití výpočetní techniky je dobré mít data diskrétní. Převod spojitých dat na data diskrétní se nazývá vzorkování. (Holčík, 2012)

2.2. Předzpracování obrazových záznamů

Při pořizování samozřejmě na snímek působí mnoho faktorů, které ovlivňují výslednou kvalitu dat. Tyto faktory způsobují chyby systematické, náhodné případně vnitřní nebo vnější. Takové chyby je nutné odstranit nebo minimalizovat za použití korekcí obrazu. Rozlišují se korekce radiometrické, atmosférické a geometrické. Pomocí radiometrických korekcí dochází k minimalizaci rozdílnosti snímku a skutečnosti. Dochází k úpravám hodnot DN tak, aby co nejvíce odpovídaly skutečným odrazovým či zářivým schopnostem. Tyto odchylky je třeba odstranit ještě před použitím geometrických korekcí. Měření zářivosti nad daným objektem je ovlivněno mnoha faktory. Může se jednat o osvětlení scény, atmosférické podmínky, geometrie pozorování či charakteristiky odezvy přístroje. (Dobrovolný, 2009)

Radiometrické korekce lze využít pro kompenzace sezónních rozdílů či odstranění náhodných chyb. (Dobrovolný, 1998; Lillesand, 2015)

Atmosférické korekce se používají za účelem získání absolutních hodnot spektrálního chování z naměřených hodnot. Na signál, který je odražený od povrchu a změřený snímačem, má vliv ta část atmosféry, která je v daném okamžiku mezi sluncem, povrchem a snímačem. Modifikace přijímaného signálu může být způsobena absorpčními či rozptylovými schopnostmi atmosféry. Při průchodu záření atmosférou dochází k absorpci záření ve specifických vlnových délkách. Různé složky atmosféry absorbují záření v různých vlnových délkách. Co se týče rozptylu, v jeho důsledku se změřený signál neskládá pouze se signálu měřeného povrchu a tím se snižuje rozlišovací schopnost obrazu. V rámci těchto korekcí dochází k odstranění atmosférických vlivů jako je například oblačnost nebo kouř. Efekty atmosféry lze eliminovat například metodou nejtmašího pixelu, regresní analýzou či modelováním. (Dobrovolný, 1998; Oddělení leteckých činností, ©2018)

Jelikož původní data obsahují velkou řadu zkreslení, která vyplývají ze způsobu pořízení, je třeba provést geometrické korekce. Může se jednat o nesprávnou polohu objektů (ve skutečnosti leží objekt jinde) nebo nelze zjistit vzdálenost ani velikost ploch. Problematikou geometrických korekcí se zabývá fotogrammetrie. Prvotní digitální snímky většinou nelze použít jako základ pro mapy, protože obsahují významné geometrické zkreslení. Příčiny těchto zkreslení mohou být změny v nadmořských výškách, reliéfní posuny či poloha a rychlost senzorů na snímači snímacího zařízení atd. Využití geometrických korekcí spočívá v odstranění zkreslení obrazu natolik, aby družicová data mohla být použita jako mapa. (Dobrovolný, 2009)

Využití geometrických korekcí pro účely:

- transformace dat do určité kartografické projekce,
- propojení obrazových dat s vektorovou databází v GIS,
- porovnání obrazových záznamů při sledování časových změn,
- tvorby ortofotomap,
- vytvoření fotomozaiky z několika obrazových záznamů. (Dobrovolný, 1998; Lillesand, 2015)

2.3. Zvýraznění obrazu

Cílem zvýraznění obrazu je zlepšit vizuální interpretaci obrazu zvýšením zjevného rozlišení mezi rysy ve scéně. Proces vizuálního tlumení digitálně vylepšených snímků se pokouší optimalizovat doplňkové schopnosti lidské mysli a počítače. Mysl je vynikající při interpretaci prostorových atributů v obraze a je schopna selektivně identifikovat obskurní nebo jemné prvky. Oko však nedokáže rozlišit malé radiometrické nebo spektrální rozdíly, které by mohly charakterizovat takové rysy. Cílem počítačového vylepšení je vizuálně zesílit tyto malé rozdíly, aby byly snadno pozorovatelné. Rozsah možností vylepšení obrazu a možností zobrazení, které má analytik obrazu k dispozici, je prakticky neomezený.

Rozlišují se tato zvýraznění:

- bodové (radiometrické) – zvýraznění hodnoty pixelu bez ohledu na okolí,
 - prostorové – zvýraznění hodnoty pixelu podle hodnoty okolních pixelů,
 - spektrální – sestavování barevných syntéz, barevné zvýraznění více pásem.
- (Lillesand, 2015)

2.4. Klasifikace

Klasifikace obrazu patří mezi velmi aktivní činnost v oblasti počítačového výzkumu, v oblasti rozpoznávání vzorů. Obrazové pixely lze klasifikovat buď pomocí vícerozměrných statistických vlastností, jako je případ multispektrální klasifikace, nebo podle segmentace založené na statistice a prostorových vztazích se sousedními pixely. Cílem klasifikace obrazu je automatická kategorizace všech pixelů v obrázku do tříd nebo témat.

Statistická klasifikace může být obecně katalogizována do dvou hlavních odvětví, a to klasifikace řízená a neřízená. (Lillesand, 2015; Liu, 2009)

2.4.1. Neřízená klasifikace

Neřízená klasifikace je zcela založena na statistice distribuce obrazových dat. Často je označována jako tzv. shlukování. Proces je automaticky optimalizován dle statistik klastru bez použití řízení založeného na znalostech. Tato metoda se řídí pouze datovými údaji a je popisná. Tuto metodu lze velmi efektivně využít v případě, kdy pro danou oblast nejsou dostupné informace či základní znalosti. Může se například jednat o obrazy planet. Neřízená klasifikace

může odhalit některé spektrální rysy i v případě dobře zmapované oblasti. Výsledkem neřízené klasifikace je obraz statistických shluků, kde není známo téma shluků. (Liu, 2009)

2.4.2. Řízená klasifikace

Podle Liua (2009) je řízená klasifikace založena na statistikách trénovacích oblastí. Tyto oblasti představují různé pozemní objekty vybrané uživateli subjektivně na základě jejich vlastních znalostí a zkušeností. Tato metoda je limitována znalostmi uživatelů a může být dokonce ovlivněna jejich subjektivním pohledem.

S ohledem na omezení obou hlavních klasifikačních metod byla zavedena tzv. hybridní klasifikace. V tomto případě se nejprve provede klasifikace neřízená. Poté se výsledek interpretuje pomocí znalostí, a nakonec se původní obraz re-klasifikuje pomocí řízené klasifikace na základě statistik neřízené klasifikace. (Liu, 2009)

2.5. Úpravy obrazu po klasifikaci

Výsledný obraz po klasifikaci se jeví jako digitální obraz, ve kterém hodnoty DN představují čísla tříd, ale nad takovými čísly nelze provádět numerické operace. Mezi číselným označením tříd není žádný sekvenční vztah. Jedná se o nominální hodnoty a lze s nimi zacházet jako se symboly. Dle Liua (2009) je klasifikační obraz ve skutečnosti obraz symbolů, nikoli digitálních čísel. Nejedná se tedy o digitální obraz v obecně přijímaném smyslu, proto nelze na klasifikační obrazy aplikovat žádné zpracování obrazu založené na číselných operacích.

Liu (2009) též uvádí, že klasifikační obraz často obsahuje šum, který je způsobený izolovanými pixely některých tříd v rámci jiné dominantní třídy. Dochází k předpokladu, že ty izolované pixely spíše patří do oné dominantní třídy než do tříd, ke kterým jsou přiřazeny; ty pravděpodobně plynou z klasifikačních chyb. Pomocí vhodného vyhlazovacího procesu, který se aplikuje na klasifikační obraz, se obraz vyčistí.

K vyhlazení klasifikačního obrazu slouží modální filtr. Tento filtr vyhlazuje obraz bez použití numerických operací. Například pokud je pixel třídy 3 obklopen pixely spadající do třídy 1, modální filtr tento pixel přiřadí do třídy 1 podle třídy většiny ve filtrovacím jádru. (Liu, 2009)

3. KRAJINA A JEJÍ ZMĚNY

Dle elektronické publikace od Mgr. Sedláčkové a Bc. Rozprýmové (2007) lze pojem krajina chápat jako část zemského povrchu, který je kolem nás a má svůj specifický reliéf. Je jasné, že ke změnám v krajině dochází neustále. Změny mohou být způsobeny buď přírodními procesy nebo procesy antropogenními. Přírodními procesy se rozumí takové procesy, které nejsou způsobeny lidskou činností. Jedná se o procesy vnitřní, které vznikají pod zemským povrchem, a procesy vnější. V případě vnitřních procesů jde například o sopečnou činnost nebo zemětřesení. Vnější procesy jsou způsobeny řadou činitelů jako je sluneční záření, voda nebo vítr. Konkrétně se například jedná o erozi půdy, či odnos a ukládání materiálu.

Zemský povrch prochází rychlými změnami v důsledku urbanizace, industrializace a globalizace. Lidská činnost má na krajinu značný vliv. Environmentální problémy jako jsou například nedostatek vody, desertifikace, emise skleníkových plynů, odlesňování či zvýšené sedimenty pobřežních vodních toků, jsou mezi dalšími environmentálními problémy důsledkem právě lidské činnosti. Přesné a spolehlivé informace ovlivňují politická rozhodnutí, která se týkají životního prostředí. Jedná se o informace a porozumění, která vedou k lepším predikcím přírodních rizik, epidemií, dopadů energetických rozhodnutí a klimatických změn. (Liang, 2008)

Klíčem k předpovídání dynamiky Země jsou komplexní a systematická pozorování Země. Predikce budoucích scénářů obyvatelnosti planety vyžaduje analýzu toho, co se v minulosti stalo, spolu s pozorováním současných procesů. Data získaná z dálkového průzkumu Země jsou nezbytná pro pokračující životaschopnost a posilování lidské společnosti na Zemi. (Liang, 2008)

4. BEZPILOTNÍ PROSTŘEDKY

Jako bezpilotní prostředek, též známý jako UAV z anglického Unmanned Aerial Vehicle, je označováno letadlo bez posádky. Tento prostředek může být řízen dálkově či létat samostatně pomocí integrovaných letových plánů nebo pomocí složitějších dynamických systémů. K využití takovýchto prostředků dochází často v armádě, a to k průzkumným i útočným letům, dále pak v civilním prostředí například k hašení požárů, průzkumu terénu, a v neposlední řadě dochází k využití UAV policejními složkami ke sledování. (Droneweb, ©2020)

4.1. Vývoj dronů

Historie dronů sahá až do konce 19. století, kdy si Nikola Tesla nechal patentovat tzv. teleautomatizaci (dálkové ovládání motorové loďky). Jak se však ukázalo později, v jeho soukromých textech byly úvahy o bezpilotním leteckém systému. (Karas a Tichý, 2016)

Za první bezpilotní letadlo lze považovat Aerial Target od anglického inženýra Archibalda Montgomeryho Lowa. Po tomto vynálezu následovala spousta dalších. (Karas a Tichý, 2016)

Evoluce dronů je úzce spojená s existencí válek. Šlo o snahu ušetřit lidské životy při průzkumných nebo bojových operacích. Už během 1. světové války probíhal v USA vývoj bezpilotních letounů jako reakce na bombardování říditelnými bombami z německých vzducholodí. Původně se tedy jednalo spíše o letící bomby. Americké letectvo a námořnictvo v čele se známými konstruktéry a vědátory jako Elmer a Lawrence Sperry, Thomas Edison, John Norden a Angličan Peter Hewitt testovali už před válkou hydroplán Curtiss N-9 s gyroskopickým autopilotem systému Sperry. Proto vzali jako základ svého „dronu“ právě tento hydroplán, který přestavěli na letoun a jenž měl za úkol ničit německé ponorkové základny. Připravili 5 prototypů, které startovaly buď z kolejnic, nebo z jedoucího automobilu, a právě jeden z nich provedl onen úspěšný let na vzdálenost 40 km v roce 1917. V první světové válce se letadla (zatím nepříliš vyspělá pro boj) ukázala jako skvělý nástroj pro pořizování leteckých snímků a shromažďování informací o nepřítelově zázemí a pohybech. Od té doby jde o jedno z nejčastějších využití dronu ve vojenství a obor leteckých fotografií se začal rychle rozvíjet. Po 1. světové válce vývoj ustal, aby se zase naplno rozjel po rozpoutání 2. světové války. Konstruktér Charles Kettering dostal za úkol vyrobit létající bombu, ale výsledkem byl malý dvojplášník známý jako Kettering Bug. Nadějný projekt ale záhy americká armáda ukončila kvůli nákladnému vývoji a obavám z toho, že vinou technické chyby spadne letoun nabitý bombami na vlastní vojáky. Vývoj se pak ubíral směrem k rozvoji dálkově naváděných střel s plochou dráhou letu, nebo k cvičným letícím terčům, jako byl třeba dron

OQ-2 (říkalo se mu také Dennykite po konstruktérovi Reginaldu Denny), který se používal i během studené války a stal se prvním průmyslově vyráběným bezpilotním letounem na světě s přes 15 000 vyrobenými kusy. O vývoj dronů se tou dobou snaží i Britové. Ve 30. letech pomáhají britskému královskému námořnictvu drony s přezdívkou Včelí královna pro nácvik střelby na letící terč. Vyuvíjejí i plnohodnotné drony na bázi letounu, ale většina prototypů havaruje. I v 50. letech se drony využívají hlavně pro cvičnou střelbu na řízené střely. Nejproslulejším se stávají drony Ryan Firebee (Ryanovy ohnivé včely), které postupně začínají sloužit i jako průzkumná zařízení, až se objeví jako plnohodnotné průzkumné drony sloužící např. při válce ve Vietnamu. V 80. letech se do vývoje dronů pouští Izrael. Během arabsko-izraelské války v roce 1973 tak spatří světlo světa první dron, který přenáší obraz v reálném čase Tadiran Mastiff. V roce 1986 pak Izrael ve spolupráci s USA představuje dron AAI Pioneer, který se podívá do války v Zálivu. V 90. letech nasazuje Pentagon dron Pioneer také na monitorování konfliktu v bývalé Jugoslávii. V roce 1990 se ale vládě USA ozývá konstruktér, který vyvine autonomní letadlo ve své kalifornské garáži. Jeho letadlo NAT750 pak objednávají různé úřady vlády USA včetně CIA a nasazují je pro sledování situace na Balkáně. V roce 1994 iniciuje vláda USA přestavbu dronu NAT750, aby byl větší, tišší a celkově dynamičtější, a tím vlastně vzniká 1. generace dronů Predator, které se v roce 2000 chystají na hledání Usámy bin Ládina. Nedlouho po teroristických útocích 11. září pak Pentagon schvaluje osazení dronů Predator řízenými střelami typu Hellfire a dron brzy zabíjí prvního člověka. Začíná Targeted killing kampaň v režii CIA, která si klade za cíl vyhledat a zneškodnit teroristy. V současnosti se celá řada společností zaměřuje na vývoj malých dronů pro zábavu, rekreační natáčení i komerční využití a svůj dron si teď může pořídit opravdu každý. Počáteční nekritické nadšení dnes však střídají úvahy o ochraně soukromí a bezpečnosti lidí a majetku a mnoho států používání dronů omezuje, nebo legislativně upravuje (Sciencemag, ©2020; Historynet, ©2020; Hajduk, 2018-2019)

4.2. Klasifikace dronů

Přestože lze bezpilotní prostředky klasifikovat dle různých kritérií, například dle účelu, ke kterému byly vyrobeny (vojenské, nevojenské) či podle konstrukce nebo počtu vrtulí, většinou se řadí do následujících funkčních skupin: (Droneweb, ©2020)

- cíle a návnady – poskytují pozemní a vzdušné cíle simulující nepřátelské letadla nebo střely,
- průzkumné – poskytující informace o bojišti,

- bojové – schopné útoku ve velmi rizikových misích,
- logistické – UAV speciálně navržené pro logistické účely,
- výzkumné a vývojové – používané k dalšímu vývoji UAV technologií,
- civilní a komerční – UAV speciálně navržené pro civilní nebo komerční aplikace.

(Droni, ©2016)

Dále lze drony rozdělit do dalších kategorií, a to podle účelu využití nebo dle konstrukce. Podle účelu využití se drony dělí na vojenské a nevojenské. V dnešní moderní době existují i drony, které jsou určeny výhradně pro zábavu nebo pro práci filmařů či fotografů. Co se týká konstrukce, lze se setkat s drony, které mají křídlo (křídla), anebo několik vrtulí. Kategorizovat drony je možné i dle počtu vrtulí. Nejčastěji se vyskytují drony se čtyřmi vrtulemi, tzv. kvadrokoptéry, ale je možné se setkat i s drony obdařenými šesti, osmi a více vrtulemi. Dále se bezpilotní prostředky dělí na autonomní a dálkově ovládané. Pro civilní využití se spíše používají drony ovládané. Oproti tomu autonomní drony jsou využívány především v armádě. (Droni, ©2016)

4.2.1. Kategorizace dronů podle konstrukce

Jak již bylo zmíněno výše ve 4.2., drony se dělí na multikoptéry (s vrtulemi) a bezpilotní letouny (s křídly). (Droni, ©2016)

Multikoptéry

Multikoptéra značí koptéru neboli vrtulník s kolmým vzletem, k čemuž mu slouží určitý počet vrtulí a motorů. Pro označování multikoptér platí, že se označují podle počtu motorů a vrtulí. Vrtule s motory mohou být uloženy proti sobě, tudíž na čtyřech ramenech může být celkem osm vrtulí (motorů). Obecně platí, že čím více vrtulí dron má, tím větší je bezpečnost přistání při náhodném poškození jednoho motoru. Stejně tak platí, že s větším počtem vrtulí stoupá výkon dronu a zvětšuje se stabilita jeho pohybu ve vzduchu. Výhodou multikoptér je, že je lze využít k manuálnímu létání stejně tak k automatickému létání podle letových plánů, nebo k jejich kombinaci. Samotný vzlet i přistání jsou kolmé vzhůru nebo dolů, takže prostor potřebný ke vzletu i přistání je minimální a možný téměř kdekoliv. Nevýhodou multikoptér je, že oproti letounům vydrží mnohem kratší dobu ve vzduchu, což je způsobeno jejich hmotností a náročností pro pohyb ve vzduchu.

U multikoptér je možné měnit snímací a jiné senzory, které jsou umístěny pod dronem buď na speciálním závěsu pohlcujícím vibrace, nebo přímo pod dronem. Na těchto závěsech je možné řídit pohyb sensorů až ve všech třech osách a monitorovat například objekt nezávisle na trajektorii letu. (Karas a Tichý, 2016)

Na obrázku 2 je možné vidět multikoptéru se čtyřmi vrtulemi.



Obrázek 2 - Dromida multikoptéra VISTA - DIDE04YY (Heureka, ©2016)

Bezpilotní letouny

Jedná se o specifický druh komerčních dronů. Tyto drony jsou oproti multikoptérám určeny pouze k mapování a monitorování. V jejich těle je fixně umístěn fotoaparát nebo jiný senzor, který většinou nelze ani vyměnit. I u těchto dronů se postupně rozvíjí multifunkčnost, kdy se začínají adaptovat do těl dronů i jiné senzory s možností jejich výměny, která je ovšem náročnější než u multikoptér. Vzlet těchto dronů může probíhat dvěma způsoby, a to buď z odpalovací rampy nebo z ruky hodem.

Většina těchto dronů létá automaticky podle letových plánů, které se dopředu naplánují a pošlou bezdrátově do letounu. Ten pak na základě GPS a naplánovaných parametrů provede požadovaný let automaticky s možností let přerušit nebo úplně ukončit.

Velká část těchto dronů přistává automaticky na předem určenou pozici. To může značně ovlivnit celkový čas na provedení letu či dokonce samotný dron ohrožit v případě přistání na nevhodném místě. Existují i letouny, které jsou schopny kromě automatického letu i manuálního, případně kombinace obou. Tento typ dronů slouží spíše pro speciální technické aplikace, letecký monitoring a mapování velkých ploch. (Karas a Tichý, 2016)

Na obrázku se nachází bezpilotní vojenský letoun MQ-1 Predator.



Obrázek 3 - Vojenský letoun MQ-1 Predator (Požáry, ©2013)

4.3. Legislativa

V České republice se o letecké předpisy stará Úřad pro civilní letectví (ÚCL). Provoz bezpilotních předpisů je určen předpisem L2 – Pravidla létání v Doplnku X. V původním znění je však tento předpis složitý na pochopení pro někoho, kdo se v tomto oboru nepohybuje.

Velmi důležitý je právě doplněk X předpisu L2, kde se vyskytují čtyři důležité termíny, a to autonomní letadlo, bezpilotní letadlo, bezpilotní systém (UAS) a model letadla. Bepilotní systém a model letadla budou probrány podrobněji. Mezi těmito dvěma relevantními pojmy zákon rozlišuje na základě několika parametrů. Ani jeden typ letadla nesmí být schopen nést člověka. Modelem letadla se potom chápe zařízení používané pro rekreační, sportovní nebo soutěžní účely. Pro takové bezpilotní letadlo není potřeba žádné povolení ani registrace v případě, že je jeho vzletová hmotnost nižší než 25 kg. Platí to ale jen za situace, kdy je dron využíván pro rekreační účely. (Droneweb, ©2020; Alza, ©2020)

Bezpilotní systém

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. (Úřad pro civilní letectví, ©2020)

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. (Úřad pro civilní letectví, ©2020)

Registrace dronu a povolení od ÚCL je potřeba v případě létání za účelem výdělečným, experimentálním nebo výzkumným. A to i v případě, kdy se jedná o dron do 25 kg. (Alza, ©2020)

4.4. Létání

V průběhu vzletu a přistání se nesmíte přiblížit k osobě na méně než 50 metrů horizontálně (kromě pilota nebo doprovázejících osob). Pro drony do 7 kg platí, že minimální vzdálenost od osob a staveb musí být bezpečná. Pro ty s větší hmotností už je to omezeno na 100 metrů horizontálně k osobě a 150 metrů k husté zástavbě. Dále nesmíte létat blíže oblačnosti než 1500 m horizontálně a 300 m vertikálně bez ohledu na hmotnost dronu.

Velmi důležitá je platná letecká mapa ICAO, webový portál DronView či aplikace AisView, pro zjištění, kde lze s dronem létat. Mimo letiště mohou drony létat jen v nejnižším vzdušném prostoru třídy G, a to do výšky 300 metrů nad zemí. Je nutné se vyhnout zakázaným prostorům (LKP – prohibited) a omezeným prostorům (LKR – restricted). Ty jsou aktivovány stále a najít je lze například kolem jaderných elektráren nebo muničních skladů. Dále je nutné věnovat pozornost prostorům TSA (Temporary Secured Area) a TRA (Temporary Restricted Area). Tyto prostory nejčastěji slouží vojenským letcům ke cvičení a jako koridory do cvičných oblastí (Boletice, Libavá atd.). Aktivovány jsou jen občas, pokud se létá. O víkendech většinou ne. Aktuální stav je zřejmí na portálu DronView. Pokud aktivovány nejsou mění se do výšky 300 metrů nad zemí na prostor třídy G a létat v něm tedy můžete.

ÚCL doporučuje jako bezpečnou vzdálenost poměr 1:2 při letu s dopřednou rychlostí (na sto metrů výšky poloměr 200 metrů) a 1:1 bez dopředné rychlosti (na 100 metrů výšky, kruh o poloměru 100 metrů).

Letiště se dělí na neřízená a řízená. Neřízená jsou ty menší, většinou s travnatou dráhou, kolem nich je tzv. zóna ATZ v kružnici o poloměru 5 Km. Létat v této zóně se může do 100 m bez schválení s dronem do 0,91 kg hmotnosti. S těžšími stroji lze létat až do 300 metrů nad zemí, ale po předchozím schválení provozovatelem nebo službou AFIS (něco jako řízení letového provozu, ale může jen informovat, ne vydávat příkazy) na letišti. Pokud je na letišti aktivní služba AFIS, může se i výše až do horní hranice ATZ zóny což je 4 000 feetů AMSL (střední hladina moře). Pozor ale na další vzdušné prostory nad letištem. Vždy je vše nutné domluvit s místní AFIS službou.

Řízená letiště se dělí na civilní – Ruzyně, Brno, Ostrava, Pardubice, Karlovy Vary a vojenská – Čáslav a Náměšť nad Oslavou. Kolem sebe mají zónu CTR, která je pro každé letiště trochu jiná. Je nutné ji tudíž vyhledat v mapě. V této zóně je možné létat ve vzdálenosti minimálně 5,5 km od vztažného bodu letiště a dále jen do výšky 100 metrů. Pokud máte povolení od ÚCL nebo ŘLP (Řízení letového provozu) nebo model do hmotnosti 0,91 kg, je možné létat i blíže než na 5,5 km, ale vždy mimo ochranné zóny letiště (nejčastěji ve směru vzletových a přistávacích drah).

V naprosté většině návštěvních řádů památek je zákaz létání bezpilotními prostředky bez předchozího písemného souhlasu.

Nelze létat jen podle obrazu z kamery dronu. Jedná se o tzv. FPV (First Person View) let, nebo létání mimo dohled pilota za pomoci GPS. Tento způsob létání s dronem je v ČR zakázán a lze tak létat jen s přítomností další osoby, která dron sleduje fyzicky.

V případě porušení těchto předpisů hrozí pokuta až do výše 5 000 000 Kč. (Úřad pro civilní letectví, ©2020)

Server Dronweb (©2020) uvádí informace o změně v legislativě provozu dronů. V červenci letošního roku (1. července 2020) měla začít platit nová pravidla pro provoz bezpilotních letounů. Kvůli současné světové pandemické situaci se termín odložil na konec tohoto roku, tedy 31. prosince 2020. Nová pravidla se budou týkat registrace dronů, podmínek jejich provozu a požadavků na technické parametry. Díky těmto pravidlům bude možné drony využívat v rámci EU. Provoz bezpilotních systémů se bude dělit do 3 kategorií, a to otevřená, specifická a certifikovaná. Mezi jednu ze zásadních změn bude patřit povinná registrace osob, které provozují dron s hmotností již od 250 g.

5. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

S rozvojem UAV se rozšiřuje oblast pro jejich využití. Každým dnem roste úroveň znalostí, dovedností, a právě využití bezpilotních letounů.

Následující články popisují současná využití UAV v souvislosti s tématem této diplomové práce.

Článek australských publicistů se zabývá vývojem systému montovaného na UAV, který by sloužil pro dálkový sběr vzorků důlní vody. Tradiční sběr vzorků důlních vod je občas nebezpečný či nemožný kvůli špatnému přístupu. Nový systém ulehčí sběr dat, protože data budou sbírána na dálku. Velkou výhodou je lepší přístup k malým, mělkým a izolovaným vodním tokům, které se nachází v nepřístupném či nebezpečném terénu. V rámci studie byl vyvinut integrovaný, elektromechanický, pneumatický systém, díky kterému je sběr dat účinný, efektivní a bezpečný. (Banerjee, 2020)

Odborníci z Číny využili UAV ke zjišťování obsahu vody v rostlinách, konkrétně v bavlně, pomocí indexu přírodní vody. Znalost obsahu rostlinné vody (PWC) má velký význam pro přesné zavlažování polních plodin. Cílem studie bylo sledování PWC bavlny tak, aby nedošlo ke zničení rostliny. Pro sběr snímků byla použita šestistupňová multispektrální kamera jejímž nosičem byl UAV. Následně se z kamery extrahovalo třináct vegetačních indexů (VI). Všechny indexy VI byly matematicky spojeny s indexem VSWI. Dalším modelováním a analýzami bylo možné odhadnout obsah vody v bavlně. (Chen, 2020)

Dalším možným využitím UAV je například detekce vodních rostlin pomocí indexu multispektrální UAV snímků a vegetace. Studii se zabývali dva jihokorejské vědci. V rámci studie byly vodní rostliny v malé nádrži detekovány pomocí multispektrálních snímků z UAV a různých indexů vegetace. UAV Firefly, s namontovanou kamerou RedEdge pro získání multispektrálních obrazů, prolétl přes místo studie celkem čtyřikrát. Získané obrazy byly použity k různým analýzám vegetace. Konečné zjištění vědců bylo takové, že pokud jde o multispektrální charakteristiky, rostliny vykazovali nejvyšší odrazivost v R-NIR, zatímco plovoucí rostliny v R-re. Díky dalším pozorováním a analýzám se vegetační indexy využívající multispektrální snímky z UAV jako účinné pro detekci vodních rostlin. (Song, 2020)

Vědecký článek původem z Čech vypovídá o bezpilotních letounech sloužících k detekci změn v krajině, a to konkrétně břehových linií za pomoci vegetačních spektrálních indexů, které se počítají z viditelné části elektromagnetického spektra. Jedná se o normalizovaný index nadměrné zeleně (NExG), normalizovaný index zelené a červené difference (NGRDI), index

zeleno-modré vegetace (RGBVI), index zelených listů (GLI) a další. Indexy se využívají ke klasifikaci shromážděných snímků a k identifikaci konkrétních typů krajinného pokryvu. Zároveň se zde popisují metody klasifikace a další výpočty. (Čermáková, 2019)

Další český článek se zabývá využitím UAV ke sledování změn v krajině. V článku je uvedeno, jak používat dron střední třídy, a to konkrétně DJI Phantom 3 s vestavěnou kamerou, pro monitorování a dokumentování změn v okolí malých vodních útvarů v případě, že část pobřeží je špatně přístupná nebo úplně nedostupná. V článku lze nalézt i to, jak dále zpracovat získaná data a následně vizualizovat. (Sedlák, 2019)

Článek, který se zabývá UAV aplikací pro mapování sesuvů půdy, vznikl v Indonésii. Dle velkého množství zpravodajských deníků, například Idnes (©2009) patří ostrov Kuningan Regency, jeden z okresů v provincii Západní Jávy, k oblastem s vysokou mírou sesuvů půdy. Na tomto území dominuje kopcovitá krajina se strmým svahem. Pro mapování sesuvů skupina vybrala dvě podoblasti, kde k sesuvům došlo. Po rozsáhlých sesuvech půdy je jedinou možností pro sledování krajiny využití UAV. V rámci studie byl využit DJI Phantom 4 Pro s prostorovým rozlišením 10 cm. Zpracování obrazu bylo prováděno za účelem generování ortofotomap a digitálního modelu terénu pro získání informací ohledně směru a ploše sesuvů. Studie byla důležitá z hlediska zjištění faktorů, které ovlivňují sesuvné události jako je sklon. (Afif, 2019)

Další článek pochází ze Spojených států amerických a pojednává o monitorování lesů na jihozápadě USA. Pro klasifikaci vegetace a měření jejich trojrozměrné struktury na úrovni jednotlivých druhů jsou důležitá data s velkým prostorovým a spektrálním rozlišením. Vědci testovali lidar, hyperspektrální a multispektrální data získaná pomocí UAV a demonstrovali metodu slučování lidar-hyperspektrálního obrazu v ošetřených a kontrolních lesích s různou hustotou porostu, pokryvem a s různým gradientem vegetace a topografie. Zjistili, že fúze funguje lépe než samotný datový typ, především u druhů s podobnými spektrálními vlastnostmi. Lidar, hyperspektrální a multispektrální senzory a další použité metody mohou být široce aplikovány napříč gradientem vegetace a topografie pro monitorování krajiny, kde dochází k rozsáhlým změnám. (Sankey, 2017)

Mapování pobřežních dun je obsahem článku, který pochází od irských publicistů. Cílem jejich výzkumu bylo použití UAV pro topografické a vegetační mapování komplexů pobřežních dun v oblasti Co. Wicklow. Oblast byla rozdělena do tří částí, jelikož celková oblast představovala asi 60 ha. Obsah studie představuje kroky k dosažení cíle, stanovení pozemních kontrolních bodů, vytvoření autonomního letového plánu, létání UAV, sběr dat, jejich

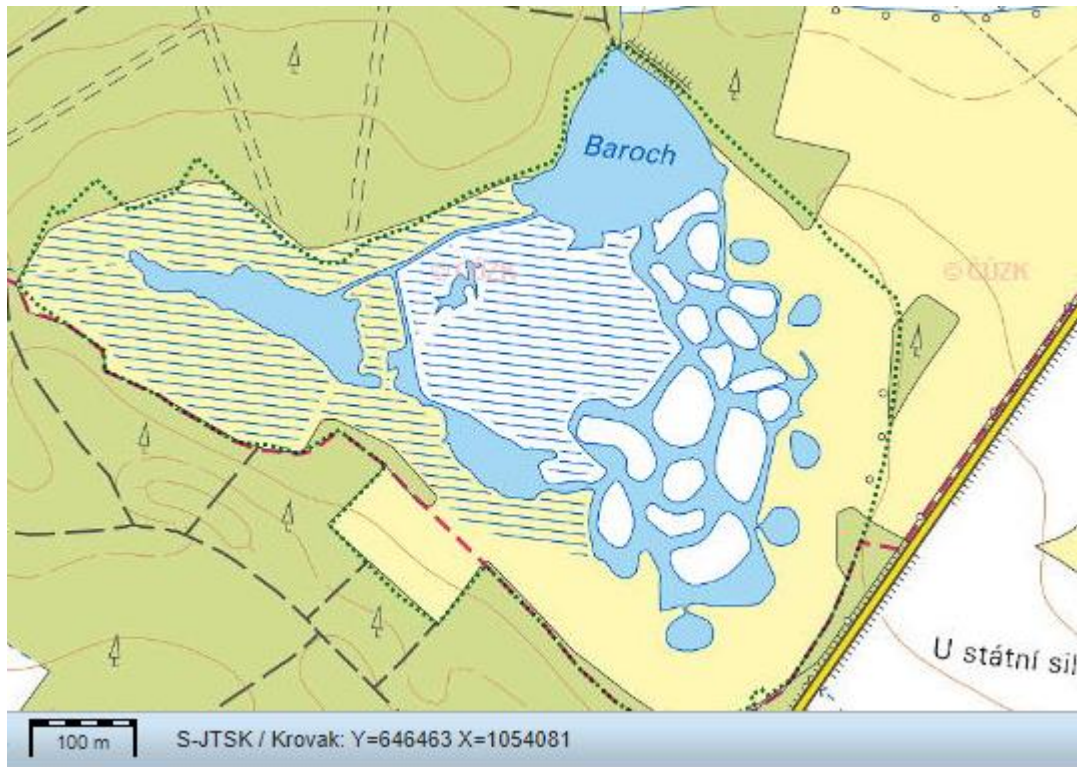
zpracování a analýza výsledků pomocí ArcGIS. Pro zpracování konečného výsledku, topografické mapy místa studie, byl využit software PIX4D. (Suo, 2017)

Dalším zajímavým článkem je publikace belgických autorů, kteří se zabývají návratem divokých prasat a jejich vlivem na zemědělství. Po mnoha letech se do severní Belgie vrátil divočák, který roste jak populačně, tak geograficky. Během nepřítomnosti divočáka se tamní struktura krajiny změnila v hustou mozaiku zemědělských, přírodních a městských oblast. Po návratu divočáka vzrůstá konflikt mezi jím a člověkem především kvůli škodám způsobeným v zemědělských oblastech. Proto narostla potřeba časově efektivní, standardizované a přesné metody pro hodnocení poškození plodin. V článku je představena metoda založená na využití UAV pomocí analýzy geografických objektů a náhodných lesů k odhadu poškozené oblasti a souvisejících ztrát výnosů. Tato metoda může poskytnout objektivní základní data pro systémy odškodnění a také vést strategie řízení založené na hodnocení škod. (Rutten, 2018)

6. CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Pro tuto diplomovou práci byla vybrána vodní plocha poblíž Pardubic, a to konkrétně část rybníku Baroch viz obrázek 4. Z větší části je rybník zarostlý rákosem a jiným druhem rostlin.

Na stránkách Východočeské pobočky České společnosti ornitologické (©2020) se lze dočíst, že se jedná o přírodní rezervaci severně od Pardubic s celkovou rozlohou 31,4 ha. Tato mokřadní lokalita je významná z důvodu hnízdiště vodního ptactva a výskytu vzácných druhů rostlin. Tento rybník nemá žádný přítok, je tedy závislý na dešťových srážkách.



Obrázek 4 - Rybník Baroch (Geoportal ČÚZK, ©2010)

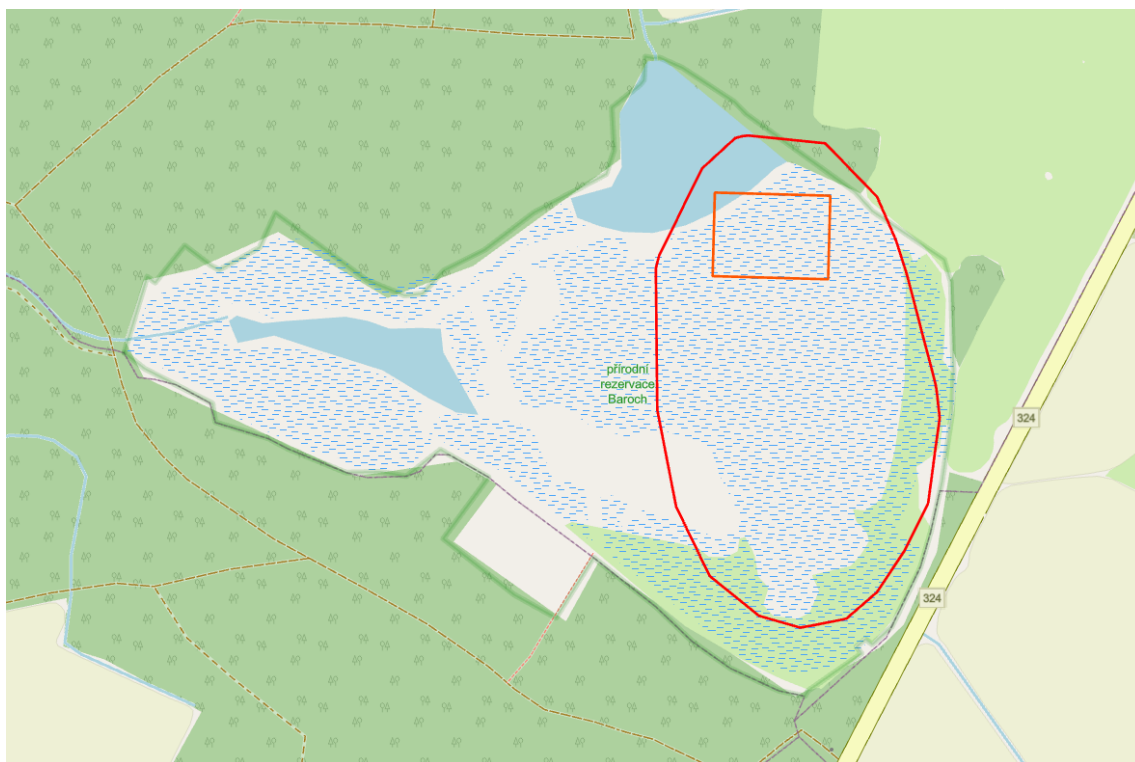
Server Turistika (©2020) popisuje tento rybník velmi podrobně. Historie rybníka Baroch sahá až na přelom 14. a 15. století. Původně byl Barochem nazýván les. Na počátku rybníka stála jiná vodní plocha, která nesla název Velká Čeperka. Pro napájení tohoto rybníku a jiných dalších byl vybudován Opatovický kanál, který spojoval Labe mezi Opatovicemi nad Labem a Semínem u Přelouče. Tento kanál přitom napojil 25 rybníků. Soustava rybníků se postupem času zmenšovala, což bylo zapříčiněno změnou vlastníků tehdejšího pardubického panství a dalšími událostmi, které měly vliv jak na panství, tak i na celé království. Důvodem bylo vylidnění po válkách a s tím spojen zánik mnoha vsí. Původně vodní plochy byly vysušeny a buď zastavěny novou vsí či přeměněny na pastviny pro dobytek. Postupem času docházelo k opakovaným redukcím rybníků a jejich vypouštění, což bylo způsobeno především

vysokými náklady na správu rybníků. Rybníkářství se finančně nevyplácelo. Až v druhé polovině 19. století začal opět rozvoj rybníkářství. Mnoho původně vodních ploch bylo obnoveno. Mezi napuštěné rybníky patří i rybník Baroch. Vznik rybníku Baroch se pojí se dvěma teoriemi. Tou první je, že Baroch vznikl při zrušení rybníku Velká Čeperka tak, že byl od něj oddělen, vysušen a později obnoven. Druhou verzí je, že Baroch byl založen až na konci 19. století, jako nový rybník.

Na stránkách Botany (2019) se lze dočíst o flóře vyskytující se na území rybníka Baroch. Co se týče flory, je zde zastoupena celá řada rostlin od běžných až po velmi vzácné. Jako příklad běžných vodních rostlin lze uvést rdest vzplývavý či stolítek klasnatý. Mezi vzácné rostliny lze zařadit řečanku přímořskou, žebratku bahenní nebo rdest trávolistý.

Česká společnost ornitologická na svém serveru poskytuje informace o fauně, kterou lze v okolí rybníka nalézt. Na hladině rybníka je možné zahlédnout čírku obecnou, kopřivku obecnou, potápku velkou a malou anebo bukače velkého a malého. Mezi ptáky, kteří využívají úkryt v rákosí, patří například rákosníci, či cvrčilky. V blízkosti rybníka lze zahlédnout motáka pochopa, čápy bílé i černé, volavky, orlovce říčního či dokonce orla mořského.

Na obrázku 5 je znázorněno celé snímané území (červená hranice) a jeho část vybraná k následné digitalizaci (oranžová hranice).



Obrázek 5 - Hranice snímaného a části zájmového území [vlastní]

7. ZPRACOVÁNÍ DAT Z UAV

7.1. Sběr a zpracování UAV dat

Díky technologiím jako je UAV lze sbírat data bez ohrožení lidského života, v blízkosti jiných objektů či v nepřístupných oblastech. Drony dokáží nasbírat data během krátkého časového úseku. Trasa sběru bývá nastavena dopředu, takže dron letí podle GPS, což je jak ekonomické, tak přesné.

Pro tvorbu přesného modelu území je třeba, aby každé místo v terénu bylo vyfotografováno ze stejné výšky a aby došlo k překryvu snímků. Zabrání se tím i vzniku prázdného snímku. V zásadě by podélný překryv snímků v řadách měl být alespoň 60 % a překryv řad (příčný překryv) cca 30 %. V rámci této diplomové práce bylo snímáno s podélným překryvem 60 % a příčným překryvem též 60 %.

7.2. Zpracování dat z UAV

V současnosti existuje nemalé množství softwarových nástrojů pro práci s prostorovými obrazovými daty. Některé z nich budou blíže popsány v následujících odstavcích. Byly vybrány softwary, jež jsou dostupné, uživatelsky přívětivé a lze je využít zdarma.

OpenDronMap

Jedná se o rozšířený software pro sběr, zpracování, analýzu a zobrazování dat z UAV. Letecké snímky zpracovává do mozaik a ortofotosnímků, map a 3D modelů. Jedná se o opensource aplikaci, která běží offline. Tato aplikace nabízí tvorbu výškových modelů či 3D modelů. Dále je možné využít výpočtů NDVI, GNDVI a dalších indexů. Též lze provádět různá měření, například objemů nebo ploch. Tento software v demo verzi je možné buď stáhnout, či využít tzv. Live Demo WebODM. (OpenDronMap, ©2018)

Pix4D

Společnost Pix4D pochází ze Švýcarska a zabývá se vývojem softwaru pro práci s polohovými obrazovými daty. Pix4D nabízí řadu sad jako je Pix4Dmapper, Pix4Dcloud atd. Blíže bude popsán Pix4Dmapper. Tento profesionální fotogrammetrický software slouží pro mapování pomocí UAV. Pomocí tohoto programu lze převést snímky například na přesné 3D modely. Pix4Dmapper poskytuje různé typy výstupů jako například 3D mračno bodů, digitální model povrchu a terénu, ortofotomozaika či termografie. Tento software lze získat

buď za pomoci jednorázové platby nebo měsíčního paušálu. Existuje i trialová verze, která je zdarma na vyzkoušení po dobu 15 dní. (Pix4D, ©2020; Bezpilotne, ©2018)

Agisoft Metashape

Společnost Agisoft LLC se sídlem v Rusku byla založena v roce 2006. Agisoft patří mezi přední vývojáře digitálních fotogrammetrických řešení. Agisoft Metashape představuje vysoce konkurenční samostatný software pro práci s prostorovými daty. Při jeho použití lze provádět fotogrammetrické zpracování digitálních obrazů, generovat texturované polygonální modely či georeferencovaná ortofota a generovat 3D prostorová data pro další použití. Tento software umí rychle zpracovat pořízené snímky a zároveň poskytuje přesné výsledky. Agisoft nabízí 3 typy licencí. První z nich je tzv. „Node-locked“ licence, kterou lze aktivovat pouze na jednom počítači. Dalším typem je „Floating“ licence, díky níž lze program nainstalovat na libovolný počet počítačů. Posledním typem licence je „Educational“ licence, kterou může pořídit pouze akreditovaná vzdělávací instituce. Vzdělávací licence nesmí být komerčně využita. (Agisoft, ©2020)

3Dsurvey

3Dsurvey je dalším programem pro zpracování digitálního obrazu pocházející ze Slovinska. Pomocí této aplikace lze transformovat data do přesných digitálních map, 3D modelů a interaktivního měření. Tento program byl vytvořen geodety s praktickými zkušenostmi a nabízí mnoho efektivních funkcí jako je tvorba ortofotomap, digitálního a výškového modelu terénu či tvorba 3D modelů. Společnosti nabízí 3 typy licencí. Opět lze za program zaplatit jednorázovou částku, platit měsíční paušál či zkusit neomezenou zkušební verzi na 14 dní. S pracovníky je též možné domluvit individuální nabídku. (3Dsurvey, ©2020)

7.1.1. Výběr vhodného softwaru pro práci s daty z UAV

Jak již bylo zmíněno, v současnosti lze nalézt velké množství softwaru vhodného pro práci s daty pořízenými v rámci dálkového průzkumu Země. Společnosti nabízející tento typ produktů nabízí více verzí na úrovni různých cenových hladin. Pro potřeby této práce stačí zkušební plnohodnotná verze, která je ovšem nabízena skoro každou společností. Pro účely této diplomové práce byly vybrány dva softwary, aby mohlo dojít k porovnání a výběru výsledných ortofotomozaik v případě, že jedem ze softwarů neposkytne uspokojivý výsledek.

Jedním z vybraných softwarů je Pix4D. Prvním krokem je registrace na jejich oficiálních stránkách. Následně společnost zašle ověřující email a po jeho otevření a kliknutí na odkaz se účet aktivuje. Poté je možné stáhnout Pix4Dmapper trial verzi na 15 dní.

Dalším vybraným programem pro zpracování dat z UAV byl zvolen 3Dsurvey. Stejně jako u Pix4D je nutná registrace na oficiálních stránkách společnosti. Po kliknutí na „Free Trial“ v pravém horním rohu stránek se objeví registrační šablona, kterou je nutné vyplnit. Registrace je vyřizována pomocí aktivačního kódu, který je zaslán formou SMS na zadané telefonní číslo. Poté je nutné účet aktivovat přes odkaz, který byl zaslán do emailové schránky. Po aktivování účtu je možné stáhnout aplikaci 3Dsurvey na počítač. Na stejném místě je možné nalézt pomocné tutoriály, které jsou k dispozici zdarma a pomohou se v softwaru zorientovat.

7.3. Sběr prostorových obrazových dat

Snímání zájmového území bylo provedeno pomocí dronu DJI Phantom 3. Jedná se o kvadrokoptéru s dosahem ve volném prostoru až 1 km. Tento komerční bezpilotní letoun váží kolem 1,2 kg s maximální rychlostí 16 m/s. Dokáže živě přenášet obraz ve vysokém rozlišení. Patří mezi drony, které mají silný signál GPS. Dron zaznamenal místo vzletu a je tak umožněn automatický návrat, pokud by došlo ke ztrátě signálu. Kamera využívající senzor 1/2.3“ CMOS je velmi kvalitní s výborným obrazem. Její zorný úhel je 94° a ohnisková vzdálenost 20 mm. Výstupní velikost obrazu je 4000*3000. Dron dokáže snímat po dobu přibližně 25 minut.

7.4. Práce s Pix4D

Po stažení softwaru bylo potřeba vytvořit nový projekt. Aplikace vyžadovala zadání názvu a místo ukládání dat. Poté bylo potřeba nahrát data z UAV.

Následně software požadoval vlastnosti týkající se souřadnicového systému a snímacího zařízení, která však rozeznal sám. Automaticky tedy bylo doplněno, že se jedná o model kamery Phantom 3, konkrétně FC300X_3.6_4000*3000 (RGB).

Následně aplikace nabídla možnost vybrat si z několika předpřipravených šablon jako například 3D mapy, 3D modely či dokonce termální snímky. V rámci této práce byla využita šablona Ag RGB. Jedná se o šablonu, jejíž výstupem je právě ortofotomozaika. Vstupem jsou snímky z kamer RGB.

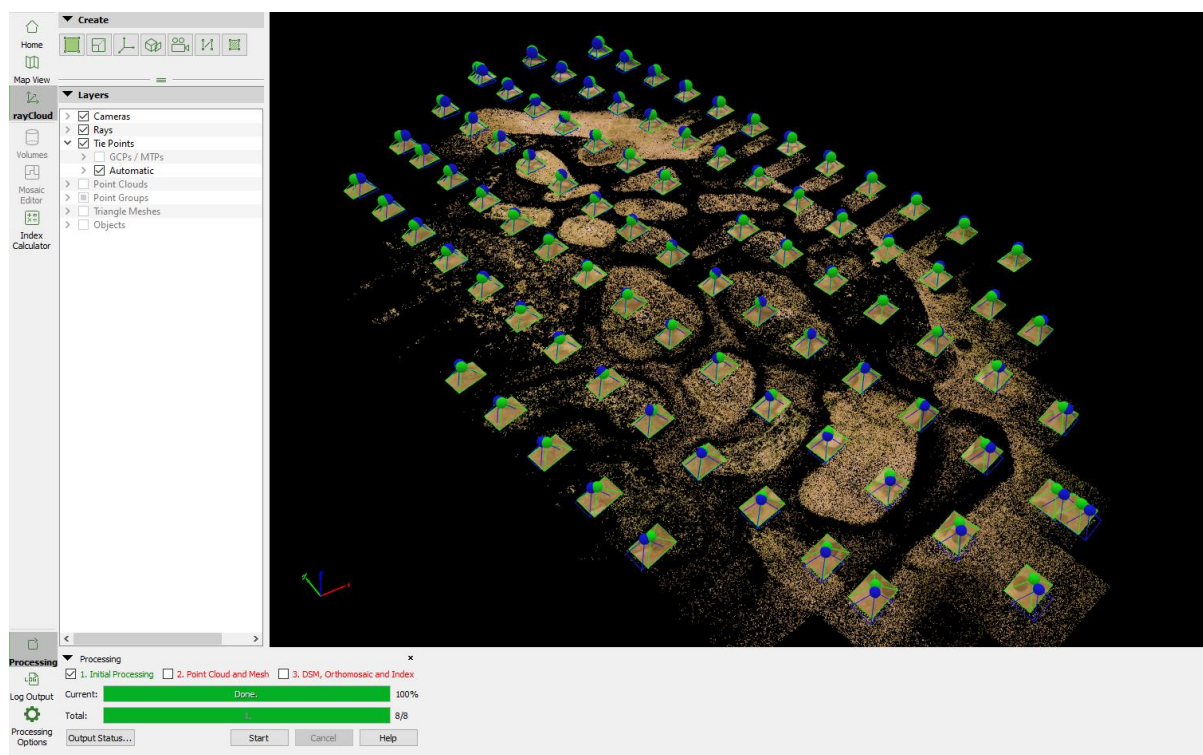
V první fázi tvorby mozaiky, tzv. inicializační fáze, dochází k nalezení bodů snímání.



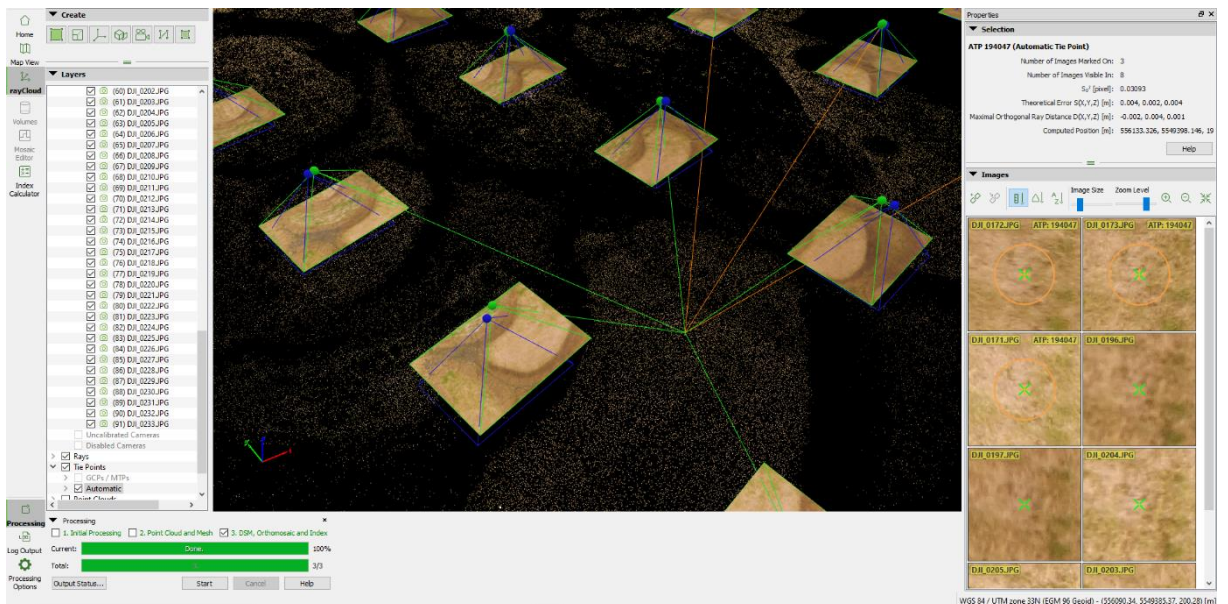
Obrázek 6 - Inicializační fáze v Pix4D [vlastní]

Ve druhé fázi, tzv. „Point Cloud and Mesh“, lze vidět vykreslené styčné body nad snímaným územím. Jsou to právě ty body, které byly vykresleny v předchozí, inicializační, fázi. Na obrázku 6 lze vidět mračno bodů, které představují síť.

V případě kliknutí na některé místo v prostoru území, software zobrazí informace o propojení a souřadnicích daného bodu.



Obrázek 7 - Point cloud and Mesh v Pix4D [vlastní]



Obrázek 8 - Vázací body v Pix4D [vlastní]

Po dokončení poslední fáze, DSM, ortofotomozaika a indexování, se výsledná mozaika uloží do adresáře, který byl zvolen při zahajování projektu. Ve složce lze nalézt i jednotlivé obrazy, ze kterých je mozaika složena.

Snímkování bylo provedeno 15. května 2020 v době od 9:19 až 9:35. Jak je vidět, obraz je velmi kvalitní a struktura jasná a viditelná. Snímkování probíhalo při oblačné obloze, povrch území není přesvícený slunečním svitem. Celkem bylo pořízeno 91 snímků. Snímky na sebe navazují a nestalo se, že by program nebyl schopen některé snímky připojit. V programu bylo ponecháno původní nastavení.



Obrázek 9 - Výsledná ortofotomozaika za květen v Pix4D [vlastní]

Na obrázku 9 je patrné, že plocha mokřadů je téměř bez vody. Hnědé zbarvení vypovídá o nízkém zastoupení vegetace. Jelikož se jedná o měsíc květen je pravděpodobné, že trávy a jiná flóra ještě nevyrostla a nevykvetla. Letošní jaro bylo chudé i na srážky, proto se v místě nachází jen málo vody. Tmavě hnědá místa jsou hlubšími částmi mokřadů, kde se drží voda a vlhkost. Nachází se zde mnoho tůní, které nejsou zatím dobře viditelné, jelikož jsou zarostlé vodními travinami.

Další snímkování probíhalo dne 3. června 2020. Létalo se za slunečného počasí v dopoledních hodinách od 9:44 do 10:04. Celkem bylo pořízeno 91 snímků.



Obrázek 10 - Ortofotomozaika za první půli června v Pix4D [vlastní]

Z obrázku 10 je možné vyčíst, že od prvního snímkování v květnu došlo k růstu vegetace. Nachází se zde mnohem větší zelená plocha, a to skoro na celém zájmovém území. Vyšší vegetace v horní části snímku je jasnější a hustší. Stav vody je o něco horší, jelikož už není patrná skoro v žádné tůni ani kanálu. Je to způsobeno nízkými srážkami a letními teplotami.

Poslední snímkování zájmového území se konalo 17. července 2020 od 9:34 do 9:50. létání bylo uskutečněno za neslunečného počasí. Nafoceno bylo 92 snímků ze stejné výšky jako při předchozích snímáních. Programu se podařilo opět všechny snímky připojit do jedné ortofotomozaiky.



Obrázek 11 - Ortofotomozaika za druhou půli června v Pix4D [vlastní]

Na obrázku 11 je krásně vidět, jak se oblast postupně zavodňuje a zarůstá. V druhé polovině června přibylo srážek, a tak se tůně a propojovací kanály zalily vodou. Prakticky celá plocha je zarostlá vegetací jako je rákosí a luční trávy.

7.5. Práce s 3Dsurvey

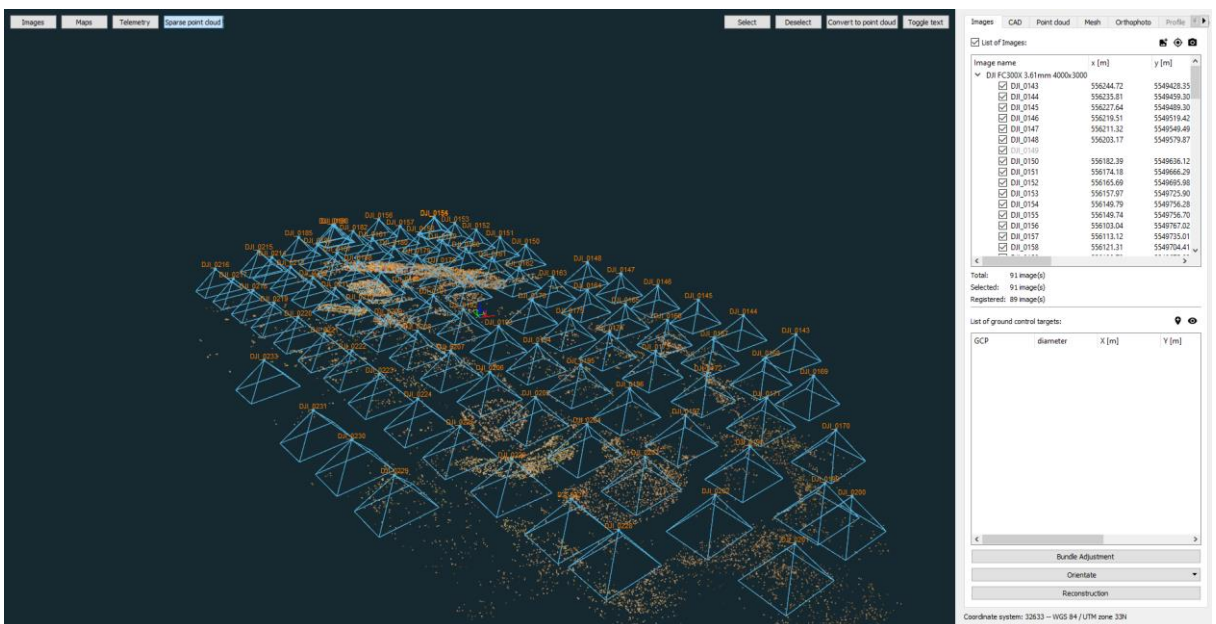
Po stažení a otevření programu je třeba zvolit možnost vytvoření nového projektu. Následně přijde výzva k vybrání a vložení dat. V dalším kroku je třeba ručně zadat přístroj, kterým byly snímky pořízeny a s tím i výběr správného souřadnicového systému. Pokud vše proběhlo v pořádku, aplikace vyše hlášku o úspěšném načtení dat.



Obrázek 12 - Nalezení bodů snímání v 3Dsurvey [vlastní]

Prvním krokem je „Bundle Adjustment“. Při této fázi je provedena aerotriangulace. Zároveň dojde k nalezení tzv. key points a shodných tzv. tie points. Dochází zde též k inicializaci jednotlivých snímků v prostoru a vznikne tak bodové mračno. Je možné vybrat z třech možných módů, a to „Hybrid“, „Global“ a „Incremental“. Pro první část dat byl nakonec vybrán mód „Hybrid“, jelikož výsledný mrak bodů byl nejobsáhlejší.

Jak je vidět na obrázku 13, při první fázi došlo k chybám, kdy program našel pouze 89 z 91 snímků. Tato chyba je podrobněji popsána níže.

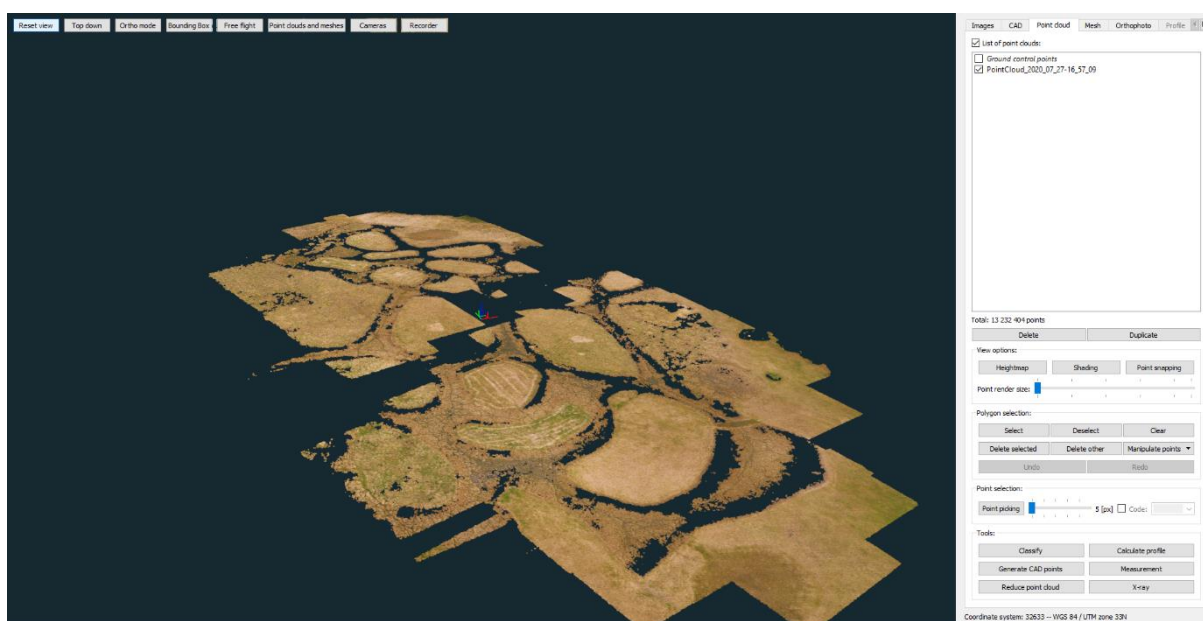


Obrázek 13 - Mračno bodů v 3Dsurvey [vlastní]

V rámci tohoto kroku přišla hláška týkající se ohniskové vzdálenosti, která říká, že optimalizovaná ohnisková vzdálenost se výrazně liší od počáteční hodnoty. Počáteční hodnota ohniskové vzdálenosti byla buď načtena z databáze (v případě, že se použily fotografie z dronů, jako například právě Phantom a další) nebo vypočtena. Pokud aplikace nevyslala vyskakovací okno týkající se neznámých dat z kamery, pak je možné, že výsledky nemusí být optimální. Důvodů může být hned několik, a to například nesprávné nastavení souřadnicového systému, nesprávná 3D poloha pro jeden nebo několik GCP či nesprávné označení pozice GCP.

Dalším krokem je tzv. „Orientation“ sloužící pouze pro georeferenci kontrolních a vlčivocích bodů.

Poslední krok je tzv. „Reconstruction“. Jedná se o nejvíce časově náročnou fázi, jelikož dochází k orientaci modelu v prostoru.



Obrázek 14 - Fáze rekonstrukce v 3Dsurvey [vlastní]

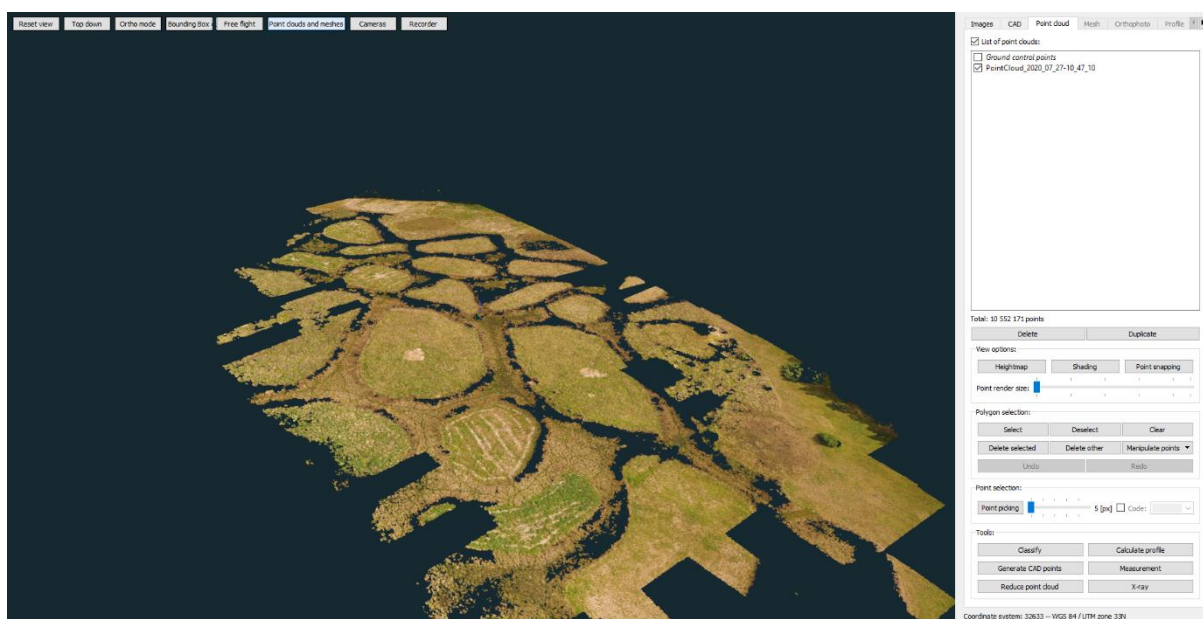
Pro tvorbu ortofotomozaiky je nejprve nutné vytvořit mesh. Po kliknutí na „Mesh“ umístěném na horní liště se zobrazí možnosti kalkulace. Pro tuto práci byla zvolena možnost DSM. Až po tomto kroku software povolí tvorbu ortofotomozaiky. Horní lišta obsahuje možnost „Orthophoto“, po rozkliknutí dojde k výběru „Calculate new“. Vlastnosti jsou přednastaveny softwarem, avšak lze změnit rozlišení. Výslednou ortofotomozaiku lze exportovat ve třech formátech do libovolného adresáře.

Na obrázku 15 je vidět výsledná ortofotomozaika. V porovnání s výstupní mozaikou ze softwaru Pix4D je tato mozaika hrubě ořezaná, avšak s výrazným výkresem vodních kanálů a strukturou povrchu.



Obrázek 15 - Ortofotomozaika za květen v 3Dsurvey [vlastní]

Pro druhý data set v části „Bundle Adjustment“ byl zvolen mód „Hybrid“, díky kterému program detekoval 73 snímků z celkového počtu 91. Následující obrázek 16 zobrazuje vlastní rekonstrukci



Obrázek 16 - Rekonstrukce dat z první půli června v 3Dsurvey [vlastní]

V porovnání s rekonstrukcí dat z května je tato rekonstrukce obsáhlejší a lépe vyladěna. Nachází se zde mnohem méně chybějících částí. Je to způsobeno výběrem jiného módu v rámci „Bundle Adjustment“. Při výběru módu „Global“ program detekoval mnohem menší počet snímků a tak výsledná rekonstrukce nebyla vhodná k následné tvorbě ortofotomozaiky.

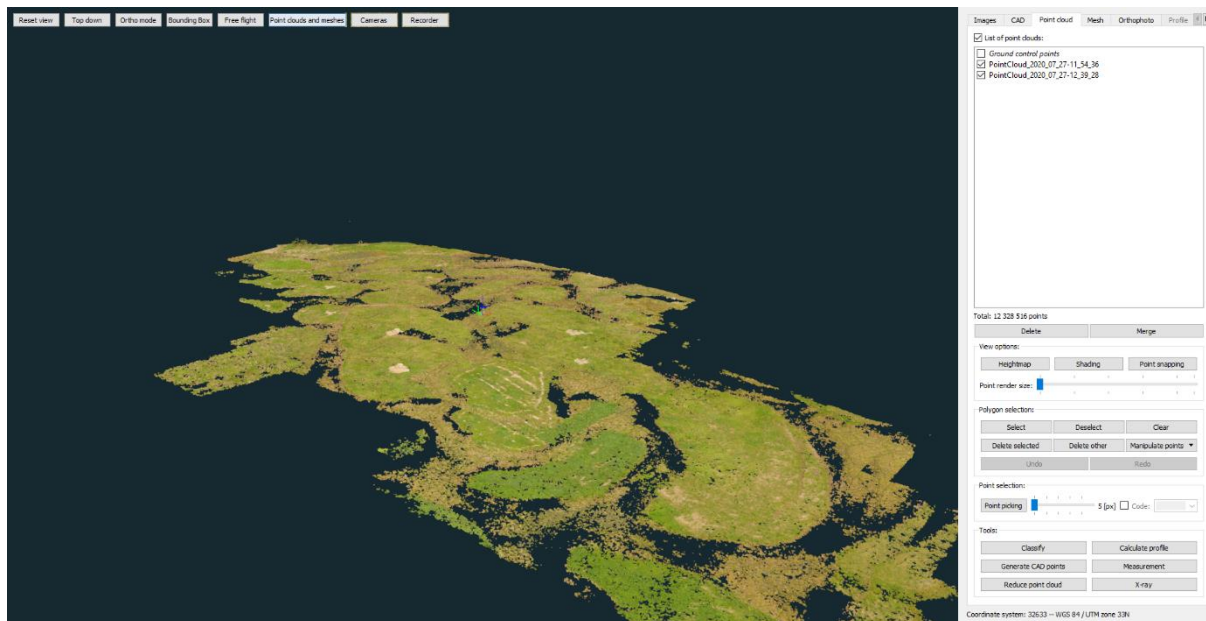
Obrázek 17 obsahuje výslednou ortofotomozaiku vytvořenou ze snímků z první poloviny června. Mozaika je velmi povedená s dobře čitelnou strukturou.



Obrázek 17 - Ortofotomozaika za první půli června v 3Dsurvey [vlastní]

Oproti předchozí mozaice za květen je vidět změna módu v první fázi procesu. Mozaika na obrázku 17 vypadá mnohem komplexněji než mozaika za květen.

Pro poslední data set ze 17. 6. 2020 byl ve fázi „Bundle Adjustment“ využit mód „Increment“, jelikož předchozí dva módy neměly takovou úspěšnost v detekování snímků. Úspěšnost registrace snímků opět není bezchybná, avšak bylo detekováno 66 snímků z celkového počtu 92. následující obrázek zobrazuje vlastní rekonstrukci.



Obrázek 18 - Rekonstrukce z druhé půli června v 3Dsurvey [vlastní]




Obrázek 19 - Ortofotomozaika za druhou půli června v 3Dsurvey [vlastní]

Obrázek 19 je pravděpodobně nejlepší výstupní mozaikou. Je krásně vidět struktura povrchu a barva vegetace.

Pokud by se měly porovnat výstupy z obou programů, pak lepší výsledky poskytuje Pix4D. Avšak oba softwary jsou uživatelsky přívětivé a komplexní. Obě prostředí nabízí škálu možností, a především jsou vhodná i pro běžné uživatele bez větší zkušeností s tvorbou mozaik. Mozaiky byly ponechány tak, jak je vyhodnotil software, z důvodu porovnání kvality výstupu.

Tabulka 1 - Porovnání výstupních ortofotomozaik z jednotlivých softwarů

	květen	první polovina června	druhá polovina června
Pix4D			
3Dsurvey			

Není možné prohlásit jeden software jako nejlepší ze všech. Každá společnost, která takovýto software nabízí, poskytuje uživatelům různé varianty, ať už placené nebo ve formě trial verze. Každý software se snaží poskytnout co největší rozsah služeb a možností dle výběru uživatele. V dnešní době, kdy je softwarů pracujících s prostorovými daty mnoho, si každý uživatel jistě nalezne takový, který bude nejlépe pokrývat všechny jeho potřeby.

Pro potřeby této práce byly využity, jak již bylo zmíněno na začátku této kapitoly, software od společnosti Pix4D a 3Dsurvey. Obě společnosti nabídly plnohodnotnou zkušební verzi. Pix4D po dobu 15 dní a 3Dsurvey na 14 dní. Pro využívání softwaru zpracovávajícího

prostorová obrazová data je nutné mít k dispozici výkonnější počítač, jelikož operace doprovázející tvorbu mozaiky jsou náročné.

Ortofotomozaiky za měsíc květen výstižně vykreslují strukturu povrchu. Je možné detekovat místa zarostlá travinami a část lesa v horní části snímku. Obě mozaiky působí celistvě a plnohodnotně.

Při porovnání výstupní mozaiky za první polovinu června je možné si všimnout, že mozaika vytvořená v Pix4D obsahuje na některých místech čtverce, které jsou pravděpodobně způsobeny špatnou barevnou korekcí. Oproti tomu mozaika vytvořená v 3Dsurvey je značně ořezaná, možná proto, že překryvy snímků nebyly dostatečné. Avšak struktura plochy je v obou případech detailně vidět i po přiblížení. Program 3Dsurvey je o něco lepší při vykreslování vegetace, jelikož jsou lépe vidět traviny a detaily stromů, zároveň také různé „praskliny“ v půdě a vodních kanálech.

Porovnáním mozaiky za druhou polovinu června lze zjistit, že software 3Dsurvey vykreslil hnědou skvrnu v prostřední části levé strany mozaiky třikrát. Dále pak celá horní část snímku obsahuje zkreslení. To může být způsobeno špatným spojením bodů a tím software přiřadil každý bod zvlášť jinému snímku. Došlo opět k relativně velkému ořezu, a to především v dolní části mozaiky. Avšak snímek opět působí detailněji než výstup z Pix4D.

7.6. Digitalizace snímků

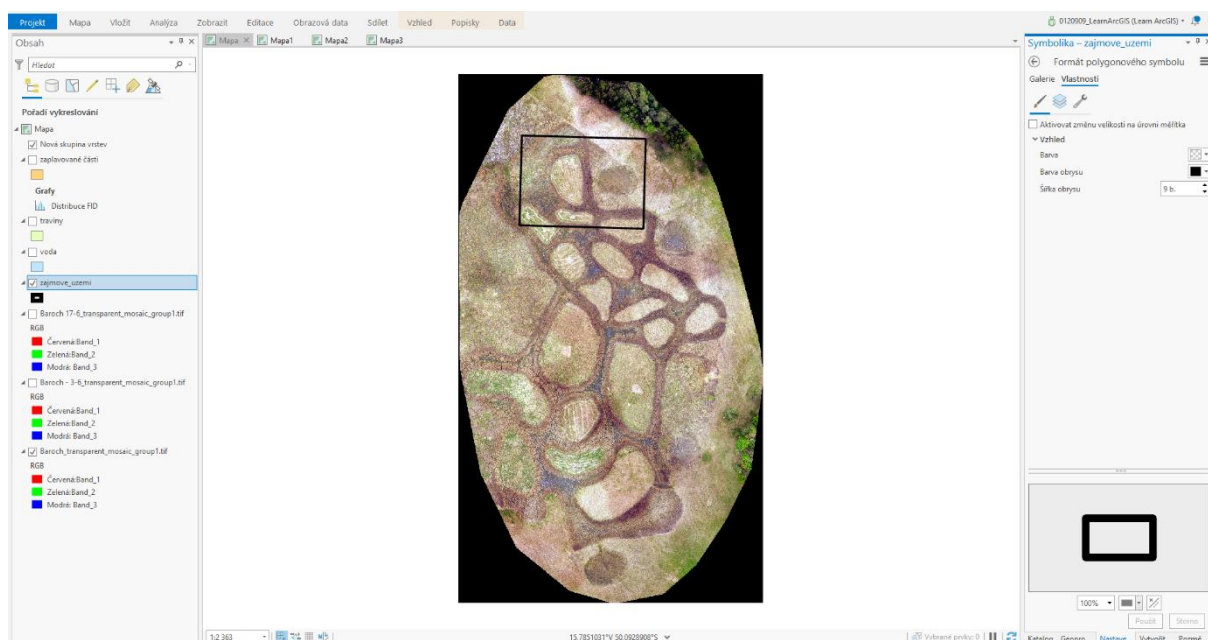
Proces digitalizace obrazu je relativně dlouhý a pracný úkol. Byla proto vybrána pouze část zájmového území, která bude digitalizována a na které budou zkoumány a popsány změny. Touto částí je území pod lesem, na kterém se nachází tůň, traviny, půda a zaplavované části.

Digitalizace zájmového území byla provedena v programu ArcGIS Pro ve verzi trial s českým jazykem. Bylo nutné definovat počet skupin pro digitalizaci. Těmito skupinami jsou: voda, travinný porost a záplavové části čili 3 skupiny. V případě vody se nejedná o čistě vodní plochu. Tento prvek obsahuje i vegetaci, v němž voda pouze převažuje. Travinný porost se skládá z různých druhů trav a půdy. Zaplavovaná vegetace se nachází kolem vodních ploch. Tvoří „pásky“ oddělující travinný porost od vodních ploch.

Ačkoliv oba softwary, jak Pix4D, tak 3Dsurvey, vykazaly velmi povedené a relativně přesné mozaiky, jako vhodný vstup pro digitalizaci byly vybrány ortofotomozaiky, které byly vytvořeny v programu Pix4D. Je tomu tak kvůli mozaice vytvořené za druhou polovinu června, kde došlo k chybnému přiřazení styčného bodu, a tím ke zkreslení.

Po otevření programu ArcGIS Pro je nutné zkontrolovat a případně opravit nastavení souřadnicového systému. Je nutné, aby byl shodný s původním souřadnicovým systémem, ve kterém snímek dron záměrně území. Souřadnicový systém byl tedy nastaven na WGS 84 UTM Zone 33N.

Po načtení vstupních dat, tedy mozaiky zájmové části území, bylo důležité vytvořit nový datový soubor tzv. shapefile, který slouží pro ukládání vektorových prostorových dat. Po vytvoření shapefile souboru je uživatel vyzván k zadání názvu a parametrů nových dat. V tomto případě byl vytvořen jeden shapefile, jehož typ byl nastaven jako polygon. Dalším krokem bylo nastavení souřadnicového systému, který musí být shodný s původním souřadnicovým systémem. Kliknutím na „spustit“ došlo k vytvoření nového shapefile souboru. Díky tomuto kroku bylo možné vytvořit výřez mozaiky tak, aby pro každé sledované časové období bylo posuzována stejná výměra území.



Obrázek 20 - Vybraná část zájmového území [vlastní]

Pro každé časové období byl vytvořen samostatný datový rámeček, kde se pro každé zájmové území vytvořila jeho digitalizovaná podoba.

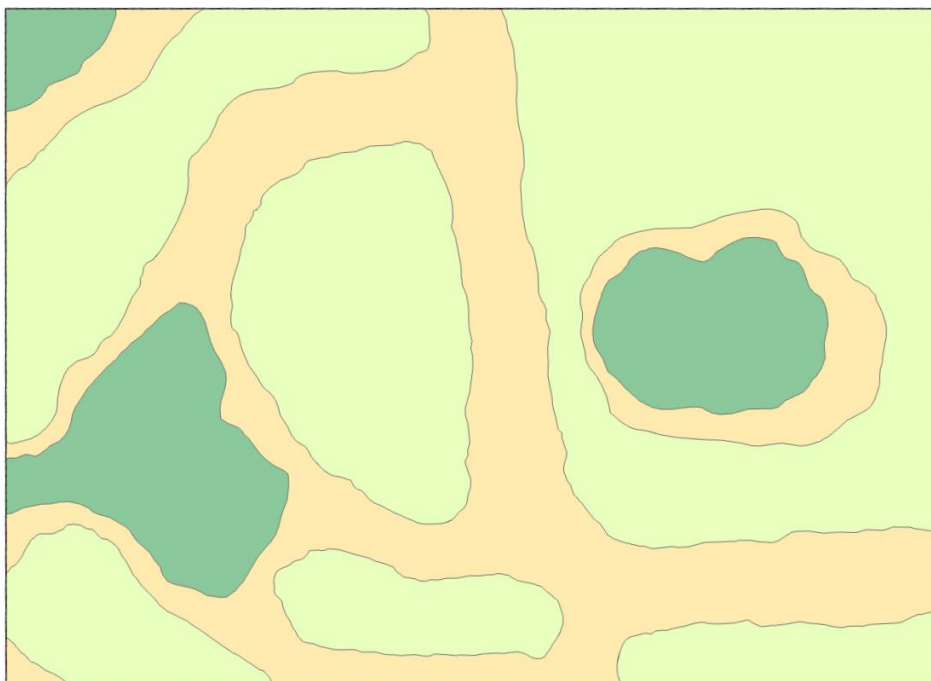
Samotná digitalizace probíhala pomocí editoru, který lze nalézt na horní liště programu ArcGIS Pro pod názvem „Editace“. Následné stisknutí prvku „Vytvořit“ umožnilo postupně transformovat snímek na digitalizovanou formu obrazu. Je třeba si dát pozor na to, který prvek je aktivní, protože ten je určený k editaci. V rámci editování není dobré používat tlačítko na klávesnici „Delete“. Dochází k nevratnému odstranění části původního polygonu. Po dokončení editace je nutné stisknout „Uložit“ a dále možné dát pryč podkladový snímek.

Vegetace je reprezentována zelenou barvou, voda modrozelenou, a nakonec zaplavované části, do kterých spadá zaplavované území včetně vodní vegetace, jsou zobrazovány barvou světle hnědou.

Nejobtížnější tvorba digitálního obrazu byla za období května. Důvod je jednoduchý, a to nízký kontrast mezi jednotlivými prvky. Tráva v tomto období nebyla výrazně zbarvena, a tak docházelo k prolínání se zaplavovanými částmi vegetace. Původní výřez je vidět na obrázku 21. Výsledný digitalizovaný snímek je na následujícím obrázku 22.



Obrázek 21 - Výřez mozaiky na květen [vlastní]



Obrázek 22 - Digitalizovaný snímek za období květen [vlastní]

Následuje obrázek 23, na které je původní výřez území. Na obrázku 24 se nachází digitalizovaný snímek. Tvorba digitální verze nebyla tak těžká jako květnové období, avšak problém nastal v případě digitalizace vodních ploch, které byly buď zcela vyschlé, nebo v nich bylo vody velmi málo.



Obrázek 23 - Výřez mozaiky za první polovinu června [vlastní]



Obrázek 24 - Digitalizovaný snímek za období první poloviny června [vlastní]

Poslední snímek převedený do digitální podoby byl za období druhé poloviny června. Na tomto snímku jsou nejvíce vidět změny z hlediska vegetace a vody. Od prvotního snímání území došlo k výraznému zavodnění tůní a také k zatravnění celé oblasti. Vysoký kontrast mezi travní vegetací a vodní vegetací je výrazný, a tak bylo jednodušší tyto dva prvky od sebe rozpoznat. První obrázek 25 zobrazuje opět výřez mozaiky za období druhé poloviny června a následující obrázek 26 znázorňuje digitalizovanou formu onoho výřezu.



Obrázek 25 - Výřez mozaiky za druhou polovinu června [vlastní]



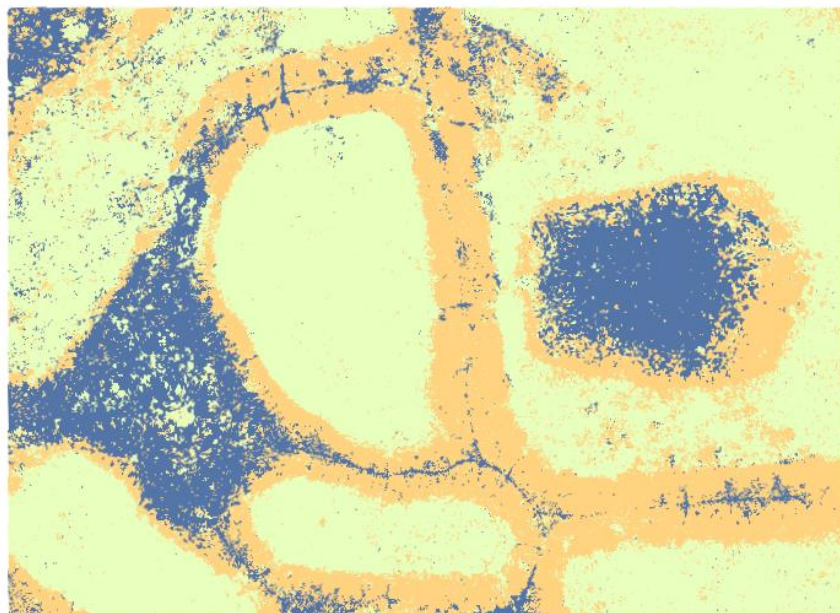
Obrázek 26 - Digitalizovaný snímek za období druhé poloviny června [vlastní]

Při porovnání všech třech snímků lze vidět, že největší rozdíly jsou v případě vodních ploch. Mezi květnem a první polovinou června došlo k velkému snížení podílu vody z důvodu nedostatku srážek, jelikož rybník Baroch a přilehlé mokřady nemají jiný zdroj vody. Po druhém snímání naštěstí došlo ke zvýšení přirozených dešťových srážek, a tak byly tůně naplněny. Za celou dobu od prvotní po konečné snímání území došlo k nárůstu travní i vodní vegetace.

7.7. Řízená klasifikace

V programu ArcGIS Pro je možné nalézt klasifikační nástroje v horní liště pod složkou „Obrazová data“, kde po kliknutí na „Průvodce klasifikací“ vyskočí v pravé části programu panel obsahující průvodce klasifikací obrazu. Nejprve je nutné zvolit mezi řízenou a neřízenou klasifikací. V případě volby právě řízené klasifikace následuje výběr typu klasifikace. Typ klasifikace může být buď na základě objektů, což znamená, že dojde k seskupení sousedních pixelů v obrázku na základě jejich podobnosti a tyto objekty se následně použijí ke klasifikaci obrazu, nebo pixelů, kdy klasifikace probíhá na úrovni každého pixelu, což znamená, že při určování třídy pixelu nejsou brány v potaz hodnoty sousedních pixelů. V rámci této práce vycházely lepší výsledky pro druhý typ klasifikace. Následně bylo zvoleno schéma klasifikace a pokračovalo se v určení trénovacích tříd. Po tomto kroku následoval výběr metody. Program umožňuje výběr ze dvou alternativ, a to buď „Random Trees“ nebo „Metoda podpůrných vektorů“, tzv. SVM metoda. První metoda provede klasifikaci metodou náhodných stromů, která používá několik rozhodovacích stromů naučených pomocí malých variací stejných cvičných dat. Při klasifikaci vzorku rozhodne většinový hlas naučených stromů o výstupní třídě. Druhá metoda provede klasifikaci metodou podpůrných vektorů, která transformuje vstupní datové vektory do vícerozměrného příznakového prostoru tak, aby data byla optimálně rozdělena do různých tříd. Metoda SVM dokáže zpracovat velké obrazy a je méně citlivá na šum či nevyvážený počet cvičných míst v každé třídě. Nakonec byla vybrána metoda SVM. Bylo možné upravit maximální počet vzorů na třídu, ale původní nastavení bylo ponecháno na hodnotě 500. Po spuštění došlo k učení klasifikátoru. Po tomto kroku bylo možné vidět první výsledky. Následující krok, trvající nejdéle, obsahoval vlastní klasifikaci. Po samotné klasifikaci bylo možné sloučit podobné třídy do jedné. Posledním krokem je reklasifikace, díky které lze přiřadit nesprávně klasifikované pixely do správné třídy. Tento typ klasifikace je časově delší a náročnější než klasifikace neřízená, avšak bývá podpořena lepšími výsledky. (ArcGIS, 2020)

Na obrázku 27 je příklad výstupní vrstvy po řízené klasifikaci pro období druhé poloviny června.

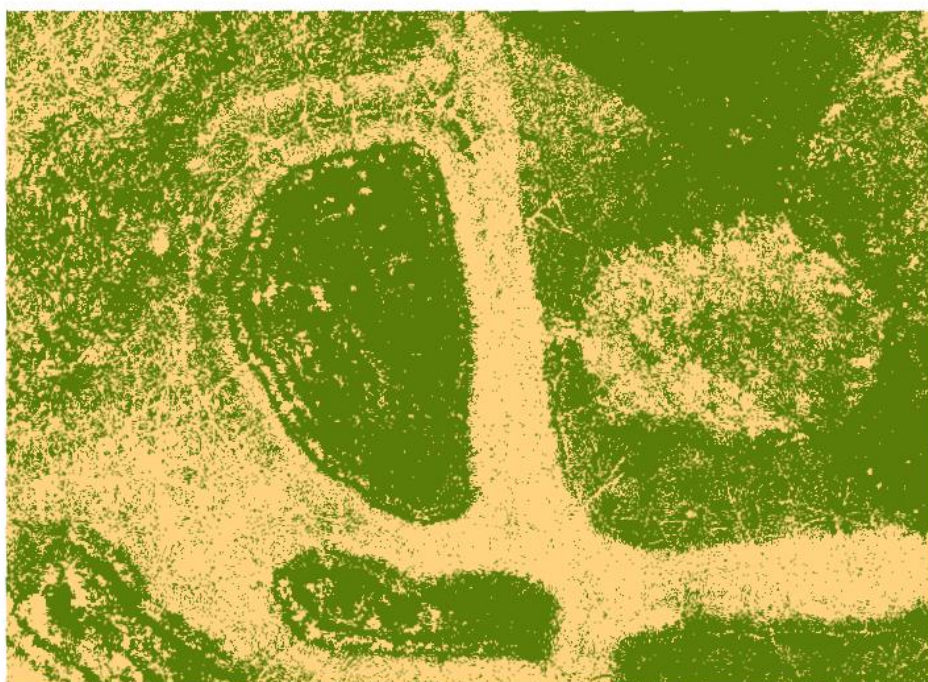


Obrázek 27 - Výsledek řízené klasifikace pro období druhé poloviny června [vlastní]

7.8. Neřízená klasifikace

Tato metoda umožňuje neřízenému klasifikátoru určit, jaké existují v obrázku klasifikační třídy a poté každý pixel nebo objekt přiřadí k přednastavené třídě z klasifikačního schématu. I u této metody je možné vybrat typ klasifikace. Pro tuto práci byl vybrán typ „Na základě pixelů“. Pro schéma klasifikace bylo vybráno výchozí schéma. Klasifikace probíhá na základě metody „Shluk ISO“, který provede nekontrolovanou klasifikaci pomocí shluku ISO, který určí charakteristiku přirozených seskupení buněk ve vícerozměrném prostoru atributů. Dále je nutné nastavení maximálního počtu tříd, což byly 3. Další nastavení bylo ponecháno. Následně došlo k samotné klasifikaci, kdy probíhá kategorizace obrázku do tříd. Dalším krokem je přiřazování tříd, což spadá mezi volitelný bod klasifikace. Lze použít klasifikační schéma k přiřazení předdefinovaných tříd k vygenerovaným třídám. Konečným bodem je opět reklasifikace.

Obrázek 28 zobrazuje příklad neřízené klasifikace pro období první poloviny června.



Obrázek 28 - Výsledek neřízené klasifikace za období první poloviny června [vlastní]

7.9. Porovnání výsledků

V rámci této diplomové práce šlo o detekci změn v okolí malých vodních ploch. V tomto případě šlo především o zjištění stavu vegetace, která se nachází výhradně mimo vodní plochy, avšak v těsné blízkosti zaplavovaných ploch, které jsou tvořeny vodními rostlinami. V první řadě jsou porovnány výsledky ploch vegetace za jednotlivá období.

Pro výpočet plochy jednotlivých skupin bylo nutné vytvořit v atributových tabulkách jednotlivých prvků nový sloupec, do kterého byly jednotlivé výměry zapsány. Po vytvoření sloupce „Plocha“ stačilo na volné pole v tomto sloupci kliknout pravým tlačítkem myši a v sekci „Sloupec“ vybrat možnost „Vypočítat geometrii“. Na pravé straně programu se otevřelo nové okno „Geoprocessing“ s podtitulem „Vypočítat atributy geometrie (Calculate Geometry Attributes)“. Následujícím krokem bylo nastavení vstupních prvků. Jako vstupní prvek byla vybrána skupina „vegetace“. Cílové pole bylo automaticky vyplněno heslem „Plocha“. Bylo jen nutné doplnit jednotky výpočtu, v tomto případě metry čtvereční, a souřadnicový systém, tedy WGS 1984 UTM Zone 33N.

Na následujícím obrázku 29 je snímek z atributové tabulky pro prvek vegetace za období květen.

FID	Shape	Id	plocha
0	Polygon	0	1185
1	Polygon	0	386
2	Polygon	0	1053
3	Polygon	0	2682
4	Polygon	0	346
5	Polygon	0	425

Obrázek 29 - Snímek atributové tabulky pro prvek vegetace [vlastní]

Následující tabulka zobrazuje plochy vegetace za jednotlivá období.

Tabulka 2 - Plocha vegetace v jednotlivých období

Období	květen	První polovina června	Druhá polovina června
Plocha (m ²)	6077	5792	5914

Dalším zkoumaným parametrem byl index NDVI. Jedná se o tzv. normalized difference vegetation index, který je standardizovaný, umožňuje generovat obraz zobrazující zeleň a je též znám jako relativní biomasa. Tento index využívá kontrastu charakteristik mezi dvěma pruhy z multispektrálního rastrového datového souboru. Jednodušeji řečeno využívá absorpce chlorofylového pigmentu v červeném pásmu a vysoké odrazivosti rostlinného materiálu v blízkém infračerveném pásmu. Výsledná hodnota tohoto indexu se pochybuje v intervalu od - 1,0 až 1,0. Pokud index NDVI vyjde jako velmi nízká či záporná hodnota, oblast je bez vegetace. Jedná se například o vodu či mrak. V případě velmi nízkých hodnot (0,1 a méně) se jedná o oblasti s nízkou či žádnou vegetací. Pokud jsou hodnoty střední (0,2 – 0,3), jedná se o plochy keřů a travních porostů. Vysoké hodnoty (0,6 – 0,8) pak představují lesní oblasti a hojnou vegetaci. (ArcGIS, 2020)

Pro výpočet této hodnoty bylo potřeba upravit hodnoty modelu RGB pro každý výřez sledovaného období. Původní nastavení bylo v podobě R – Band 1, G – Band 2 a B – Band 3. V rámci nového nastavení došlo k prohození skupin, a to na R – Band 4, G – Band 3 a B – Band

2. Po tom nastavení bylo možné přejít do složky „Obrazová data“ v horní liště a kliknout na „Rastrové funkce“. V pravé části se otevřelo okno s výběrem mnoha rastrových funkcí. Jednou z nich je i NDVI. Po otevření je nutné zadat nové nastavený rastr a ID pássem. ID viditelného pásma bylo nastaveno na hodnotu 1, ID infračerveného pásma na hodnotu 4. Po vytvoření nové vrstvy se v levé části obrazovky u konkrétní vrstvy objevila i samotná hodnota NDVI.

Následující tabulka porovnává hodnoty NDVI za jednotlivá období.

Tabulka 3 - Porovnání hodnot NDVI za jednotlivá období

	květen	první polovina června	druhá polovina června
hodnota NDVI	0,795775	0,910112	0,821429

Tabulka 4 porovnává jednotlivé výměry ploch za všechna období. Následující tabulka 5 zobrazuje porovnání vizuální a automatické klasifikace.

Tabulka 4 - Porovnání ploch v m² jednotlivých prvků za všechna období

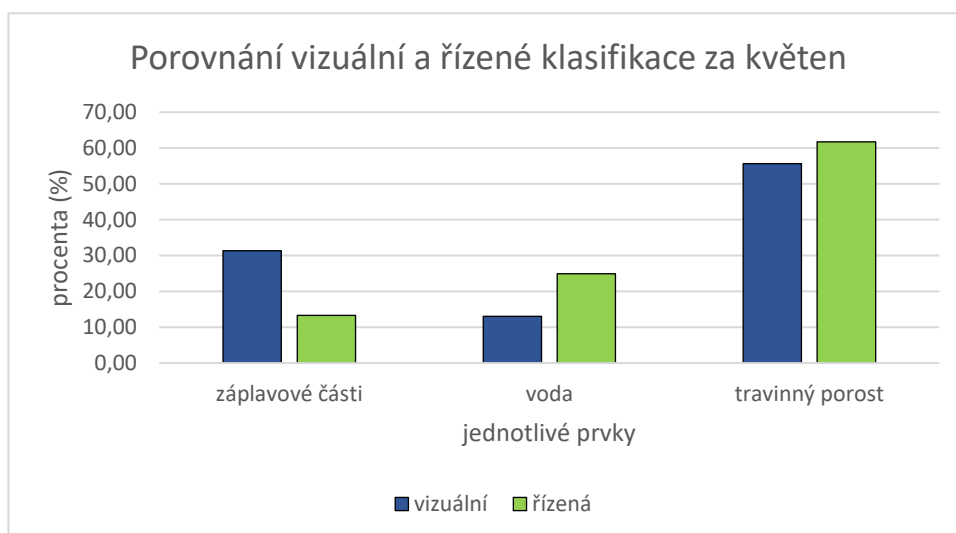
	květen		první polovina června		druhá polovina června	
	m ²	%	m ²	%	m ²	%
záplavové části	3427	31,37	4937	45,19	3158	28,91
voda	1421	13,01	196	1,79	1853	16,96
travný porost	6077	55,62	5792	53,02	5914	54,13
suma	10925	100,00	10925	100,00	10925	100,00

Tabulka 5 - Porovnání ploch po řízené klasifikaci

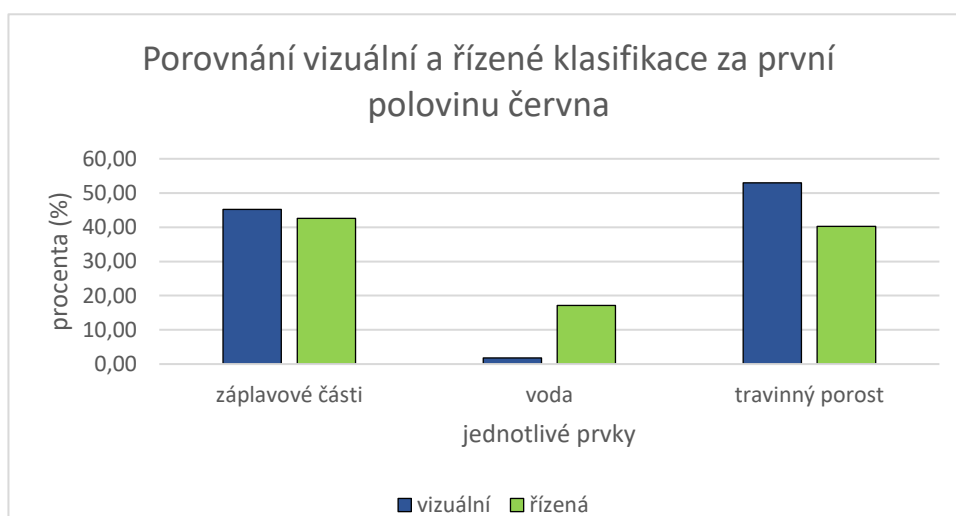
	květen		první polovina června		druhá polovina června	
	COUNT	%	COUNT	%	COUNT	%
záplavové části	36071318	13,33	104894402	42,57	100915604	44,89
voda	67487739	24,94	42252829	17,15	17109695	7,61
travný porost	167044293	61,73	99280505	40,29	106760053	47,49
suma	270603350	100,00	246427736	100,00	224785352	100,00

Pro porovnání výsledků vizuální a automatické klasifikace bylo nutné spočítat též plochy jednotlivých prvků pro výsledný obraz po řízené klasifikaci. Jelikož program ArcGIS Pro neumí spočítat plochu pro rastrová data pomocí funkce „Vypočítat atributy geometrie (Calculate Geometry Attributes)“, bylo nutné vyhledat v horní liště záložku „Zobrazit“ a v jejím obsahu nalézt položku „Zpracování prostorových dat“. Po rozkliknutí této položky se na pravé straně obrazovky zobrazilo okno „Geoprocessing“. V horní část tohoto okna došlo k výběru položky „Toolboxy“ a následně se otevřel seznam funkcí. Po vyhledání funkce „Spatial Analyst Tools“ se rozvinul další seznam pro práci s rastrovými daty. Následně byla nalezena položka „Zonal“ a v ní „Zonal Statistics as Table“. Tato funkce vytvořila samostatnou tabulku s výpočtem plochy jednotlivých prvků v rastru. Pro porovnání poslouží sloupec „COUNT“, který byl přepočítán na procentuální hodnotu.

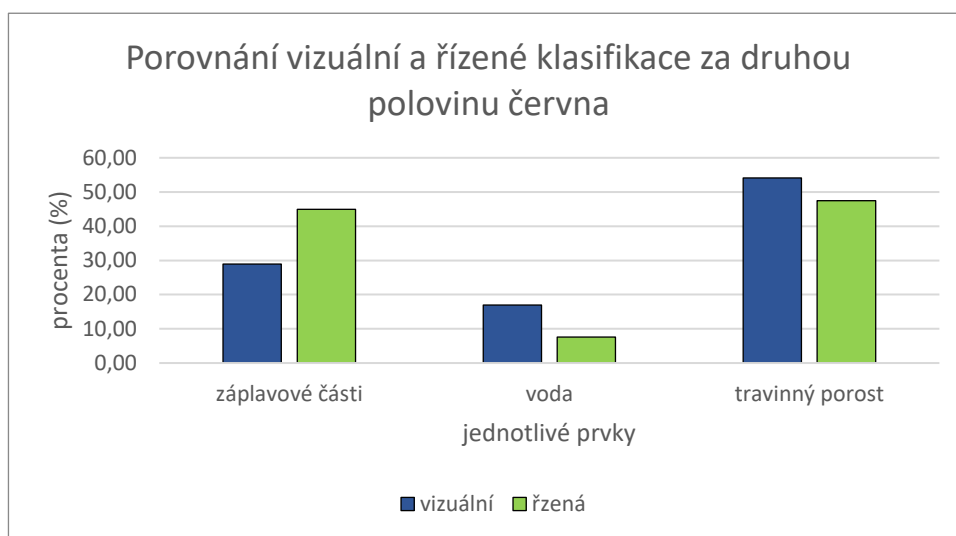
Následující grafy zobrazují porovnání vizuální a řízené klasifikace za jednotlivá období.



Obrázek 30 - Graf porovnání klasifikací za květen [vlastní]



Obrázek 31 - Graf porovnání klasifikací za první polovinu června [vlastní]



Obrázek 32 - Graf porovnání klasifikací za druhou polovinu června [vlastní]

Co se týče vizuální klasifikace, vždy závisí na pozorovateli, jak jednotlivé prvky vyhodnotí. V případě automatické klasifikace dochází k výběru trénovacích tříd na jejichž základě program vyhodnotí celkový snímek a rozdělí tak jednotlivé body do tříd prvků. Vizuální interpretace jednotlivých snímků byla náročnější z důvodu rozmanitosti území. Záplavové části byly tvořeny vegetací, která v některých případech zakrývala vodní plochy a zároveň také přerůstala do travinného porostu, jenž nepodléhal záplavám. Automatická klasifikace tento faktor vyhodnotila lépe.

V rámci porovnávání hodnot za měsíc květen je největší rozdíl mezi vizuální a řízenou klasifikací v případě vymezení záplavové části území. Rozdíl dosahuje 18,04 %. To může být způsobeno záměnou záplavové vegetace za vodu. Travný porost byl vyhodnocen velmi podobně, rozdíl činí pouhých 6,11 %. Některé části travinného porostu byly nejspíše vyhodnoceny jako záplavová oblast.

Data pro první polovinu června naznačují úbytek vody. Nízké srážky způsobily vyschnutí většiny tůní. O více než 15 % činí rozdíl mezi vizuální a automatickou klasifikací. To je způsobeno tím, že při automatické klasifikaci došlo ke špatnému zařazení záplavové oblasti. Ta byla milně klasifikována jako voda. Ostatní prvky vykazují rozdíly mezi automatickou a vizuální klasifikací pod 10 %.

Jako poslední je porovnání jednotlivých metod za druhou polovinu června, kde od jeho počátku došlo ke zvýšení plochy vody, což způsobilo zmenšení záplavových oblastí. Největší rozdíl, necelých 16 %, mezi klasifikacemi vykazují opět záplavové části území, z nichž některé části měly být klasifikovány jako voda.

Pro takto členité a nehomogenní území je třeba využít více klasifikačních metod. S ohledem na složitou identifikaci jednotlivých prvků v území se jeví automatická klasifikace jako přesnější metoda. V rámci této diplomové práce bylo vybráno relativně malé území pro následné využití pro digitalizaci a automatickou klasifikaci. Obě tyto metody měly podobný čas trvání.

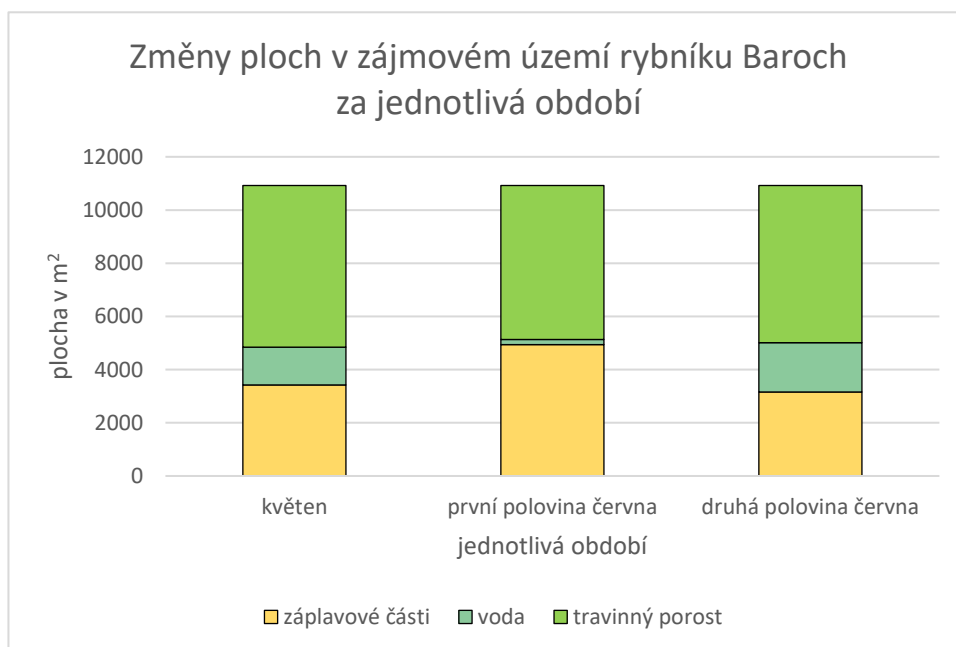
8. INTERPRETACE VÝSLEDKŮ

Celková výměra zkoumané části zájmového území byla 10925 m². Jak je vidět, z tabulky 6, mezi květnem a první polovinou června došlo k výraznému úbytku vody v důsledku malého množství srážek. To způsobilo nárůst záplavových částí, které v tomto období na snímku vynikly. Došlo i k redukci travinného porostu, což bylo nejspíše způsobeno záměnou za záplavové části území. Oproti tomu v druhé polovině června došlo ke zvýšení dešťových srážek a tím došlo ke zvětšení plochy vody, která v tomto období (v porovnání s ostatními) dosahovala svého maxima. Snížení plochy se týkalo pouze záplavových částí. Travinný porost oproti první polovině června svoji plochu zvýšil skoro na původní květnovou hodnotu.

Tabulka 6 - Plochy jednotlivých prvků za všechna období v m²

	květen	první polovina června	druhá polovina června
záplavové části	3427	4937	3158
voda	1421	196	1853
travinný porost	6077	5792	5914

Na následujícím obrázku 33 lze vidět grafickou podobu změn ploch prvků za jednotlivá období.



Obrázek 33 – Graf znázornění změn v zájmovém území za všechna období [vlastní]

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo detekovat změny v okolí malých vodních ploch na základě snímků z UAV.

Základní data, tedy snímky zájmového území, byla pořízena pomocí bezpilotního letounu DJI Phantom 3. Snímání území probíhalo v celkem třech časových obdobích, a to v květnu, začátkem června a v druhé polovině června roku 2020. K letovým misím docházelo v dopoledních hodinách a každá mise trvala přibližně stejnou dobu. Bepilotní letoun DJI Phantom 3 měl předem nastaven letový plán, aby bylo vždy snímáno stejné území.

Ze surových snímků byla vytvořena mozaika. Pro tvorbu mozaiky byly vybrány dva softwary, které bylo možné vyzkoušet na omezenou dobu zcela zdarma. Konkrétně šlo o Pix4D a 3Dsurvey. Oba programy byly schopné vytvořit použitelné mozaiky, avšak pro účely této práce byly vybrány mozaiky složené programem Pix4D, jelikož výstupní mozaika z programu 3Dsurvey za poslední sledované období vykazovala nepřesnosti.

Dalším krokem byl výběr části zájmového území, který sloužil k digitalizaci. Samotná digitalizace území probíhala v programu ArcGIS Pro. Monitorování změn v krajině probíhalo pomocí dvou různých metod, které byly na konci porovnány. V rámci hodnocení vegetace na zájmovém území byl vypočítán index NDVI, který slouží k detekci zeleně.

První metodou byla tzv. vizuální klasifikace obrazu. Cílem bylo vytvořit polygony odpovídající konkrétním prvkům v krajině. Jedná se o metodu založenou na vnímání a úsudku zpracovatele. V případě velkých ploch se jedná o časově velmi náročnou metodu. Nově vytvořené polygony sloužily k výpočtu plochy daných prvků.

Následovala druhá metoda, konkrétně šlo o automatickou řízenou klasifikaci. Dle trénovacích množin se program naučil rozřadit jednotlivé pixely do tříd a tím vytvořit klasifikovaný obraz.

Jedním z posledních činností byl výpočet ploch jednotlivých prvků jak pro výsledný obraz po vizuální klasifikaci, tak pro výsledek po automatické klasifikaci. Na základě nelehké identifikaci prvků „záplavové části“ a „voda“ docházelo při vizuální klasifikaci k záměnám těchto prvků. Pro metodu automatické klasifikace byla detekce těchto prvků snadnější a tím byla plocha jednotlivých prvků přesnější.

Obsah této diplomové práce může sloužit jako pomocník při práci s daty získanými bezpilotními letouny. Může dát náhled na to, jak s takovými daty dál pracovat a v neposlední řadě, jak je vyhodnotit a interpretovat.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] AFIF, Humam Abdurrasyid, ROKHMATULOH, Ratna SARASWATI, Revi HERNINA, HADIYANTO, BUDI WARSITO a MARYONO. UAV Application for Landslide Mapping in Kuningan Regency, West Java. *E3S Web of Conferences* [online]. 2019, **125** [cit. 2020-08-07]. DOI: 10.1051/e3sconf/201912503011. ISSN 2267-1242. Dostupné z: <https://www.e3s-conferences.org/10.1051/e3sconf/201912503011>
- [2] BANERJEE, Bikram Pratap, Simit RAVAL, Thomas J MASLIN a Wendy TIMMS. Development of a UAV-mounted system for remotely collecting mine water samples. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment* [online]. 2020, **34**(6), 385-396 [cit. 2020-08-07]. DOI: 10.1080/17480930.2018.1549526. ISSN 1748-0930. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17480930.2018.1549526>
- [3] CERMAKOVA, Ivana, Jitka KOMARKOVA a Pavel SEDLAK. Calculation of Visible Spectral Indices from UAV-Based Data: Small Water Bodies Monitoring. In: *2019 14th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)* [online]. IEEE, 2019, 2019, s. 1-5 [cit. 2020-08-07]. DOI: 10.23919/CISTI.2019.8760609. ISBN 978-9-8998-4349-3. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8760609/>
- [4] DOBROVOLNÝ, Petr. Dálkový průzkum Země: Digitální zpracování obrazu. Brno: MU Brno, 1998, 210 s. ISBN 80-210-1812-7.
- [5] DOBROVOLNÝ, Petr. *Předzpracování obrazových záznamů* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/podzim2009/Z8114/um/9018418/DZO_02_predzpracovani.pdf
- [6] DOBROVOLNÝ, Petr. *Předzpracování obrazových záznamů: Geometrická korekce obrazu* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/sci/podzim2009/Z8114/um/9018418/DZO_03_geometricka_kor.pdf
- [7] HAJDUK, Jan. *Návrh modelu zvoleného bezpilotního prostředku s umělou inteligencí* [online]. Zlín, 2019 [cit. 2020-08-06]. Dostupné z:

- https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/44003/hajduk_2019_dp.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [8] HOLČÍK, Jiří. *Signály, časové řady a lineární systémy*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2012. ISBN 978-80-7204-792-5. Dostupné také z: <https://www.iba.muni.cz/res/file/ucebnice/holcik-signaly-casove-rady-linearni-systemy.pdf>
- [9] CHEN, Shuobo, Yinwen CHEN, Junying CHEN, Zhitao ZHANG, Qiuping FU, Jiang BIAN, Ting CUI a Yizhe MA. Retrieval of cotton plant water content by UAV-based vegetation supply water index (VSWI). *International Journal of Remote Sensing* [online]. 2020, **41**(11), 4389-4407 [cit. 2020-08-07]. DOI: 10.1080/01431161.2020.1718234. ISSN 0143-1161. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01431161.2020.1718234>
- [10] KARAS, Jakub a Tomáš TICHÝ. *Drony*. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4680-4.
- [11] KRUPÍČKA, Svatopluk. *MAGNETISMUS: HISTORIE a SOUČASNOST: Od magnetitu a kompasu k magnetickému disku a spinovému tranzistoru*. [online]. Praha, 2007 [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: https://www.learned.cz/userfiles/pdf/prednasky-cleny-odborne/svatopluk.krupicka_0207.pdf
- [12] KŘÍŽ, Vlastimil. Inteligentní dopravní systémy: Právní aspekty provozu bezpilotních letadel – dronů. *Automa* [online]. 2016, (1) [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: http://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/54400.pdf
- [13] LANGHAMMER, Jakub. *DPZ: Základní principy, senzory, multispektrální data* [online]. 2003 [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: https://web.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/vtfg2/prednasky/dpz_1/DPZ_prednaska_1.pdf
- [14] LIANG, S. *Advances in Land Remote Sensing: System, Modeling, Inversion and Application*. Springer, 2008. ISBN 9781402064494
- [15] LILLESAND, Thomas M., Ralph W. KIEFER a Jonathan W. CHIPMAN. *Remote sensing and image interpretation*. Seventh edition. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, 2015. ISBN 978-1-118-34328-9.

- [16] LIU, Jian-Guo a Philippa J. MASON. Essential image processing and GIS for remote sensing. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 2009. ISBN 9780470510315.
- [17] PINKAVOVÁ, Šárka. *Využití metod a dat DPZ při tvorbě KPÚ* [online]. České Budějovice, 2008 [cit. 2020-08-06]. Dostupné z: https://theses.cz/id/nm0eti/downloadPraceContent_adipIdno_5680. Diplomová práce. Jihočeská Univerzita V Českých Budějovicích.
- [18] PLÁNKA, Ladislav. *Dálkový průzkum Země: Zpracování dat* [online]. Brno, 2007 [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: http://fast.darmy.net/opory%20-%20IV%20nMgr/HE05_M03-Dálkový%20průzkum%20Země%20-%20Zpracování%20dat.pdf
- [19] ROZPRÝMOVÁ, Bc. Jaroslava a Mgr. Milica SEDLÁČKOVÁ. *Metodika implementace Průřezového tématu Environmentální výchova I: Změny v krajině* [online]. Brno, 2007, , 4 [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <http://www.rezekvitek.cz/soubory/7-zmeny-v-krajine--f78.pdf>
- [20] RUTTEN, Anneleen, Jim CASAER, Marjolein F. A. VOGELS, Elisabeth A. ADDINK, Jeroen VANDEN BORRE a Herwig LEIRS. Assessing agricultural damage by wild boar using drones. *Wildlife Society Bulletin* [online]. 2018, **42**(4), 568-576 [cit. 2020-08-07]. DOI: 10.1002/wsb.916. ISSN 19385463. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/wsb.916>
- [21] SANKEY, Temuulen, Jonathon DONAGER, Jason MCVAY a Joel B. SANKEY. UAV lidar and hyperspectral fusion for forest monitoring in the southwestern USA. *Remote Sensing of Environment* [online]. 2017, **195**, 30-43 [cit. 2020-08-07]. DOI: 10.1016/j.rse.2017.04.007. ISSN 00344257. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425717301578>
- [22] SEDLAK, Pavel, Jitka KOMARKOVA, Oldrich MASIN a Jakub JECH. The Procedure for Processing Images from a Low-cost UAV. In: *2019 14th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)* [online]. IEEE, 2019, 2019, s. 1-4 [cit. 2020-08-07]. DOI: 10.23919/CISTI.2019.8760952. ISBN 978-9-8998-4349-3. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8760952/>
- [23] SONG, Bonggeun a Kyunghun PARK. Detection of Aquatic Plants Using Multispectral UAV Imagery and Vegetation Index. *Remote Sensing* [online].

- 2020, **12**(3) [cit. 2020-08-07]. DOI: 10.3390/rs12030387. ISSN 2072-4292.
Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/3/387>
- [24] SUO, Chen, Eugene MCGOVERN a Alan GILMER. UAV Data for Coastal Dune Mapping. In: *Proceedings of 10th International Conference "Environmental Engineering"* [online]. VGTU Technika, 2017, 2017-08-10, s. - [cit. 2020-08-07]. DOI: 10.3846/enviro.2017.245. ISBN 978-609-476-044-0.
Dostupné z: <http://enviro.vgtu.lt/index.php/enviro/2017/paper/view/181>
- [25] About Metashape. Agisoft [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <https://www.agisoft.com>
- [26] Baroch. *Turistika* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <https://www.turistika.cz/mista/baroch/detail>
- [27] Bezpilotní vojenské letouny pomáhají hasičům při požáru v Yosemiteském národním parku. *Požáry* [online]. 2013 [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <https://www.pozary.cz/clanek/68079-bezpilotni-vojenske-letouny-pomahaji-hasicum-pri-pozaru-v-yosemitskem-narodnim-parku/>
- [28] Fundamentals of Remote Sensing – Introduction, In: *Natural Resources Canada* [online]. 19.11.2015 [cit. 2019-10-31]. Dostupné z: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/satellite-imagery-air-photos/remote-sensing-tutorials/fundamentals-remote-sensing-introduction/9363>
- [29] Zpracování dat ze senzorů CASI a SASI. *Oddělení leteckých činností* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <http://olc.czechglobe.cz/zpracovani-dat/zpracovani-casi-a-sasi/>
- [30] Co je dron? *Droneweb* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/co-je-dron>
- [31] Historie dronů aneb Bezpilotní letouny v dějinách. *SCIENCEmag* [online]. 2018 [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <https://sciencemag.cz/historie-dronu-aneb-bezpilotni-letouny-v-dejinach/>
- [32] Co je to dron a jaké může mít využití? *Droni* [online]. 2016 [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <https://www.droni.cz/co-je-to-dron/>

- [33] Dromida multikoptéra VISTA - DIDE04YY. *Heureka* [online]. 2016 [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <https://drony.heureka.cz/dromida-multikoptera-vista-dide04yy/>
- [34] Předpisy pro létání s drony v ČR. *Droneweb* [online]. 2019 [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/legislativa-provozu-dronu/item/37-predpisy-pro-letani-s-drony-v-cr>
- [35] Co je to bezpilotní letadlo, bezpilotní systém, model letadla? *Úřad pro civilní letectví* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz/letadla-bez-pilota-na-palube/provoz-ostatnich-letadel-bez-pilota-na-palube/co-je-to-bezpilotni-letadlo-bezpilotni-system-model-letadla/>
- [36] Pravidla pro létání s drony 2020 (LEGISLATIVA). *Alza* [online]. 2020 [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/pravidla-pro-drony-legislativa>
- [37] Využití dálkového průzkumu Země. *CollGS* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <https://collgs.czechspaceportal.cz/vyuziti-dalkoveho-pruzkumu-zeme/>
- [38] Dálkový průzkum Země - DPZ. *GJS* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <http://www.gjs.cz/vedy-o-zemi/dpz.htm>
- [39] Co je to dron a jaké může mít využití? *Droni* [online]. 2016 [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <https://www.droni.cz/co-je-to-dron/>
- [40] *Geoportál ČÚZK* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(5h1jjxqpqqtymd14lq10znxf\)\)/Default.aspx?head_tab=sekce-01-gp&mode=Mapa&menu=11&news=yes&side=prohlizet#](https://geoportal.cuzk.cz/(S(5h1jjxqpqqtymd14lq10znxf))/Default.aspx?head_tab=sekce-01-gp&mode=Mapa&menu=11&news=yes&side=prohlizet#)
- [41] PR Baroch. *Východočeská pobočka České společnosti ornitologické* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <http://www.vcpcso.cz/pr-baroch/>
- [42] *OpenDroneMap* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <https://www.opendronemap.org>
- [43] *Pix4D* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <https://www.pix4d.com>
- [44] Pix4D. *Bezpilotne* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <https://bezpilotne.cz/pix4d/>
- [45] *3Dsurvey* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <https://www.3dsurvey.si>

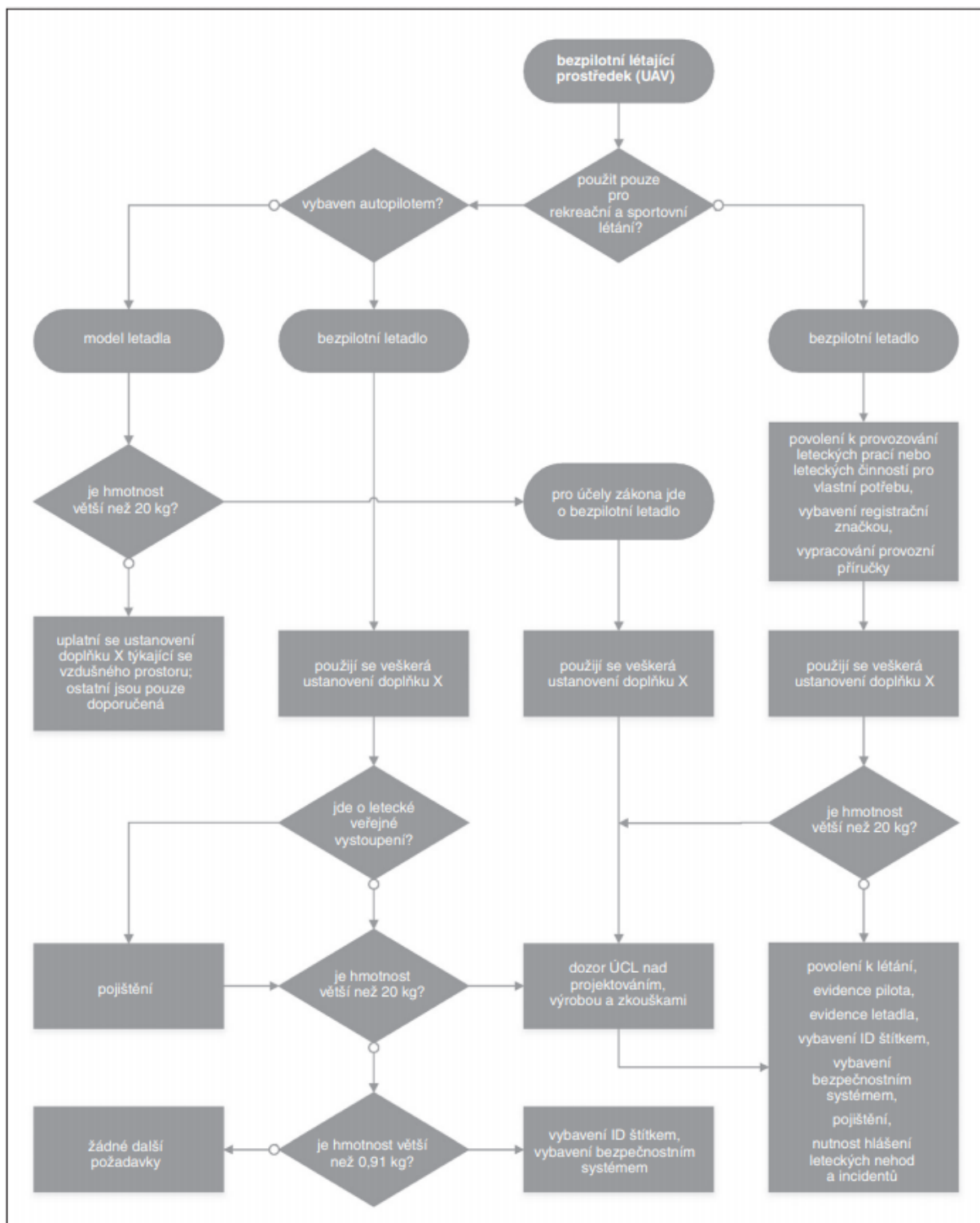
- [46] Pardubické Polabí, Baroch – přírodní rezervace. *Botany* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/baroch/>
- [47] Vystavuji se riziku nějakého postihu při provádění letů bez patřičných povolení? *Úřad pro civilní letectví* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz/letadla-bez-pilota-na-palube/provoz-ostatnich-letadel-bez-pilota-na-palube/vystavuji-se-riziku-nejakeho-postihu-pri-provadeni-letu-bez-patricnych-povoleni/>
- [48] Informace Ministerstva dopravy: Desatero očekávaných změn v pravidlech pro bezpilotní letadla (drony). *Droneweb* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/legislativa-provozu-dronu/item/352-drony-legislativa-ministerstvo-dopravy>
- [49] The Image Classification Wizard. *ArcGIS* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/analysis/image-analyst/the-image-classification-wizard.htm>
- [50] NDVI function. *ArcGIS* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/data/imagery/ndvi-function.htm>
- [51] ŠLAJCHRTOVÁ, Leona a ČTK. Obětí zemětřesení na Jávě už je skoro padesát, desítky lidí se pohřešují. *IDNES* [online]. 2009 [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/zpravy/zahranicni/obeti-zemetreseni-na-jave-uz-je-skoro-padesat-desitky-lidi-se-pohresuji.A090903_090400_zahranicni_btw
- [52] Dálkový průzkum Země. *Geografie* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <http://www.geografie.webzdarma.cz/dpz.htm>

PŘÍLOHY

Příloha 1 - Schéma pro kategorizaci dronů (Automa, 2016)	68
Příloha 2 - Porovnání automatické a vizuální klasifikace	68
Příloha 3 - Vlastní fotodokumentace zájmového území rybníku Baroch	68

PŘÍLOHA A

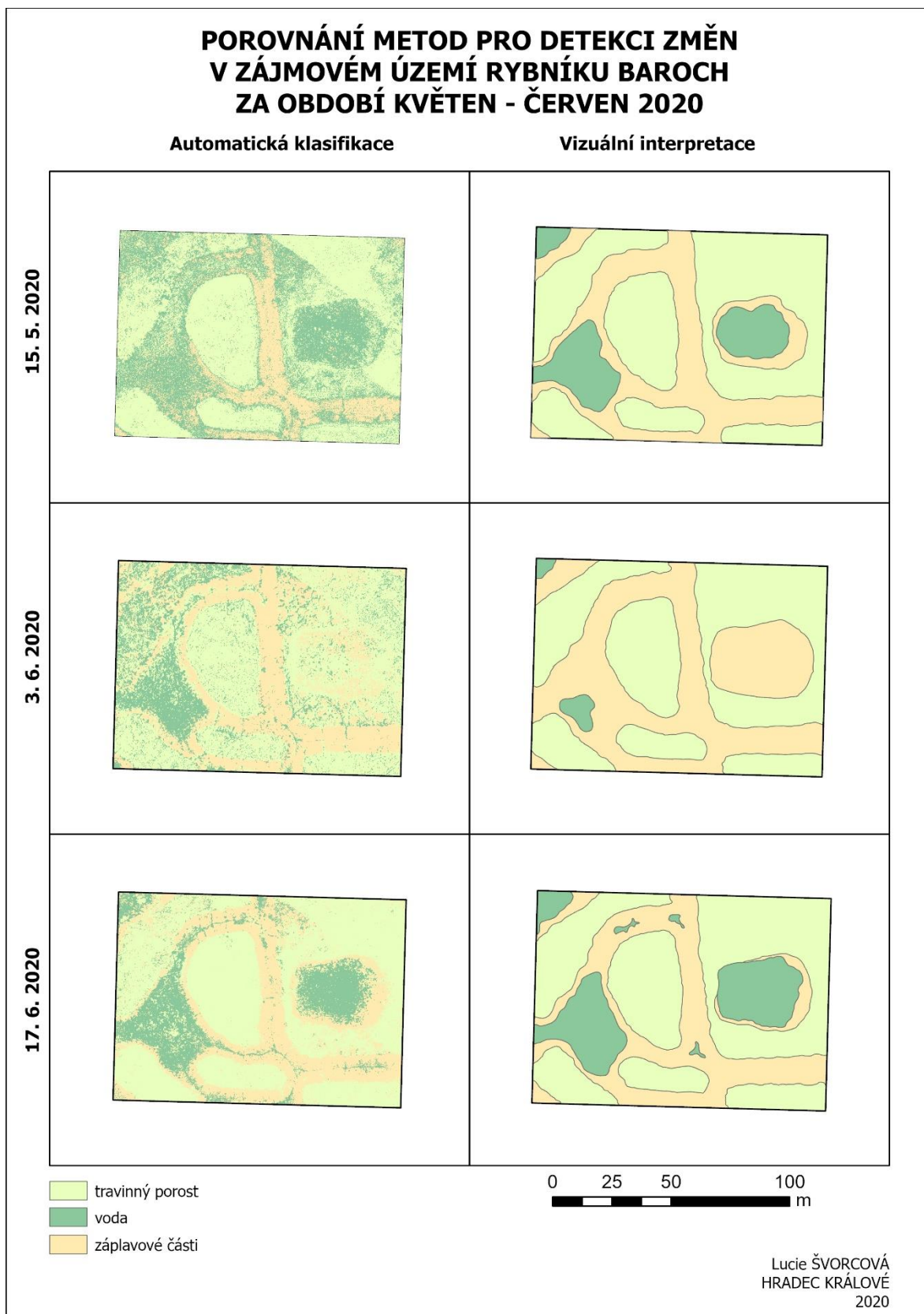
Schéma kategorizace dronů



Příloha 1 - Schéma pro kategorizaci dronů (Automa, 2016)

PŘÍLOHA B

Porovnání automatické klasifikace a vizuální interpretace



Příloha 2 - Porovnání automatické a vizuální klasifikace

PŘÍLOHA C

Vlastní aktuální fotodokumentace zájmového území





Příloha 3 - Vlastní fotodokumentace zájmového území rybníku Baroch