

**UNIVERZITA PARDUBICE**

---

**Fakulta ekonomicko - správní**

**Využití UAV pro identifikaci změn v krajině**

**Ondřej Frodl**

**Diplomová práce**

**2021**

Prohlašuji:

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

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

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací ve znění pozdějších požadavků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 30.6.2021

Bc. Ondřej Frodl

Univerzita Pardubice  
Fakulta ekonomicko-správní  
Akademický rok: 2020/2021

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej Frodl**  
Osobní číslo: **E18820**  
Studijní program: **N6209 Systémové inženýrství a informatika**  
Studijní obor: **Informatika ve veřejné správě**  
Téma práce: **Využití UAV pro identifikaci změn v krajině**  
Zadávací katedra: **Ústav systémového inženýrství a informatiky**

### Zásady pro vypracování

Cílem práce je na příkladu zvoleného zájmového území navrhnout vhodný postup pro zpracování dat získaných s využitím UAV. Součástí práce bude i interpretace výsledků a jejich vizualizace.

Osnova:

- Dálkový průzkum Země.
- UAV a jeho využití.
- Identifikace změn v krajině na základě metod dálkového průzkumu Země.
- Charakteristika zájmového území.
- Získání a předzpracování dat.
- Zpracování, vizualizace a interpretace výsledků.

Rozsah pracovní zprávy: **cca 55 stran**  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

#### Seznam doporučené literatury:

DOBROVOLNÝ, Petr. Dálkový průzkum Země. Vyd. 1. v Brně: Masarykova univerzita, 1998, 208 s., ISBN 80-210-1812-7  
HALOUNOVÁ, Lena, PAVELKA Karel. Dálkový průzkum Země. Vyd. 1. v Praze: ČVUT, 2008, 192 s., ISBN 978-80-01-03124-7  
JENSEN, John R. Introductory digital image processing a remote sensing perspective 4th. ed. Boston: Pearson Education, Incorporated, 2016, 623 s., ISBN 978-0-13-405816-0  
LAWHEAD, Joel. Learning geospatial analysis with Python 1st. ed. Birmingham: Pact Publishing, 2013, 346s., ISBN 978-1-78328-113-8  
MIRŇJOVSKÝ, Jakub. Bezpilotní systémy – sběr dat a využití ve fotogrametrii. Vyd. 1. v Olomouci: Univerzita Palackého, 2013, 169 s., ISBN 978-80-244-3923-5

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jitka Komárková, Ph.D.**  
Ústav systémového inženýrství a informatiky

Datum zadání diplomové práce: **1. září 2020**  
Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2021**

L.S.

**prof. Ing. Jan Stejskal, Ph.D.** v.r.  
děkan

**RNDr. Ing. Oldřich Horák, Ph.D.** v.r.  
vedoucí ústavu

V Pardubicích dne 1. září 2020

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval paní docentce Jitce Komárkové za zvolený přístup během celé tvorby diplomové práce, její čas a ochotu, postřehy, připomínky, poskytnuté rady a materiály. Dále bych rád poděkoval panu inženýrovi Jakobovi Jechovi, za praktické rady ohledně práce v použitém softwarovém nástroji a jeho následný zájem.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce je zaměřena na identifikaci změn v krajině pomocí bezpilotních letadel (Unmanned Aerial Vehicle – UAV) na zájmovém území. V první části práce je popsán dálkový průzkum Země, popis UAV a příslušné legislativy, definování změny v krajině a popis zájmového území. Druhá část práce popisuje způsob získávání dat, jejich předzpracování a následné zpracování. Dále jsou v práci interpretovány zjištěné výstupy.

## **Klíčová slova**

Dálkový průzkum Země, UAV, zájmové území, identifikace změn, klasifikace, poměrové indexy.

## **Abstract**

This diploma thesis is focused on the identification of changes in the landscape using unmanned aerial vehicles (UAV) in the area of interest. The first part of the thesis describes remote sensing, a description of the UAV and relevant legislation, defining the change in the landscape and a description of the area of interest. The second part describes the method of data acquisition, preprocessing and subsequent processing. Furthermore, the results are interpreted in the work.

## **Key words**

Remote sensing, UAV, area of interest, identification of changes, classification, ratio indices.

# Obsah

Úvod.....	8
1. Dálkový průzkum Země.....	9
1.1. Historie DPZ.....	10
1.2. Základní princip DPZ.....	11
1.3. Fyzikální princip DPZ.....	12
1.4. Sběr dat v závislosti na šíři spektra.....	14
2. UAV a jeho využití.....	15
2.1. Historie UAV.....	16
2.2. Klasifikace UAV.....	17
2.3. Využití UAV.....	17
2.4. Legislativa UAV.....	19
3. Identifikace změn v krajině na základě metod dálkového průzkumu Země.....	20
3.1. Zpracování digitálních dat.....	21
3.2. Bodové zvýraznění.....	21
3.3. Filtrace.....	22
3.4. Barevná syntéza.....	22
3.5. Spektrální indexy.....	23
3.5.1. Rozdílové indexy.....	23
3.5.2. Poměrové indexy.....	24
3.5.3. Ortogonální indexy.....	26
3.6. Klasifikace.....	26
3.6.1. Metoda klasifikace OBIA.....	27
3.6.2. Metoda klasifikace Per – pixel.....	28
3.6.3. Řízená klasifikace.....	28
3.6.4. Neřízená klasifikace.....	29
3.6.5. Neuronové sítě.....	29
4. Identifikace změn v krajině.....	30
4.1. Zájmové území.....	30
4.2. Získání a předzpracování dat.....	33
4.3. Postup pro zpracování dat.....	34
4.3.1. Georeferencování.....	35
4.3.2. Oříznutí zájmového území.....	36
4.3.3. Digitalizace zájmového území.....	37
4.3.4. Výpočet indexů.....	38
4.3.5. Klasifikace.....	40
4.3.6. Přesnost klasifikací.....	43
4.3.7. Návrh postupu zpracování dat.....	47
4.4. Vizualizace a interpretace výsledků.....	47
4.4.1. Zhodnocení zájmového území v lednu.....	48
4.4.2. Zhodnocení zájmového území v únoru.....	49
4.4.3. Zhodnocení zájmového území v březnu.....	50
4.4.4. Zhodnocení zájmového území v dubnu.....	51
4.4.5. Celkové zhodnocení.....	52
Závěr.....	53
Seznam literatury.....	54

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - systém DPZ .....	12
Obrázek 2 - elektromagnetické záření .....	13
Obrázek 3 - specifické hodnoty .....	25
Obrázek 4 - schéma zpracování .....	30
Obrázek 5 - letecký snímek zájmového území .....	31
Obrázek 6 - digitalizovaná podoba zájmového území .....	32
Obrázek 7 - Zájmová oblast po klasifikaci .....	32
Obrázek 8 - Mozaiky jednotlivých měsíců .....	34
Obrázek 9 - přidávání řídicích bodů .....	35
Obrázek 10 - Oříznutí zájmového území .....	37
Obrázek 11 - digitalizace zájmového území .....	38
Obrázek 12 - Výpočty indexů pro měsíc duben .....	40
Obrázek 13 - Klasifikace Maximum Likelihood .....	41
Obrázek 14 - Klasifikace Support Vector Machine .....	42
Obrázek 15 - Shluk ISO - 10 tříd .....	43
Obrázek 16 - návrh postupu zpracování .....	47
Obrázek 17 - vizualizace měsíce ledna .....	48
Obrázek 18 - vizualizace měsíce února .....	49
Obrázek 19 - vizualizace měsíce března .....	50
Obrázek 20 - vizualizace měsíce dubna .....	51

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Chybová matice pro klasifikátor ISO měsíce února .....	44
Tabulka 2 - hodnoty kappa koeficientů .....	45
Tabulka 3 - Finální zpracování .....	46



# Úvod

V dřívějších dobách bylo pozorování krajiny velice omezené. Pozorovatel měl možnost rozhledu pouze z vyvýšených míst, jako byly vyhlídky nebo vzrostlé stromy. Navíc tento pohled velice rychle ukončila nerovnost terénu a pozorované území bylo relativně malé. Takto získané informace o krajině mohly být nepřesné a zkreslené.

V průběhu 20. století, v souvislosti s válkami a potřebou mocností získat technologický náskok, došlo k překotnému rozvoji letectví, raketových a špionážních technologií. Tyto technologie, určené původně pro válečné účely, začaly pronikat do běžného lidského života a daly vzniknout novým odvětvím. Díky tomu došlo k rozvoji meteorologie, mapování, geologie a řadě dalších odvětví, pro které je výhodné získávání informací z výšky.

V průběhu 20. století se také poprvé objevují bezpilotní letouny. Následně v 21. století, spolu s rozvojem počítačových technologií a bateriových systémů, se tyto letouny, tzv. drony, rozšířily do široké škály lidských činností. Drony jsou dnes využity v celé řadě komerčních a rekreačních aktivit.

Bezpilotní letadlo není v dnešní době žádný problém zakoupit, ale majitel, resp. pilot, naráží na legislativu. Provoz dronu ke komerčním nebo experimentálním účelům podléhá registraci. Každý pilot, pro možnost létání s dronem, musí absolvovat pilotní zkoušky a získat licenci. Problematiku dronů řeší Úřad pro civilní letectví.

Dron bývá velice často osazen snímacím zařízením. Ve většině případů se jedná o běžná optická zařízení, která pořizují záběry ve viditelném spektru světla. Mimo to je ale možné stroj osadit senzory a snímači, které mohou pořizovat snímky i v dalších částech spektra. K typickému využití dronu, pro experimentální nebo komerční účely, patří snímání zájmového území během letu a vyhodnocení změn oproti předešlému období. Tyto změny jsou buď náhlé, z důvodu živelné příčiny, nebo pozvolné, které jsou zaznamenány v delším časovém horizontu a mohou souviset například se změnou ročního období.

Cílem této diplomové práce je identifikovat a správně interpretovat změny v krajině na konkrétním zájmovém území rybníka Skříň. K těmto účelům byla využita data získaná pomocí UAV.

# 1. Dálkový průzkum Země

Dálkový průzkum Země (dále DPZ), v mezinárodní literatuře remote sensing, je multioborová vědní disciplína, která se zabývá získáváním potřebných informací o sledovaném objektu bez přímého fyzického kontaktu. Jedná se především o sběr informací z výšky, kdy dle požadovaného výstupu je volen nosič snímacího zařízení (senzor) a senzor jako takový. Činnosti DPZ je možné rozdělit na sběr, předzpracování, zpracování a interpretaci dat. Vzhledem ke skutečnosti, že interpretace výstupů záleží z velké části na zkušenostech, znalostech a logice osoby, která vyhodnocení provádí, a jejíž procesy učení a rozhodování není možné empiricky vyjádřit, je na DPZ nahlíženo také jako na umění. (Schejbal a kolektiv, 2004; Eugenio a kolektiv, 2014)

Zajímavý přírůstek pro přiblížení DPZ širší veřejnosti uvádí Eugenio a kolektiv (2014), kde převádí DPZ do běžného života. Eugenio přirovnává DPZ ke čtení z monitoru, kde monitor je sledovaný objekt a oči senzory. Tyto senzory přijmou záření z monitoru a předají ho dále ke zpracování do mozku. Čtenář tak získává potřebné informace bez fyzického kontaktu s objektem, ale snímá z dálky elektromagnetické vlnění.

Termín dálkový průzkum Země (DPZ) se objevil v 50. letech 20. století a nahradil tak do té doby užívaný název letecká fotografie, který již v tu chvíli neodpovídal realitě. Podstatou letecké fotografie je snímání zájmového objektu ve viditelném spektru světla. Vědní obor zabývající se zpracováním leteckých fotografií se nazývá fotogrammetrie a je součástí DPZ. Každý fyzikální objekt s teplotou vyšší než  $0^{\circ}\text{K}$  vyzařuje elektromagnetické záření – vlnění. V závislosti na vlnové délce je možné hovořit o viditelném a neviditelném spektru, kde u DPZ se dají získávat a zpracovávat informace, které jsou pořízeny jak ve viditelném spektru, tak i mimo něj, což je detailněji popsáno dále. (Schejbal a kolektiv, 2004)

Za více než 60 let historie DPZ získal tento obor celou řadu definic. Mezi ty nejznámější a často se opakující v odborné literatuře patří definice Lillesanda a Kiefera, nebo Andrewa Bashfielda.

- Dálkový průzkum je věda i umění získávat užitečné informace o objektech, plochách či jevech prostřednictvím dat měřených na zařízení, která s těmito zkoumanými objekty, plochami či jevy nejsou v přímém kontaktu. (Lillesand a Kiefer, 2007)

- Dálkový průzkum je nejdražší způsob, jak vytvořit obrázek. (Andrew Bashfield, Integraph Corporation)

## 1.1. Historie DPZ

Dálkový průzkum Země se jako samostatná vědní disciplína rozvíjí od 50. let 20. století. DPZ ovšem využívá poznatky a objevy, které je možné datovat do dřívější doby. Halounová a Pavelka (2008), shodně jako Dobrovolný (1998), se při vysvětlování historických souvislostí vrací do druhé poloviny 17. století a provází nás významnými objevy a vynálezy až do konce 90. let 20. století.

V roce 1666 sir Isaac Newton dokázal pomocí optických hranolů rozložit světlo na jednotlivé barvy a opět ho složit zpět. Tímto pokusem bylo dokázáno, že barva je vnitřní vlastností světla.

Dalším významným fyzikem, kterého v souvislosti s DPZ zmiňuje řada autorů, je William Herschel. Tento vědec pomocí rozkladu světla a měření teplot prokázal, že každé z pásem viditelného spektra má jinou teplotu. Při svém pokusu William Herschel také umístil teploměr i za okraj červeného světla, kde měřená teplota byla nejvyšší. Tímto bylo prokázáno záření mimo viditelné spektrum, které dostalo název infračervené. (Dobrovolný, 1998; Herschel Space Observatory, 2021)

V roce 1847 Armand Hipopolyte, Louis Fizeau a Jean Bernard Léon Foucault prokázali, že infračervené záření má podobné vlastnosti jako viditelné spektrum světla.

James Clerk Maxwell v roce 1865 objevil, že viditelné spektrum světla je elektromagnetické záření v určitém rozsahu frekvencí. Následně představil v roce 1873 svoji teorii elektromagnetického záření. Sjednocení elektrických a světlených jevů vedlo k předpovědi rádiových vln. (Physicword, 2006)

Krom teoretických poznatků v oblasti fyziky bylo v nedávné historii zkonstruováno množství zařízení, která pomáhala formovat DPZ do dnešní podoby. Halounová a Pavelka (2008) a Dobrovolný (1998) začínají rokem 1839, kdy došlo k vynálezu fotografie. Jména s tímto spjatá jsou Nicephore Niepce, William Henry Fox Talbot a Louis Jacques Mande Daguerre. Na základě vynálezu fotografie bylo v následujících letech vyhotoveno několik fotografií, kde nosičem byly horkovzdušné balony nebo draci. V roce 1903 si dal J. Neubrone

patentovat svůj vynález – umístění kamer na holuby. Ať již byl nosič zařízení jakýkoliv, získané informace pomocí fotografování z výšky byly ohromující. Snímkování prováděné z výšky přinášelo novou perspektivu, a mělo velkou informační hodnotu.

Období světových válek, ale i meziválečné období, zaznamenalo velký rozmach letectví. Letecké snímkování bylo využito v celé řadě průmyslových odvětví a samozřejmě také pro vojenské účely. Již v roce 1956 byl používán barevný infračervený film, který mimo viditelné spektrum světla snímal scénu také v oblasti neviditelného spektra. Pomocí předmětného snímání bylo možné velice dobře mapovat zdravotní stav vegetace. (Halounová a Pavelka, 2008; Cambell a Wynne, 2011)

S koncem 2. světové války je spjat počátek letů do vesmíru, které byly studenou válkou posunuty na ideologickou hranici. USA a SSSR soupeřily v dobývání vesmíru. Od roku 1957 bylo do vesmíru vypouštěno velké množství družic, provádějí se pilotované lety, začalo se sledovat počasí a realizovat se snímkování planety z vesmíru. (Cambell a Wynne, 2011; Jensen, 2015)

Za přelom se uvádí vypuštění družice ERTS-1 z roku 1972. Jednalo se o faktický nástup DPZ v civilní sféře. Následovaly další družice LANDSAT, KOSMOS, ERS, IRS-1A, až po nejmodernější komerční družici Pleides Neo 3. (Dobrovolný, 1998; Eugenio a kolektiv, 2014; Kosmonautix, 2021)

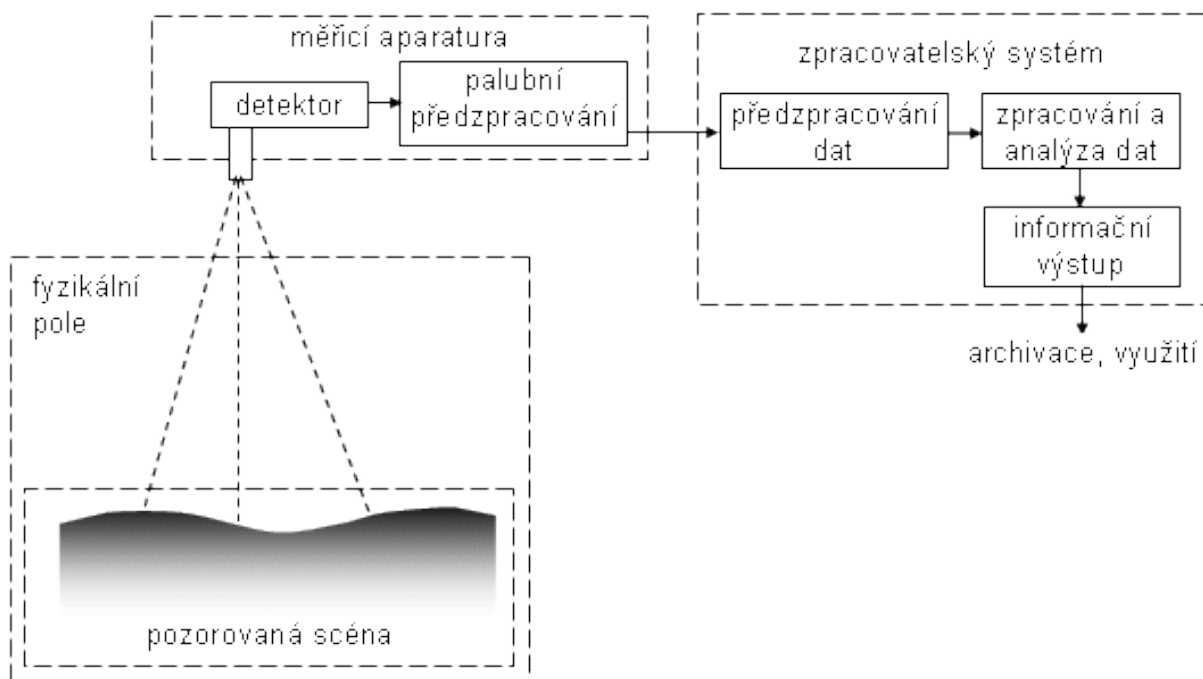
V dnešní době je DPZ velice progresivní obor, který je využíván v nepřeberném množství lidských činností a oborů. Za přibližně 150 let od vzniku černobíle fotografie z balonu, se tento obor vyvinul přes holuby a draky do dnešní podoby, kdy jako nosiče jsou používány letadla, drony a družice. Jako snímací zařízení slouží senzory, které snímají rozsah od viditelného spektra až po hyperspektrální s velice vysokým rozlišením.

## **1.2. Základní princip DPZ**

Základním principem DPZ je měření elektromagnetických vln vyzařovaných (odrážených) zemským povrchem. Zdrojem tohoto záření je každý objekt, který má vyšší teplotu, než je absolutní nula. Systém DPZ je možné rozdělit do čtyř základních složek (Schejbal a kolektiv 2004; Plánka, 2021):

- Jako první složka je označováno zájmové území, což je oblast, která je při konkrétní činnosti objektem zkoumání. Z pravidla se jedná o vymezenou plochu, nebo konkrétní objekt.
- Druhou složku systému DPZ tvoří energetické zdroje, což je fyzikální pole Země a zdroje elektromagnetických a mechanických vln.
- Třetí složkou je měřicí aparatura, která je schopná nasnímat zájmové území. Mezi tuto aparaturu jsou řazeny různé kamery, fotoaparáty a jiná zařízení obecně nazývaná detektory (senzory).
- Poslední, čtvrtou složkou, je zpracovatelský systém. Výstupem z této složky jsou podkladové materiály, které poskytují potřebné informace a jsou nápomocny při rozhodování v daném problému.

Výše zmíněný systém dálkového průzkumu Země je schematicky zobrazen níže, na obrázku číslo 1.



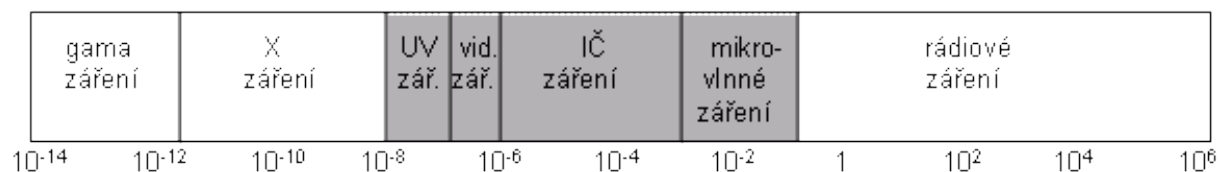
Obrázek 1 - systém DPZ

*Zdroj: Schejbal a kolektiv (2004)*

### 1.3. Fyzikální princip DPZ

Fyzikální princip DPZ vychází ze skutečnosti, že hmotné objekty o nenulové teplotě, tedy teplotě vyšší, než je  $0^\circ \text{ K}$ , emitují elektromagnetické vlny různých délek a o různé frekvenci. Vlnová délka se měří v metrech nebo jednotkách z metrů odvozených a značíme ji  $\lambda$ . Celý

rozsah elektromagnetického vlnění je nazýván elektromagnetickým spektrem. Elektromagnetické spektrum nabývá hodnot od  $\lambda = 10^{-16}$  m až k dlouhým vlnám, které nejsou z vrchu nijak omezeny.



Obrázek 2 - elektromagnetické záření

*Zdroj: Schejbal a kolektiv (2004)*

Pro dálkový průzkum Země je využívána pouze určitá část spektra, viz obr 2. Jedná se o UV záření, viditelnou část spektra, infračervené záření a mikrovlny. Vymezení jednotlivých částí spektra z hlediska vlnové délky se u jednotlivých autorů může lišit, princip ale zůstává shodný. Pro získání informací s užitím UV záření nebo mikrovlnného záření je ve většině případů užitá aktivní metoda – aktivní zářiče, které emitují předmětné vlny. V případě potřeby získání informací ve viditelném spektru světla, případně infračerveném, je využíván přírodní zdroj záření. (Cambell a Wynne, 2011; Schejbal a kolektiv, 2004; Dobrovolný 1998; Eugenio a kolektiv, 2014)

- Ultrafialové záření nabývá hodnot vlnových délek v rozmezí 0,1 – 0,4  $\mu\text{m}$ . Jedná se o záření, které je silně pohlcováno atmosférou. Pro člověka je předmětné záření neviditelné, ovšem řada živočichů je schopna UV záření vnímat. Ultrafialové záření se rozděluje podle vlnových délek na šest podkategorií. V DPZ se používají především aktivní UV zářiče. UV záření je vhodné pro geologické účely. Slouží také ke studiu atmosfér planet, případně povrchů planet bez atmosfér. UV záření částečně prochází vodním sloupcem.
- Viditelné spektrum nabývá vlnových délek v rozmezí 0,4  $\mu\text{m}$  až 0,7  $\mu\text{m}$ . Základní barvy jsou červená, zelená a modrá. Toto spektrum registruje lidské oko. S tímto spektrem pracují všechny konvenční metody a většina družicových systémů. Jedná se o historicky nejvyužívanější spektrum. V mnoha aplikacích však není jeho využití výhodné. Viditelné spektrum lze zaznamenat pouze v denních hodinách, navíc neprochází mlhou a oblačností.
- Infračervené záření blízké je záření s vlnovými délkami o rozsahu 0,7 – 1,4  $\mu\text{m}$ . Využívá se obdobně jako viditelná část spektra. Tvoří pokračování atmosférického

okna a je možné ho zaznamenávat běžnými prostředky jako je fotoaparát nebo kamera. Toto záření je méně pohlcováno atmosférou, z tohoto důvodu jsou výstupy ostřejší. Využívá se pro studium vegetace.

- Infračervené záření střední je záření s vlnovými délkami o rozsahu 1,4 – 3  $\mu\text{m}$ . Toto záření je důležité pro studium geologické a vegetační. Velice dobře lze díky němu rozlišit sníh a led, odlišit druhy vegetace a určit její zdravotní stav.
- Tepelné záření o vlnových délkách v rozmezí 3  $\mu\text{m}$  – 1 mm poskytuje informaci o teplotě zkoumaného objektu. Tato teplota přesahuje hodnotu odraženou. Používá se v kombinaci s leteckou fotografií a vždy je potřeba využít atmosférické korekce. Používá se pro mapování teploty oceánů, tepelného znečištění řek, k lokalizaci lesních požárů a podobně.
- Mikrovlnné záření je záření o vlnových délkách v rozmezí 1 mm – 1 m. Toto záření je využíváno především metodou aktivního vyzařování pomocí radarů. Dle délky vlny je možné pomocí mikrovlnného záření pronikat pod povrch, pronikat oblačností nebo naopak zjišťovat možnost výskytu srážek. Užití je ve vojenství, meteorologii, topografii a dalších odvětví.

## 1.4. Sběr dat v závislosti na šíři spektra

V obecné rovině je možné tvrdit, že cílem DPZ je obrázek, na jehož základě dochází k interpretaci získaných informací. Každý objekt, který je cílem snímání, má různou odrazivost. Pomocí této veličiny lze měřit množství odraženého záření ze zájmového území, kde každý jednotlivý objekt má v určitých částech spektra typické hodnoty. Vzhledem ke skutečnosti, že každá látka má své specifické vlastnosti, je možné při použití vhodného spektrálního zobrazení zvýraznit celou řadu informací, které jsou buď obtížně, nebo nejsou, rozpoznatelné pro lidské oko. Lze zvýraznit hranice mezi objekty, určit zdravotní stav vegetace, zjistit zdroje tepla a mnoho dalšího.

Vzhledem k elektromagnetickému záření je rozlišováno několik základních druhů sběru dat v závislosti na vlastnostech snímače a spektrálnímu rozlišení tohoto zařízení. Jedná se o RGB data (viditelná část spektra), panchromatická data (odstíny šedi), multispektrální a hyperspektrální data.

- RGB – Jedná se o barevné snímkování rozdělené na tři vrstvy – červenou, zelenou a modrou. Z těchto barev je pomocí syntézy možné vytvořit jakýkoliv barevný odstín.
- Panchromatické snímkování – Snímky jsou získávány zachycením celého viditelného a blízkého infračerveného světla do jedné vrstvy. Výsledkem je černobílý snímek.
- Multispektrální snímkování – O multispektrálním snímkování hovoříme v případě, kdy jsou data získána z několika jednotek až nízkých desítek částí spektra, která jsou od sebe oddělena.
- Hyperspektrální snímkování – Je obdobné jako multispektrální snímkování. Počet snímaných pásem je ve vyšších desítkách až stovkách. Výsledkem je tzv. hyperspektrální kostka.

## 2. UAV a jeho využití

UAV je zkratkou pro Unmanned Aerial Vehicle nebo v této souvislosti lze také hovořit o dronu (z anglického Drone). Dron je bezpilotním letadlem. Jedná se o zařízení, které na své palubě nemá lidskou osádku a je uzpůsobeno pro opakované lety. Tento stroj může být řízen operátorem, jehož vzdálenost v současné době není technologicky omezená. Další možností je vytvoření letového plánu a na základě daného programu dron absolvuje let bez zásahu operátora. Let může být také ovlivněn využitím dynamického autonomního systému. (Wagner, 2015; Droneweb, 2021)

Počátek bezpilotních řízených letadel se datuje do roku 1916, tedy do období 1. světové války. Řízená bezpilotní letadla byla dále rozvíjena a zdokonalována, a to především v průběhu dalších válečných konfliktů. Za více než sto let své existence se z nespolehlivých a špatně ovladatelných zařízení staly špičkové stroje, které jsou dnes schopny pracovat samostatně se zapojením prvků umělé inteligence. UAV, krom vojenských účelů, našly svoje uplatnění v nepřeberném množství lidských činností. Bepilotní letadla se používají pro vědecké a studijní účely, prudce o ně roste zájem v komerční sféře a mají svoje místo také v rekreačních činnostech člověka. Na základě vykonávané činnosti je zapotřebí zvolit stroj správné konstrukce a potřebné vybavení. Likvidátor pojistné události potřebuje jiné zařízení než člen modelářského kroužku. Je tedy vhodné jednotlivé drony rozdělit. Nejčastější dělení je podle účelu a konstrukce. Létání s UAV podléhá právním normám, povinnostem a omezením, které



vycházejí z konstrukce a účelu. (Khan a Al-Mulla, 2019; Droneweb, 2021; Úřad pro civilní letectví, 2021)

## 2.1. Historie UAV

Snahu vytvořit mechanický létající stroj je možné dohledat v období antiky, kde Archytas z Torinta navrhl mechanickou kachnu, která měla být schopna letu. V průběhu dalších století vznikaly různé koncepce a vynálezy. Jednalo se o vrtulové stroje, bezposádková vozidla nebo například říditelné balony. (Prisacariu, 2017)

Jako první letoun bez posádky, který byl ovládán ze země, je vynález Archibalda Montgomeryho Lova pojmenovaný Aerial Target z roku 1916. V průběhu 1. světové války bylo vyvinuto několik dalších dálkově říditelných létajících strojů, které byly používány v podstatě jako létající bomby. V meziválečném období vojenské mocnosti pokračovali ve vývoji. Za zmínku stojí stroj Queen Bee, který byl vyroben v Anglii a je mnohými považován za první moderní dron. Queen Bee se používal pro výcvik letců a ohromil amerického admirála Williama Harrisona Standleyho, který spustil americký program vývoje dronů. V průběhu 2. světové války byly nasazeny bezpilotní bombardéry. Jejich použití ovšem nebylo významné a účinnost byla nízká. Obdobně se dá ohodnotit nasazení bezpilotních letadel během korejské války. Zlom nastal během války ve Vietnamu. Od roku 1964 americká armáda nasadila bezpilotní letadla Ryan-Q2 Firebee osazená zařízeními pro denní fotografování, noční fotografování a zařízením pro vypouštění letáků s propagandistickými texty. Tato letadla byla nasazena nad Vietnamem, Čínou i Sovětským svazem. Významný zlom je ve skutečnosti, že se bezpilotní letouny začaly používat jako zdroje informací a je možné hovořit o DPZ. Přínos bezpilotních průzkumných letadel byl značný. Do konce 20. století se podíl bezpilotních průzkumných letadel pro vojenské účely zvýšil na bezmála 20 %. Z původních létajících bomb byly vytvořeny komplexní systémy, které mohou provádět průzkum, přepravovat náklad nebo také samostatně zabít člověka na základě vlastního rozhodnutí. (Palik a Naté, 2019; Droneweb, 2021; Prisacariu, 2017)

Z počátku vývoje UAV se jednalo primárně o vojenské zařízení. V první polovině 20. století byl realizován pokus o využití bezpilotních letounů pro získávání údajů o počasí. Toto se ale příliš neosvědčilo a pro jiná, než vojenská užití si UAV muselo počkat několik desítek let. V důsledku nástupu elektronizace a miniaturizace došlo k rozšíření dronů do takřka všech

oblastí lidské činnosti. Množství bezpilotních letadel v soukromé sféře strmě roste. (Palik a Naté, 2019; Droneweb, 2021; Prisacariu, 2017)

## **2.2. Klasifikace UAV**

Existuje značné množství kritérií, podle kterých se dají rozdělit bezpilotní letouny. Základní podstatné dělení je na UAV vojenské a nevojenské. Velice důležitá je konstrukce UAV, kde se primárně rozlišují multikoptéry a letouny. Vzhledem k právním normám je také zapotřebí rozdělit UAV dle hmotnosti a způsobu užití.

Singhal a kolektiv (2019) dělí UAV dle konstrukce na multikoptéry a letouny s fixními křídly. Multikoptéra má určitý počet vrtulí. Dle Singhala a kolektiv (2019) se jedná o minimálně tři a tento stroj se nazývá tricopter. Je schopna vertikálního startu i přistání. Karas a Tichý (2016) popisují multikoptéru jako zařízení, které má nepřeberné množství využití, a to od rekreace až po vědecké účely. Výhodou multikoptér je jejich univerzální použití a možnost osazení různými druhy snímacího zařízení. Multikoptéru je také možné naprogramovat k automatickému letu. Nevýhodou je relativně krátká doba, po kterou může zůstat ve vzduchu vzhledem k obtížnému pohybu a vlastní hmotnosti. Singal a kolektiv (2019) dále uvádějí, že multikoptéra je omezena hmotností do 50 kilogramů.

Oproti tomu dle Singhala a kolektiv (2019) není v podstatě letoun s fixními křídly hmotnostně omezen. Další významný rozdíl je ve způsobu startu, kde letoun s fixními křídly vzlétá pomocí dopředného pohybu, který může být podobný startu letadla s osádkou. Případně v závislosti na hmotnosti letounu může být vzlet zapříčiněn hodem nebo například odpalovací rampou. Podstatné je vnímání Úřadu pro civilní letectví (2021), který model do 20 kg, nepovažuje za bezpilotní letoun.

## **2.3. Využití UAV**

DPZ za pomoci UAV má celou řadu výhod. Jedná se o rychlé, operativní, lokální a relativně levné získávání informací. Sběr dat pomocí UAV není univerzálním řešením, má svoje specifika a používá se v konkrétních situacích. Využití UAV je možné rozdělit pomocí několika kritérií. Základní, často zmiňované, dělení je využití pro vojenské a civilní účely. Ať už v civilní nebo vojenské sféře může docházet ke sběru informací o povrchu, osobách a dalších objektech. Z tohoto pohledu je důležitější zaměřit se na cíl zájmu. Na základě znalosti o zkoumaném

objektu v kontextu s požadovaným výsledkem pozorování volíme senzor, kterým je osazen nosič – UAV. (Schwarz, 2010; Večeřa, 2019)

Ať již integrovaný záchranný systém – IZS, výzkumné nebo jiné komerční společnosti volí senzory a nosiče podle zvoleného cíle, ekonomické dostupnosti a potřebné informační hodnoty dat. Nejčastější senzory, kterými je nosič osazen, jsou kamery snímající ve viditelném spektru světla, termokamery, lasery, RGB a multispektrální senzory.

Zmíněný IZS využívá drony k různým účelům. Jako příklad je možné uvést i samotný přenos radiového přenašeče, který pomáhá rozšířit radiový přenos i do hůře přístupných a odstíněných míst. (Večeřa, 2019)

Kamery, které snímají ve viditelném spektru světla, jsou využívány jak v IZS, tak v komerční sféře, nebo také pouze pro zábavu. Co se týče IZS slouží záznamy z kamer k okamžitému vyhodnocení situace při nějakém bezpečnostním riziku, případně je možné na základě záznamu zpětně zjistit např. postup požáru a následně jeho příčinu. V komerční sféře lze předmětný snímač využít k monitorování škod po přechodu živlu, monitorování dopravní situace, záznamu kulturní akce a v mnoha dalších situacích. (Večeřa, 2019; DronPro, 2021)

Termokamery jsou opět často využívané jak v IZS, tak v komerční sféře. Integrovaná záchranná služba běžně využívá UAV s termokamerou pro hledání osob nebo k vyhledávání skrytých ohnisek požáru. Termokamery dále nachází využití např. ve stavebnictví, kdy je možné za specifických podmínek okamžitě odhalit různé teploty objektu a s tím spojené prostupy tepla, které mohou signalizovat narušení izolace. Termokamery lze obecně použít ke zkoumání tepelných vlastností objektu zájmu. Snímkování není přímo závislé na denním světle. (Večeřa, 2019; DronPro, 2021)

Lasery se používají pro skenování a následné modelování povrchu. Jedná se o aktivní metodu, kdy dochází k vysílání laserových paprsků, které jsou po odrazu od objektu nasnímány, a na základě času mezi emitací a příjmem je vytvořen 3D model terénu. Pomocí laseru je možné detailně a přesně mapovat. Lasery jsou velice oblíbené například v hlubinném hornictví, vzhledem ke skutečnosti, že není zapotřebí externí zdroj světla. (Wageningen University & Research, 2021; Kukutsch a kol., 2019; Tomková a Lysák, 2020)

RGB senzory jsou navrženy tak, že simulují lidské vidění. Snímají tedy ve viditelném spektru světla na tři oddělené vrstvy. Ve viditelném spektru je odrazivost ovlivněna rostlinnými

pigmenty (dochází k absorpci). Pomocí snímání RGB a následnému výpočtu vegetačního indexu je možné oddělovat jednotlivé plochy, a zároveň i určovat zdravotní stav vegetace. Využití je v zemědělství, lesnictví případně i pojišťovnictví. Princip spočívá v tom, že UAV nasnímá zájmové území a na základě získaných dat se vyhodnotí zdravotní stav. Toto je možné užít například při likvidaci pojistné události po živelním poškození porostu jako doplňující informace, která určí velikost poškozené plochy. Přítomný odborník následně musí kvalifikovaným odhadem určit pokles výnosu. (Francesconi a kol., 2021; Kůrovec v Praze, 2021; Plánka, 2021)

Multispektrální senzory zpravidla snímají pásma z viditelného spektra světla, a navíc snímají tu část spektra, která pro lidské oko není viditelná. Může se jednat o pásma v oblasti blízkého a středního infračerveného záření. V oblasti blízkého infračerveného pásma dochází k vysoké odrazivosti u rostlin. V oblasti středního infračerveného pásma dochází k vodní absorpci. Z tohoto důvodu je opět možné využití v zemědělství, lesnictví, případně při mapování povodní a podobně. (Kůrovec v Praze 2021; Plánka, 2021)

## **2.4. Legislativa UAV**

Pravidla pro provoz bezpilotních letadel, resp. bezpilotních systémů, upravuje Úřad pro civilní letectví. Do konce roku 2020 byl provoz bezpilotních systémů řízen předpisem L2 a doplňkem X. Předpisem sice byla upravována pravidla létání, ale naprostá většina pilotů i strojů zůstávala v anonymitě. Z důvodu prudkého růstu oblíbenosti bezpilotních systémů a s tím spojený růst hrozby zásahu do soukromí, ale i bezpečí obyvatel, byla přijata nová pravidla na základě evropské prováděcí vyhlášky č. 2019/947, která byla uvedena v platnost k 31.12.2020. (Úřad pro civilní letectví, 2021)

Podstatné změny spočívají v několika skutečnostech. Dětské hračky a letadla nepřesahující hmotnost 250 g a zároveň nemající zařízení pro snímání osobních údajů, nepodléhají registraci. Ostatní stroje registraci podléhají a jejich piloti musí složit test, který je bude opravňovat k provozu. Náročnost testu a také registrace vlastního bezpilotního systému je odvislá od kategorie, do které bezpilotní systém, případně pilot spadá. Nově je létání rozděleno do tří kategorií. (Úřad pro civilní letectví, 2021)

- Otevřená kategorie je pro většinu běžných uživatelů, která nevyžaduje schválení ze strany UCL.

- Specifická kategorie vyžaduje v některých případech rizikovou zprávu a k provozování činnosti je vydán souhlas ze strany UCL. Jedná se především o běžnou výdělečnou a výzkumnou činnost.
- Pro certifikovanou kategorii je vždy zpracována riziková zpráva. Náročnou certifikací musí projít jak bezpilotní systémy, tak i piloti.

### **3. Identifikace změn v krajině na základě metod dálkového průzkumu Země.**

Změny v krajině je možné definovat jako rozdíl mezi pozorováním stejného území v různých časech, kde dochází ke změnám obsahu nebo stavu jednotlivých ploch. Změny je možné pozorovat v krátkých časových rozestupech z důvodu identifikování náhlé změny, v průběhu roku v rámci střídání ročních období nebo z dlouhodobého hlediska, v řádech desítek let, kde jsou pozorovány změny trvalého charakteru. Jako příklady sledovaných ploch je možné uvést městskou zástavbu, silniční síť, zemědělské, lesní nebo vodní plochy. (Dobrovolný, 1998; Halounová a Pavelka, 2008, Lillesand a kol., 2004)

Pro sledování dlouhodobých změn velkých území se využívají satelitní systémy. Družicový systém LANDSAT poskytuje údaje o povrchu Země již od roku 1972 a tyto snímky jsou hojně využívány. Jsou ovšem situace, kdy využití satelitních systémů není vhodné. Nevhodnost může být dána časem mezi jednotlivým snímkováním nebo potřebou detailnějšího záběru, případně nevhodnými atmosférickými podmínkami ve vyšších polohách. Za okolností, kdy je potřeba snímkování malé plochy, v libovolném čase s vysokým rozlišením a bez nežádoucích atmosférických vlivů, je vhodné použití bezpilotních letadel, tzv. dronů. (Dobrovolný, 1998; Halounová a Pavelka, 2008)

Historicky byla pomocí DPZ sbírána analogová data. S rozvojem počítačových technologií došlo k upřednostňování dat digitálních. Digitální data, která jsou reprezentována číselnými hodnotami, jsou vhodná pro další zpracování pomocí počítačových programů. Na základě vlastností jednotlivých ploch a jejich typickému chování v různých spektrech je možné provádět, při použití vhodného softwaru, barevné syntézy, zvýraznění konkrétních ploch, začištění přechodů mezi plochami, výpočet obsahu jednotlivých ploch a mnoho dalšího. Tyto úpravy napomáhají k identifikaci změn zájmového území a správné interpretaci získaných dat. Vzhledem k charakteru práce je dále využíván sběr digitálních dat pomocí UAV. Informační hodnota je dána několika parametry. Jedná se především o rozlišení, kde každý samostatný

pixel určuje reálnou plochu snímaného objektu. Důležitá je také velikost časového rozestupu mezi nasnímáním požadované scény a použité snímací zařízení. Důležitá je také informace o tom, ve kterých pásmech bylo zájmové území nasnímáno. (Dobrovolný, 1998; Halounová a Pavelka, 2008, Lillesand a kol., 2004)

### **3.1. Zpracování digitálních dat**

Digitální data získaná pomocí metod DPZ mají podobu snímků, které je možné rozložit na jednotlivé pixely. Vzhledem k vlivům jako jsou atmosférické úkazy, překryvy snímků, zastínění, zakřivení a jiné nerovnosti dochází ke zkreslení scény. Po odstranění nežádoucích šumů a provedení geometrické, atmosférické a radiometrické korekce je možné přistoupit k tvorbě tzv. mozaiky, což je propojení jednotlivých snímků do celistvého obrazu. Pomocí vhodného softwaru se s obrazem dále pracuje. Pro správnou interpretaci změn se používají metody zvýraznění obrazu a extrahování informace. Zvýraznění obrazu se využívá za účelem lepšího rozlišení jednotlivých objektů, což je následně využito pro další zpracování. Jako příklady zvýraznění obrazu je možné uvést bodové zvýraznění, filtrování, barevná syntéza nebo vegetační indexy. (Dobrovolný, 1998; Georgoula a Padamitron, 2016; Halounová a Pavelka, 2008, Plánka, 2021; Yamagata, 1999)

### **3.2. Bodové zvýraznění**

Jedná se o zvýraznění obrazu radiometrické, které pracuje s odstíny šedi. Bodové zvýraznění může být považováno za nejjednodušší druh klasifikace. Obecný princip bodového zvýraznění spočívá ve změně digitální hodnoty pro každý pixel na základě zvolené převodní funkce. Pro převod mezi originálem a obrazem neexistuje univerzální postup. Volba převodní funkce se provádí do okamžiku, kdy obraz získá potřebnou vypovídající hodnotu. Mezi metody bodového zvýraznění patří prahování, hustotní řezy, zvýraznění kontrastu, zvýraznění jasu a barevné zvýraznění. (Dobrovolný, 1998; Georgoula a Padamitron, 2016; Halounová a Pavelka, 2008)

Prahování je metoda při které dochází k velice jednoduchému převodu na hodnoty 0,1. Všechny pixely jsou rozděleny do dvou kategorií (bílá, černá) na základě zvolené prahové hodnoty. (Dobrovolný, 1998; Halounová a Pavelka, 2008, Plánka, 2021)

Hustotní řezy rozšiřují metodu prahování. Opět je nastaven určitý práh na základě, kterého získá každý pixel novou hodnotu. U této metody je ovšem volen vyšší počet tříd. Výsledný

obraz je zobrazen v odstínech šedi nebo barvy. (Dobrovolný, 1998; Halounová a Pavelka, 2008, Plánka, 2021)

Zvýraznění kontrastu nebo jasu je možné provést pomocí tzv. roztažení histogramu, což umožňuje většina zpracovatelského softwaru. Roztažení histogramu je vhodné provést v okamžiku, kdy snímaná scéna vykazuje obdobné vlastnosti a přechod mezi jednotlivými odstíny je nízký. (Dobrovolný, 1998; Halounová a Pavelka, 2008, Plánka, 2021)

Barevné zvýraznění se používá pro zvýšení informační hodnoty z obrazu a má spojitost s lidským viděním. Uvádí se, že lidské oko má velice omezenou schopnost vnímání odstínů šedi, a to několik desítek. Barevných odstínů je lidské oko schopno rozlišit násobně vyšší množství. (Dobrovolný, 1998; Halounová a Pavelka, 2008)

### **3.3. Filtrace**

Filtrace je způsob prostorového zvýraznění. Princip filtrování u zpracování digitálního obrazu je pro všechny filtry obdobný. Jedná se o metodu, kdy konkrétnímu pixelu se přiřadí nová hodnota, v závislosti na hodnotách určitého množství prvků okolních. Ucelená množina okolních prvků se nazývá maska a nejčastěji bývá o velikosti 3x3 nebo 5x5 pixelů. Pomocí filtrace dochází například k odstranění šumu, zvýraznění přechodových linií nebo v zaostření obrazu. V případě filtrace je důležitým pojmem prostorová frekvence. Prostorová frekvence vyjadřuje rozdíl mezi pixelem a jeho okolím. Obecné dělení filtrů je na nízkofrekvenční a vysokofrekvenční. (Dobrovolný, 1998; Halounová a Pavelka, 2008)

Nízkofrekvenční filtry odstraňují vysokofrekvenční prostorovou informaci. Dochází k tzv. vyhlazení obrazu. (Dobrovolný, 1998; Halounová a Pavelka, 2008)

Vysokofrekvenční filtry naopak odstraňují nízkofrekvenční prostorovou informaci a v důsledku toho je filtrovaný obraz zostřen a dochází tak ke zvýraznění hran. (Dobrovolný, 1998; Halounová a Pavelka, 2008)

### **3.4. Barevná syntéza**

Snímkování probíhá tak, že se rozdílné vlnové délky zachycují do různých obrazových ploch. Tyto jednotlivé snímky o různých vlnových délkách jsme schopni tzv. RGB syntézou sloučit v jeden multispektrální obraz v pravých barvách. To platí pro případ, že se červené

pásmo zobrazí červeně, zelené zeleně a modré modře. Počítačové programy umožňují pořadí barev pozměnit a případně přidat i jiné pásmo než z viditelného spektra. Možné je také některé pásmo odebrat, aniž by došlo k výrazné ztrátě informace. Výsledkem je zobrazení v nepravých barvách, a to buď falešných, nebo nepravých barvách skutečných. O nepravých barvách skutečných se hovoří v případě, kdy do syntézy vstupují pouze pásma z viditelné části spektra. V okamžiku, kdy je do výsledného obrazu přidáno jiné než viditelné pásmo, jedná se o zobrazení v nepravých barvách falešných. Zobrazení v nepravých barvách při správně zvolené kombinaci poskytuje zvýraznění informace, které v pravých barvách nemusí být patrné. Pro získání požadovaného zvýraznění, se u metody barevné syntézy, velice často pracuje stylem pokusů a omylů. Výstup z barevné syntézy může také sloužit jako vstup do další části zpracování dat. (Dobrovolný, 1998; Halounová a Pavelka, 2008; Šadibol a Chudý, 2013)

### **3.5. Spektrální indexy**

Jak již bylo zmíněno, různé objekty a materiály mají na základě svého složení a probíhajících vnitřních procesů specifické vlastnosti v konkrétních vlnových délkách elektromagnetického spektra. Velice důležité je chování snímaných dat ve viditelném spektru a blízkém infračerveném záření u rostlin. Zatímco v červeném pásmu je elektromagnetické záření silně pohlcováno, tak v blízkém infračerveném spektru je silně odráženo. Na základě těchto skutečností byly určeny vegetační indexy, které mohou být buď poměrové nebo ortogonální. Pomocí jednoduchých aritmetických operací je možné identifikovat údaje, které by při zobrazení v pravých barvách nebyly patrné, při výpočtu indexů dochází k zobrazení v nepravých barvách. (Dobrovolný, 1998; Halounová a Pavelka, 2008; Klem a spol, 2018; Plánka, 2021, Yamagata 1999)

#### **3.5.1. Rozdílové indexy**

Mezi nejjednodušší představitele vegetačních indexů patří indexy rozdílové. Tyto indexy poskytují obecnou informaci ohledně stavu vegetace. Pomáhají rozlišit vegetaci a půdu. Předmětné indexy mohou být významně ovlivněny rozptylem světla, případně stíny a dalšími atmosférickými vlivy. Mezi představitele rozdílových indexů se řadí index DVI (Difference vegetation index) – dává obecnou informaci ohledně stavu vegetace.



- DVI je dán vzorcem  $DVI = NIR - RED$

Kde NIR je hodnota pro spektrální odrazivost v blízkém infračerveném pásmu a RED je hodnota spektrální odrazivosti červeného pásma. (Klem a kol., 2014)

### 3.5.2. Poměrové indexy

Poměrové indexy jsou počítány z atmosféricky korigovaných dat. Jde o jednoduchý nebo normalizovaný poměr odrazivosti povrchu v červené a blízké infračervené části spektra. Existuje vysoká korelace mezi parametry vegetační složky zájmového území. Z tohoto důvodu jsou poměrové indexy vhodné ke sledování zdravotního stavu vegetace, odhadu výnosu zemědělských plodin, průběh fenologických změn a další. Pomocí výpočtu dochází k odhalení i malých rozdílů, které nejsou vidět na původních pásmech. Jako zástupce poměrových indexů je možné uvést indexy RVI (Ratio vegetation index) – jednoduchý poměrový index, někdy značen jako SR (simple ratio). Používá se k rychlému oddělení zelené hmoty od okolí. NRERI (Normalized red – edge index) – určený pro diagnostiku výživového stavu rostlin. Ve střední a pozdní fázi růstového vývoje rostlin poskytuje přesnější výsledky než NDVI. NDVI (Normalized difference vegetation index) – normalizovaný diferenční vegetační index z počátku 70. let k identifikaci fotosynteticky aktivních rostlin. Používá se také pro monitorování sucha, nebo predikci požárních zón. TVI (Transformed vegetation index) – upravuje NDVI, použití je v zájmových oblastech, kde je množství vegetace nízké. (Dobrovolný, 1998; Halounová a Pavelka, 2008, Plánka, 2021; Karaburun, 2010; Lillesand 2004)

- RVI je dán vzorcem  $RVI = \frac{RED}{NIR}$
- NRERI je dán vzorcem  $NRERI = \frac{REDEGE - RED}{NIR - RED}$
- NDVI je dán vzorcem  $NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$  nebo pro Thematic Mapper družicového systému LANDSAT  $NDVI = \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3}$ . Index nabývá hodnot [-1;1] a je hojně využíván pro mapování stavu vegetace. Index nabývá specifických hodnot pro určité povrchy.

Povrch	NDVI
Velmi hustá vegetace	0,500
Středně hustá vegetace	0,140
Řídká vegetace	0,090
Holá půda	0,025
Oblačnost	0,002
Sníh a led	-0,046
Voda	-0,257

Obrázek 3 - specifické hodnoty

Zdroj: Klem a spol. (2018)

- TVI je dán vzorcem  $TVI = \sqrt{\frac{NIR-RED}{NIR+RED}} + 0,5$

Kde jednotlivé vzorce pracují s hodnotami RED, NIR, RED-EDGE. RED je hodnota pro spektrální odrazivost v červeném pásmu (600 - 700nm). NIR značí spektrální odrazivost v blízkém infračerveném pásmu (750 - 900nm) a hodnota RED-EDGE udává spektrální odrazivost v red-edge pásmu (720nm). (Klem a kol., 2014)

Výše uvedené indexy pracují s hodnotami, které jsou získány mimo viditelné části spektra. Většina UAV jsou vybaveny senzory RGB, tedy snímají ve viditelné části spektra. Je sice možné UAV osadit multispektrální kamerou, ale jedná se o drahé zařízení. Z tohoto důvodu bylo nutné odvodit indexy, které pomohou zvýraznit požadované informace, a zároveň do výpočtu budou vstupovat pouze hodnoty z viditelné části elektromagnetického spektra. Představitelé RGB indexů jsou například NGRDI (Normalized Green Red Difference Index), GLI (Green Leaf Index), MGVI (Modified Green Red Vegetation Index) a RGBVI (Red Green Blue Vegetation Index). (Barbosa a kol. 2019, Starý a kol. 2020, Komárková a Jech, 2020, Komárková a kol. 2020)

- NGRDI je dán vzorcem  $NGRDI = \frac{G-R}{G+R}$ . Vhodný index pro rozlišení vegetace a ostatních půdních ploch. Je zkreslován stíny, které mohou vrhat mraky. V případně zkreslení stíny může docházet k omylům v interpretaci výsledků. (Bending a kol., 2015)

- GLI je dán vzorcem  $GLI = \frac{2G-R-B}{2G+R+B}$ . Navržen k měření pšeničného pokryvu. Index je zkoumán z hlediska vhodnosti použití v dalších plodinách. (Louhaichi a kol., 2001)
- MGVRI je dán vzorcem  $MGVRI = \frac{(G)^2-(R)^2}{(G)^2+(R)^2}$ . Vhodný pro predikci ječné biomasy. (Bending a kol., 2015)
- RGBVI je dán vzorcem  $RGBVI = \frac{G-(B*R)}{G^2+(B*R)}$ . Zobrazuje chování vegetace. (Bending a kol., 2015)

### 3.5.3. Ortogonální indexy

Jedná se o lineární kombinaci původních pásem multispektrálního obrazu. Při vhodné rotaci souřadnic původního prostoru jsme schopni zvýraznit požadovanou informaci, kterou může být vegetační složka krajiny, vlhkost půdy a podobně. Představitel ortogonálního indexu je index PVI (perpendicular vegetation index). (Dobrovolný, 1998; Plánka, 2021)

- PVI index je dán vzorcem  $PVI = \sqrt{(RED_p - RED_v)^2 + (NIR_p - NIR_v)^2}$ , kde  $RED_p$  je odrazivost půdy v červené viditelné části spektra.  $RED_v$  je odrazivost vegetace v červené viditelné části spektra.  $NIR_p$  je odrazivost půdy v blízké infračervené části spektra.  $NIR_v$  je odrazivost vegetace v blízké infračervené části spektra.

## 3.6. Klasifikace

V případě zpracování dat získaných za pomoci metod dálkového průzkumu Země je možné provést ruční vektorizaci. Na základě této časově náročné činnosti je možné vytvořit požadovaný výstup pomocí kterého, lze identifikovat a interpretovat vlastnosti zájmového území. V závislosti na možnostech užitého softwaru je možné vytvořit, mapové dílo, případně tabulku s určitou informační hodnotou. Počítačové systémy umožňují nahradit ruční vektorizaci a vizualizaci automatickými klasifikačními metodami. Mezi hlavní výhody klasifikace patří rychlost, možnost zpracování velkého objemu dat a také opakovatelnost. Výstupem z klasifikace je opět mapové dílo, tabulka, případně jiné digitální datové soubory, které je

možné dále zpracovávat, pomocí geoinformačních systémů. (Červená, 2016; Halounová a Pavelka, 2008)

Podstata klasifikace spočívá ve vytvoření převodní matice, respektive v nalezení vztahu na základě, kterého bude každý jednotlivý pixel přiřazen do konkrétní třídy. Převodní matice se nazývá také klasifikačním pravidlem, nebo klasifikátorem. Pro vytvoření klasifikačního pravidla je hledána dostatečně význačná změna ve vlastnostech jednotlivých bodů, tak, aby bylo možné je od sebe rozlišit a přiřadit ke konkrétní třídě. Takovéto změně se říká příznak. Příznaky se dělí na prostorové, časové, polarizační nebo spektrální. V oboru dálkového průzkumu Země se nejčastěji využívá spektrálních příznaků, kde každý pixel má danou svoji hodnotu v závislosti na odrazivosti. (Červená, 2016; Halounová a Pavelka, 2008; Dobrovolný, 1998; Lillesand, 2004)

Celý proces tvorby klasifikačních pravidel, zpracování datového souboru a zařazení jednotlivých obrazových dílců do konkrétních tříd se nazývá klasifikace a spadá do oblasti strojového učení. Klasifikace se dá rozdělit dle několika různých kategorií. Základní dělení je na objektovou klasifikaci (OBIA) a klasifikaci per pixel, Další dělení klasifikace je možné například na řízenou, neřízenou. (Červená, 2016; Halounová a Pavelka, 2008; Dobrovolný, 1998; Lillesand, 2004)

### **3.6.1. Metoda klasifikace OBIA**

Objektově orientovaná analýza obrazu (OBIA) je metoda, která napodobuje lidské vnímání reality. Lidské oko se nezaostřuje na jednotlivé malé plošky, ale vnímá objekt jako homogenní skupinu, kde pro identifikaci nevyužívá pouze spektrální příznak, ale začleňuje i další informace. Jako příklad je možné uvést rozlišení řeky a jezera. OBIA nepracuje pouze s odrazivostí povrchu, z tohoto důvodu je schopna od sebe řeku a jezero oddělit. Toto vnímání je možné modelovat pomocí počítačových systémů. Ke klasifikaci jsou v tomto případě používány segmentační algoritmy, kde dochází prvotně k tvorbě malých segmentů, které jsou na základě vlastností výrazně odlišné. OBIA může být řízená i neřízená, používat měkké i tvrdé klasifikátory a pracovat s Fuzzy logikou, kde lze matematicky vyjádřit jinak vágní pojem, který by mohl představovat situaci přechodu mezi loukou a lesem. Jako vhodné se jeví použití při mapování zemědělských ploch. Klasifikace OBIA přináší přesnější konečné výstupy. (Lebourgeois a kol, 2017; Gisat 2021)

### **3.6.2. Metoda klasifikace Per – pixel**

Per – pixel neboli klasifikace bodová. Jedná se o starší metodu, než je OBIA. V dnešní době se stále jedná o nejrozšířenější způsob klasifikace digitálních dat za pomoci DPZ. Metoda bodové klasifikace spočívá v rozlišení jednotlivých pixelů na základě spektrálních a časových příznaků, jiné informace, například geografický prostor, do výpočtu nevstupují. Klasifikační metody per – pixel mohou být řízené i neřízené. Výhody klasifikace per – pixel oproti OBIA jsou rychlost zpracování a přesnost v prostorově homogenním zájmovém území. (Dobrovolný, 1998; Gisat, 2021)

### **3.6.3. Řízená klasifikace**

U řízené klasifikace, nebo jinak řečeno klasifikace s učitelem, je nutná součinnost odborníka a znalost zkoumaného zájmového území. Řízená klasifikace probíhá ve dvou fázích. V první fázi dochází k výběru trénovacích ploch. Výběrem trénovacích ploch dochází k tvorbě klasifikačního schématu, které je závislé na cíli projektu. Následně je spuštěna klasifikační metoda, do které jsou vloženy data z trénovacích ploch a data zájmového území. Klasifikační metoda zpracuje trénovací sadu, „naučí se“, a následně rozdělí objekt zájmu do jednotlivých tříd, které jsou na typovány v klasifikačním schématu. Při tvorbě klasifikačního schématu je velice důležité zvolit správně třídy, rozmístění jednotlivých trénovacích ploch v prostoru a jejich velikost, která by měla být větší než sto pixelů. V případě ruční tvorby trénovacích ploch je velice důležitá přesnost operátora. Mezi metody řízené klasifikace patří Maximum Likelihood, neboli klasifikátor maximální pravděpodobnosti. Další často užívanou metodou pro klasifikaci je Support Vector Machines, což je metoda podpůrných vektorů. (Dobrovolný, 1998, Halounová a Pavelka, 2008).

Při tvorbě jednotlivých shluků, může dojít k jejím překryvům. Metoda maximální pravděpodobnosti na základě hodnocení rozptylu hodnot, kovariance a korelace každé z tříd, určí pravděpodobnost, s jakou klasifikovaný pixel spadá do každé z tříd a na základě maximální pravděpodobnosti dojde k zatřídění. Další možností je nastavení prahové hodnoty a v případě jejího nedosažení, zůstane pixel neklasifikován. (Červená, 2016; Dobrovolný, 1998, Halounová a Pavelka, 2008).

Další zmíněnou metodou je Support Vector Machines, což je metoda strojového učení, která byla vyvinuta profesorem Vladimírem Vapnikem v roce 1963 a upřesněna v 90. letech. Princip této metody spočívá v přidání dalších dimenzí do dvojrozměrného prostoru. Do těchto dimenzí jsou na základě algoritmu přiděleny klasifikované bodové prvky. Ve vícedimensionálním prostoru je následně možné rozdělit jednotlivé prvky lineárně. (Royal Holloway University of London, 2021)

### **3.6.4. Neřízená klasifikace**

Neřízená klasifikace neboli klasifikace bez učitele, se od řízené liší v několika zásadních ohledech. Není nutná znalost zkoumaného území. Není nutné předem znát počet tříd do kterých se má zájmové území rozdělit a není tvořena trénovací množina. Metody neřízené klasifikace předpokládají rozdílné spektrální vlastnosti zájmového území. Dále se předpokládá, že pixely patřící do jedné třídy jsou ve vícerozměrném prostoru blízko u sebe a opačně, že pixely patřící do jiné třídy jsou separované. Průběh neřízené klasifikace je následující. Operátor určí počet shluků nebo jejich rozsah od – do. Tento počet není pevně nastaven, vždy by měl být výrazně vyšší, než je počet definovaných tříd. Na základě zvolené metody dojde buď k ručnímu výběru nebo automatické generaci centroidů shluku. Poté dochází k zařazení jednotlivých pixelů do shluků a výpočtu nového centroidu v závislosti na počtu požadovaných iterací. Stabilní shluky jsou poté začleněny do tříd. Na základě snímků v pravých barvách zpracovatel provádí sloučení nově vytvořených tříd do tříd již definovaných. Mezi metody neřízené klasifikace patří například metoda K-means, jejíž postup je popsán výše a metoda ISO Cluster, kterou zpracovatel použil pro praktickou část práce. (Dobrovolný, 1998; Červená, 2016)

### **3.6.5. Neuronové sítě**

Pro možnost klasifikace obrazu je možné využít také umělou neuronovou síť. Umělá neuronová síť napodobuje chování lidského mozku. Matematický model se skládá z neuronů a jednotlivých synapsí. Neuronové sítě jsou schopny pracovat s více druhy dat. Mezi výhody patří schopnost učení, tolerance k šumu nebo také abstrakce. Neuronové sítě můžeme dělit z několika hledisek. Může se jednat o síť s učitelem, kde se celý soubor dat, který reprezentuje chování systému, rozdělí na část trénovací, testovací a validační. Případně o neuronové síť bez učitele, kde do adaptačního algoritmu vstupuje celý soubor dat. Algoritmus nemá k dispozici žádné kritérium, které by vypovídalo o správnosti řešení. Výpočet probíhá na bázi shlukování na základě podobnosti vstupů. Rozdělení sítí může být také na síť dopředné, kde vstupní vektor

postupuje stále kupředu, nebo o síť rekurentní, kde vstupní vektor jde z výstupu opět na vstup. Další dělení je možné na mělké neuronové sítě a hluboké neuronové sítě, což jsou sítě se třemi nebo více vrstvami. Hluboké neuronové sítě jsou spjaty s pojmem Deep learning neboli hluboké učení, což je podmnožinou strojového učení a v současné době zažívá bouřlivý rozvoj. Podstatný rozdíl mezi strojovým a hlubokým učením spočívá v tom, že hluboké učení je v řadě případů schopno nahradit lidského experta. Tedy je schopno zpracovat nestrukturovaná data bez předešlého předzpracování. Deep learning je možné využít v klasifikaci obrazu, rozpoznávání řeči nebo zpracování přirozeného jazyka. Deep learning se také využívá v autonomních systémech, ať již se jedná o samořiditelná vozidla, nebo zbraňové systémy. (Dobrovolný, 1998; Goodfellow a kol., 2017)

## 4. Identifikace změn v krajině

Identifikace změn v krajině je činnost, která se provádí na stejném území v různých časech za definovaným účelem. V případě této práce se jednalo o sledování změn ploch jednotlivých rozlišitelných povrchů. Autor identifikaci změn rozdělil do jednotlivých podkapitol. Jedná se o definování zájmového území včetně jeho umístění v prostoru a čase. Získání a předzpracování dat, kde autor popisuje zařízení, pomocí kterého bylo provedeno snímání, a okolnosti snímání zájmového území. Vlastní zpracování, což je podkapitola, která obsahuje podrobný popis práce s daty v geografickém informačním systému včetně obrazových a statistických výstupů. Celá kapitola je uzavřena interpretací a vizualizací změn, kde autor graficky a slovně hodnotí získané informace o každém sledovaném období. Na základě extrakce dat je zpracováno hodnocení průběhu změn a jejich zdůvodnění.



Obrázek 4 - schéma zpracování

Zdroj: Vlastní zpracování

### 4.1. Zájmové území

Zájmové území pro účely zpracování je rybník Skříň o rozloze 26 ha a objemu 130.000 m<sup>3</sup>, který je napájen potokem Bukovka. Zájmové území se nachází ve východních Čechách, 2,8 km

severozápadně od Lázně Bohdaneč v nadmořské výšce 224 metrů. Okolo sledovaného místa prochází naučná stezka Pernštýnskými rybníky. Dle Štefáčka se jedná o průtočný rybochovný rybník, jehož počátky sahají do roku 1535 a spolu s rybníkem Rohozna, který je umístěn jihozápadně, se jedná o pozůstatky původní rybniční činnosti na Pardubicku. Rybník Skříň v průběhu svojí existence měnil majitele, jména, tvar a rozlohu. Spolu s přilehlými vodními plochami Rohozna, Dolní Jílovky, Horní Jílovky, Udržal a Tichý rybník tvoří významnou ornitologickou oblast vodního ptactva.

Na obrázku č.5 je výřez zájmové oblasti z letecké fotografie, což je zobrazení v tzv. pravých barvách. Obrázek č. 6 zobrazuje shodnou zájmovou oblast. Tento snímek je ovšem digitalizovaný a došlo k rozdělení celé scény do určitého počtu tříd. Obrázek č. 7 zobrazuje shodné území nasnímané ze satelitu Sentinel 2 k datu 10.5.2021 po klasifikaci obrazu a rozdělení do stanoveného počtu tříd.



Obrázek 5 - letecký snímek zájmového území

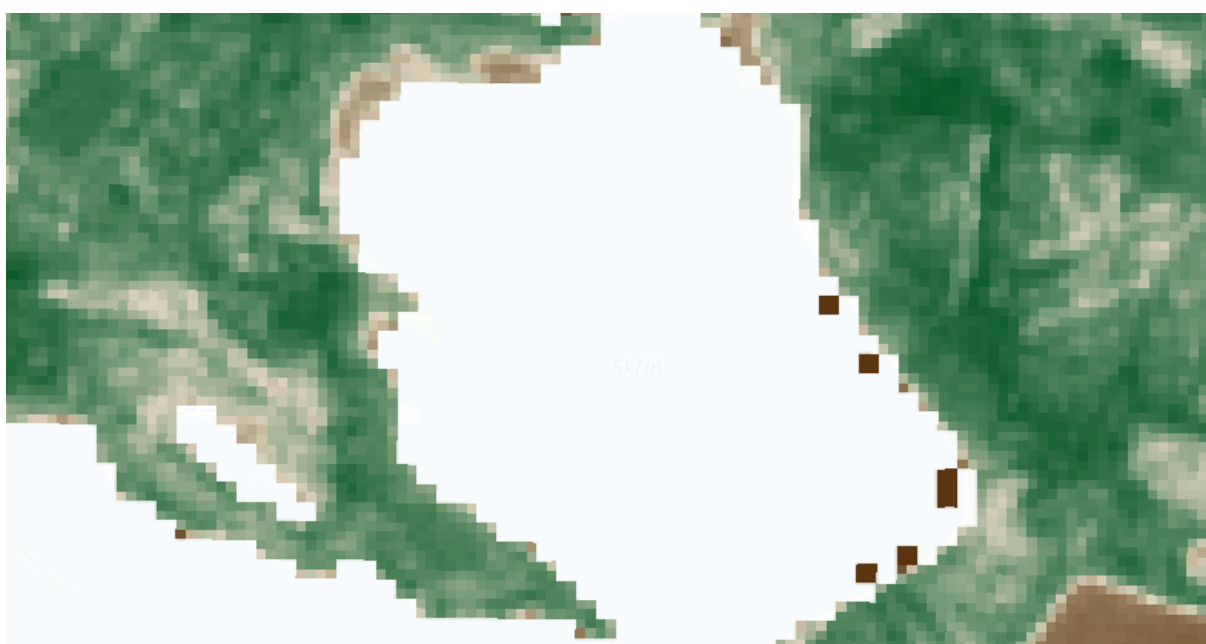
Zdroj: Mapy.cz (2021)





Obrázek 6 - digitalizovaná podoba zájmového území

Zdroj: AgraSat (2021)



Obrázek 7 - Zájmová oblast po klasifikaci

Zdroj: AgraSat (2021)

Na obrázku č. 7 je možné pozorovat nevýhodu satelitního snímkování. Prostorové rozlišení je nízké. Každý pixel je v řádech desítek metrů. Potůček s výběžkem, který se nachází v západní části rybníka z důvodu klasifikace naprosto zaniká. Navíc snímkování probíhá v daných časových periodách bez možnosti ovlivnění. Na základě toho je naprostá většina

klasifikovaných snímků v dostupném archivu nepoužitelná z důvodu špatných atmosferických podmínek.

Pro možnost identifikace změny zájmového území rybníka Skříň byly zvoleny následující parametry. Zájmové území bylo pro snímkování zmenšeno na část vodní plochy s částí pobřeží v západní části rybníka. Jedná se o část, kde do rybníka přitéká potok, a po jehož okraji prochází Naučná stezka Pernštýnskými rybníky. Ke snímání byl použit komerční dron DJI Phantom 3 s RGB snímačem.

## **4.2. Získání a předzpracování dat**

Nasnímání zájmového území proběhlo bez přítomnosti autora. Jako nosič senzoru byl použit dron třídy DJI Phantom 3 se čtyřmi vrtulemi. Dron je vybaven standardní kamerou umístěnou na tříosém stabilizačním závěsu, která snímá ve viditelné části spektra, pořizuje tzv. RGB snímky. Rozlišení snímků je 3000 x 4000 pixelů nebo také 12 MPx.

Let probíhal v průběhu celého roku 2018 v měsíčních intervalech. Pro účely práce byly použity snímky z měsíců leden, únor, březen a duben. Let se uskutečnil při západní straně rybníka, piloti stáli jižně od ústí Zlatého potoka. Část letové mise proběhla nad vodní hladinou a část nad přilehlou ostatní plochou. V lednu byla nasnímána plocha o rozloze 4,2 ha, v únoru 5,1 ha, v březnu 4,3 ha a v dubnu plocha o rozloze 2,7 ha. Dron provedl let dle letového plánu a nasnímkoval zájmovou oblast. Podstatná informační hodnota snímku spočívá v prostorovém rozlišení, v nasnímaném spektru a užitém souřadnicovém systému.

Následovalo složení jednotlivých snímků do celistvého obrazu. Tomuto procesu se říká mozaikování. I tato část proběhla bez účasti autora, kde autor převzal pro následné zpracování již hotové mozaiky. Předmětné mozaiky byly vytvořeny v softwaru OneButton Standard edition od společnosti Icaros. Samotný proces mozaikování za pomoci počítačových technologií probíhá bez nutnosti zásahu počítačové obsluhy. Do programu byla nahrána sada snímků, které se jinak mezi sebou překrývají. Na základě jednotlivých význačných bodů dojde k jejich propojení, vyhlazení přechodových hran a barevnému vyrovnání. Takto vytvořené mozaiky jsou připraveny pro práci v geografických informačních systémech.



Obrázek 8 - Mozaiky jednotlivých měsíců

Zdroj: Vlastní Zpracování

### 4.3. Postup pro zpracování dat

Ke zpracování převzal autor od paní docentky Jitky Komárkové celistvé mozaiky s doprovodnými popisujícími soubory. Jednalo se o mozaiky zájmového území z roku 2018 za měsíce leden až duben. Mozaiky byly tvořeny ze snímků snímaných ve viditelné části spektra. Jedná se tedy o RGB rastrová data v souřadnicovém systému WGS 1984 UTM zone 33N.

Za účelem zpracování byl nainstalován nástroj ArcGIS Pro, ver. 2.8.0 od společnosti Esri a zvolena 21 denní trialová verze s částečnou podporou češtiny. Základní menu bylo přeloženo do češtiny, řada funkcionalit si ovšem ponechala svoje anglické názvy. K volbě předmětného softwaru došlo z důvodu jeho komplexnosti, schopnosti zpracovat získaná data, rozšířenosti, a s tím spojené podpory. Společnost Esri má velice propracované on-line kurzy a manuály včetně doplňujícího obrazového návodu. Značné množství videí, která se týkají dané problematiky, je k dispozici také na Youtube. Zvolení konkrétního softwaru podpořila, v neposlední řadě, i bezplatnost zkušební verze.

Celý postup zpracování bylo vhodné rozdělit do dílčích kroků. Vzhledem k cíli práce, vstupním datům a užitému softwaru byl zvolen následující postup. V prvním kroku byly vyrovnány jednotlivé mozaiky na sebe pomocí georeferencování. Poté byla zmenšena zájmová oblast pro možnost jednodušší digitalizace a následně přesnější interpretace. Dalším

krokem byla digitalizace zájmového území a následný ořez na požadovaný rozměr. Po tvorbě referenční vrstvy byly provedeny výpočty indexů, následné klasifikace, klasifikace na indexech a ověření jejich přesnosti. Pomocí nástroje ArcGIS Pro byly také extrahovány informace o plochách jednotlivých pokryvů.

### 4.3.1. Georeferencování

Nástroj ArcGIS Pro umožňuje velice jednoduše provést geometrickou korekci mezi jednotlivými mozaikami, a tím je zarovnat na sebe, což je výchozí krok pro další zpracování. Tato činnost byla provedena s následující posloupností. V horní liště byla otevřena karta „Obrazová data“, a poté zvolena záložka „Georefernce“. Georeferencování je možné provést buď automaticky nebo řídit ručně. Autor práce zvolil ruční georeferencování, které spočívá v označení bodů, jež jsou dobře viditelné v jednotlivých mozaikách. Samotná práce je velice intuitivní, zpracovatel na již otevřené záložce volí možnost „přidat řídicí bod.“ Následně je místo kurzoru myši zobrazen terčík, který je umístěn na bod dobře viditelný na všech mozaikách. Dále je předmětný bod označen na každé další jednotlivé mozaice. V případě správného umístění bodu je přidán další. Čím více bodů je přidáno, tím je georeferencování přesnější. Autor této práce pro zarovnání použil 5 řídicích bodů. Po přidání všech bodů bylo zapotřebí georeferencování uložit a ukončit.



Obrázek 9 - přidávání řídicích bodů

Zdroj: Vlastní zpracování

### 4.3.2. Oříznutí zájmového území

Identifikovat změny na celé mozaice by bylo časově velice náročné. Z tohoto důvodu byla z mozaiky vybrána pouze reprezentativní plocha, k jejíž volbě došlo tak, aby obsahovala různé druhy povrchů a minimální množství chyb, které vznikly v průběhu snímkování nebo při následném mozaikování. Za tímto účelem došlo k redukci zájmového území na zátočinu při ústí bezejmeného přítoku při západní straně rybníka a částí výběžku o rozloze cca 2.482 m<sup>2</sup>. Následně již autor pracoval pouze s předmětnou reprezentativní plochou.

ArcGIS Pro nabízí několik možností tvorby nové, oříznuté vrstvy. Tato vrstva si krom skutečnosti, že došlo k její redukci, ponechává všechny hodnoty vrstvy původní. Tedy každý pixel nové vrstvy nese stejnou informaci, která je obsažena ve vrstvě původní a ztráta informace je tím pádem relativně malá. Oproti tomu došlo k odstranění chybových ploch a následnému zrychlení výpočtů.

Zvolená metoda pro oříznutí je v podstatě mechanická a velice jednoduchá. Postup oříznutí je následující. V prvním kroku dochází k výběru původní vrstvy, v tomto případě k vyběru celé georeferencované mozaiky. Dále následuje otevření karty „Rastrové funkce“ a rozkliknutí záložky „Správa dat“. Ve správě dat je potřeba zvolit možnost „Oříznout rastr“. V poli „Rastr“ je nutné vybrat původní vrstvy, přiblížit se rozsahem mapy na požadované území a potvrdit „Vytvořit novou vrstvy“. Následně se v poli „Rastr“ provede postupné vložení zbylých mozaiek a opět potvrdí „Vytvořit novou vrstvy“. Takto došlo k tvorbě redukovaných vrstev pro každé časové období, které jsou rozsahově shodné, a z toho důvodu je možné provádět jejich vzájemné porovnání. Jednotlivé výstupy pro každý časový interval shodného oříznutého území jsou zobrazeny na obrázku č. 10.





Obrázek 10 - Ořiznutí zájmového území

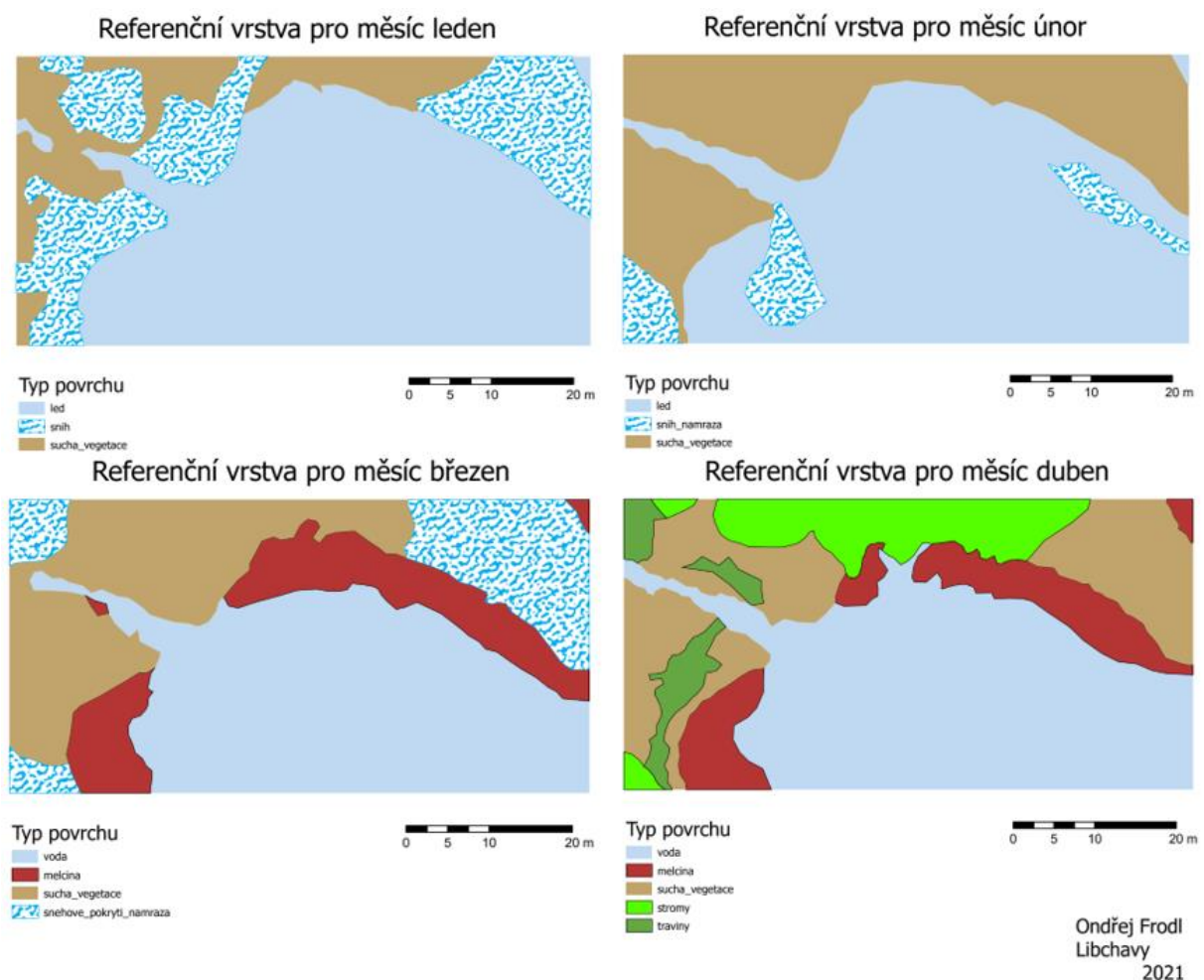
Zdroj: Vlastní zpracování

### 4.3.3. Digitalizace zájmového území

Digitalizace neboli vektorizace se provádí z několika důvodů. Při tvorbě této vektorové vrstvy dochází k rozlišení jednotlivých půdních pokryvů rukou operátora. Jedná se o časově náročnou činnost. Předmětná digitalizovaná vrstva se nazývá také referenční. Při práci v ArcGIS Pro vstupuje do klasifikací i jednotlivých analýz a slouží nám podobně jako etalon. Jedná se tedy o vrstvu, se kterou se poměrují jednotlivé dílčí výsledky.

V softwaru ArcGIS Pro, ver 2.8.0 je možné vektorizovat rasterovou vrstvu dle popisu dále. V kartě „Nástroje“ je přes vpsovací okno vyhledán nástroj „Vytvořit třídu prvků“, v tomto nástroji je zapotřebí nastavit „typ geometrie“. Pro potřeby práce byl zvolen „polygon“. V okně „Souřadnicový systém“ se zvolí takový, který je shodný se souřadnicovým systémem vrstvy zájmového území. Tedy opět WGS 1984 UTM zone 33N. Nově vytvořená vrstva je následně editována. Pro editaci se otevře karta „Editace“ a potvrdí se výběr nové vrstvy. V tomto případě se referenční vrstva skládá z jednotlivých polygonů. ArcGIS Pro nabízí možnost „Automaticky dokončovat polygon“. Jedná se o funkci, která při vhodném užití zjednoduší zpracování. Zpracovatel má možnost vykreslit k již existujícímu polygonu polygon značně zjednodušený. Následně nedochází k překrytí polygonů, ale jejich slícování. Jednotlivé polygony, jež jsou

okrajové, je vhodné přetahovat a následně oříznout. Po dotvoření všech polygonů musí být editace uložena. K oříznutí je použita funkce „Clip“. Takto je vytvořena nová vrstva, která je oříznuta dle pomocné ořezávací vrstvy. Pro možnost dalšího zpracování a vhodného interpretování zájmového území dochází v atributové tabulce referenční vrstvy k přidání číselné hodnoty ID, která je unikátní pro každý půdní pokryv. Jako vhodné se jeví sloučení jednotlivých polygonů na základě hodnoty ID. Ke sloučení je použit příkaz „Dissolve“ a jako hodnota pro sloučení je vybráno ID. Po tomto sloučení následuje na kartě „Vzhled“ výběr záložky „Nastavení symbolů“. V předmětné záložce lze upravit barvu polygonů dle ID a upravit název pro jednotlivé třídy. Předmětné úpravy jsou poté zobrazeny v legendě při tvorbě mapového díla.



Obrázek 11 - digitalizace zájmového území

Zdroj: Vlastní zpracování

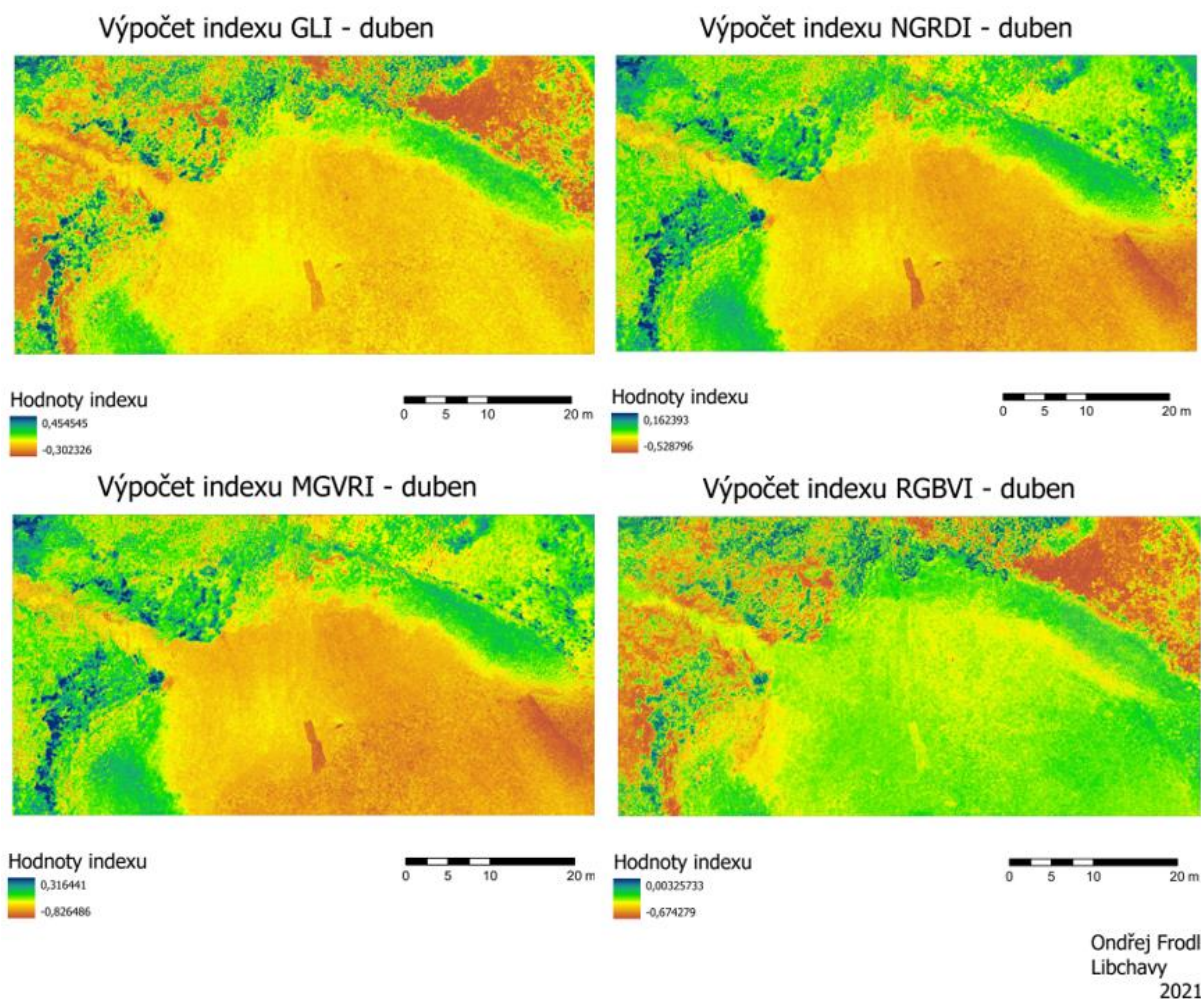
#### 4.3.4. Výpočet indexů

Jednou z možností, jak získat informace lidskému oku skryté, je provedení přepočtu rastrové vstupní vrstvy za pomoci indexu. Jedná se o matematickou operaci, kde na základě

zadaného vzorce dochází k úpravě pásem a jejich zobrazení v nepravých barvách. Indexy se zpravidla používají pro zvýraznění vodní plochy nebo zeleně. Každý konkrétní index je odvozen za daným účelem, který může napomáhat identifikovat i konkrétní plodinu.

Software ArcGIS Pro umožňuje výpočet indexů. V předmětném softwaru je v kartě „Rastrové funkce“ v záložce „Analýza“ k dispozici několik přednastavených indexů, například NDVI. Jak bylo uvedeno výše, index NDVI pracuje s hodnotami z blízkého infračerveného světla. Vstupní data do výpočtu obsahují hodnoty z viditelné části spektra. Je tedy možné počítat pouze RGB indexy. Z tohoto důvodu je nutné zvolit v kartě „Rastrové funkce“ záložku „Matematické“ a potvrdit výběr „Aritmetika pásem“. Jedná se v podstatě o kalkulačku, která umožňuje práci na úrovni pásem viditelného spektra. V řádku „Raster“ je vybrán .tif soubor, u kterého se má provést výpočet. V řádku „Metoda“ došlo k výběru „Definováno uživatelem“ a do řádku „Aritmetika pásem“ byl vepsán vzorec požadovaného indexu. Předmětná kalkulačka pracuje s číselnými hodnotami a pro jednotlivá pásma s údaji B1, B2 a B3, kde pro R=B1, pro G=B2 a pro B=B3. Kalkulačka pracuje se závorkami a operátory +, -, \*, /, . Autor pro jednotlivé měsíce provedl výpočet indexů NGRDI (Normalized Green Red Difference Index), GLI (Green Leaf Index), MGVRI (Modified Green Red Vegetation Index) a RGBVI (Red Green Blue Vegetation Index), jejichž vzorce a doporučené užití je uvedeno výše. Po výpočtu indexů byla vytvořena nová vrstva, která je defaultně zobrazována v odstínech šedi. Autor následně v záložce „Vzhled“ na kartě „Nastavení symbolů“ volil různé barevné škály, dokud nedošlo k výběru takové škály, která opticky poskytovala zvýraznění přechodů mezi jednotlivými pokryvy. Takto vytvořené vrstvy byly následně využity pro možnost vylepšení přesnosti neřízené klasifikace. Na obrázku č. 12 jsou zobrazeny výstupy jednotlivých indexů ve zvolené barevné škále pro měsíc duben. Předmětný výstup byl vybrán jako reprezentativní z důvodu většího množství typů pokryvů a přítomnosti zelené vegetace. Třebaže je při porovnání snímku v pravých barvách a snímku po přepočtu indexu patrné, že barevné odstíny jsou shodné pro různé druhy pokryvů, jsou jednotlivé druhy spektrálně rozlišných ploch velice dobře odděleny. Je to dáno především indexem GLI, kde je zřetelně vidět přechod mezi korytem potoka a suchou vegetací. Zelená vegetace je také dobře odlišena a zobrazení mělčiny světlezelenou barvou odpovídá jak skutečnému obrazu, tak tomu referenčnímu.





Obrázek 12 - Výpočty indexů pro měsíc duben

Zdroj: vlastní zpracování

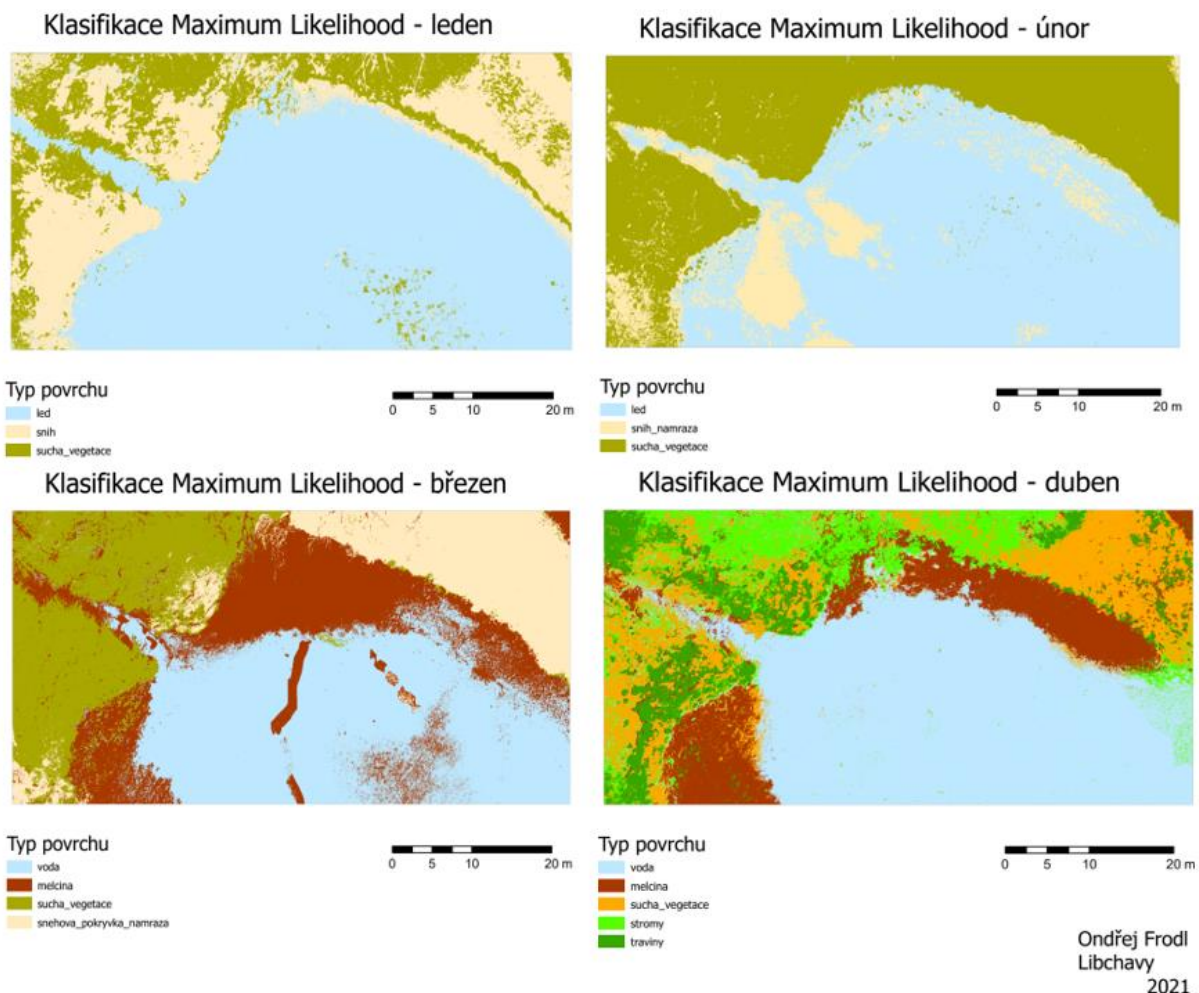
### 4.3.5. Klasifikace

Jak již bylo popsáno výše, klasifikace se dělí z hlediska různých kritérií. Software ArcGIS Pro ve svých nástrojích nabízí klasifikace různé, ať již řízené, tak neřízené. Pro řízenou klasifikaci je důležité vytvořit klasifikační schéma. Předmětné schéma následně obsahuje trénovací plochy, na kterých se předmětný algoritmus učí. Po naučení je provedena klasifikace všech pixelů do jednotlivých tříd.

Trénovací množina se vytváří na oříznuté vrstvě zájmového území. V kartě „Klasifikační nástroje“ je zobrazeno několik možností. Zde je potvrzeno „Správce cvičných vzorků“ a zvoleno „Vytvořit nové schéma“. Dle jednotlivých rozlišených pokryvů v referenční vrstvě je přidán počet tříd do trénovací množiny. K třídám jsou přidána jména a hodnoty, které korespondují s hodnotou ID. Po uložení byl vytvořen nový shapefile.

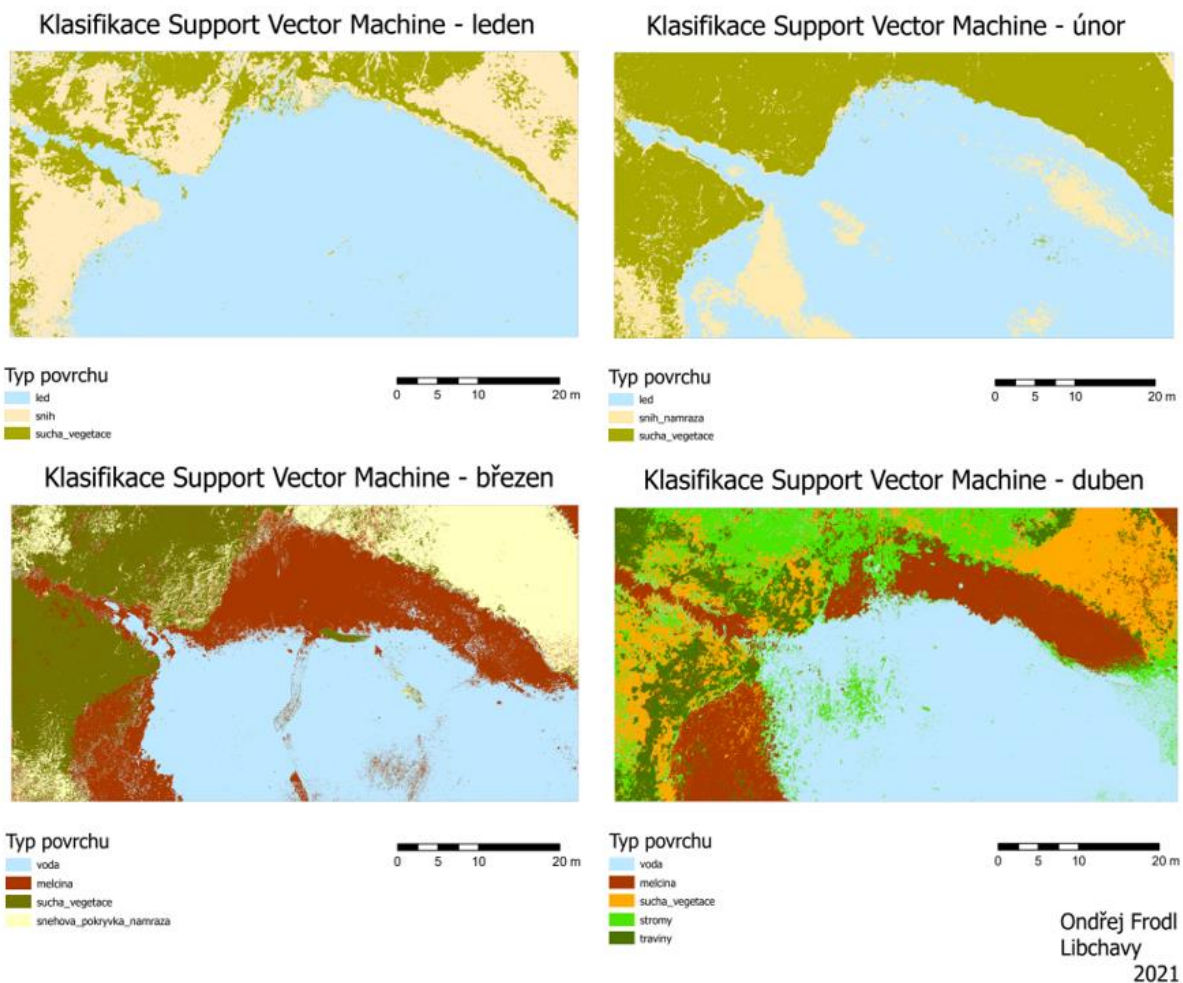
V softwaru ArcGIS Pro byly pro účely práce z řízené klasifikace zvoleny metody Support Vector Machine a Maximum Likelihood. Princip metod je popsán výše. Pro klasifikaci jednotlivých období byla otevřena karta „Klasifikační nástroje“. V tomto kroku je nutné mít označenu požadovanou vrstvu. Z možných nabídek byla zvolena záložka „Klasifikovat“ a v menu „Klasifikátor“ došlo k výběru požadované metody. Přes menu „Cvičné vzorky“ nastal výběr požadované trénovací množiny. Po ukončení klasifikace vznikl nový Shapefile, ve kterém bylo provedeno barevné rozlišení jednotlivých tříd spolu s jejich pojmenováním.

Postup při zpracování řízené klasifikace v programu ArcGIS Pro se pro jednotlivé metody neliší. Ovšem čas potřebný pro klasifikaci je u metody Support vector machine výrazně delší než pro klasifikaci metodou Maximum Likelihood.



Obrázek 13 - Klasifikace Maximum Likelihood

Zdroj: Vlastní zpracování



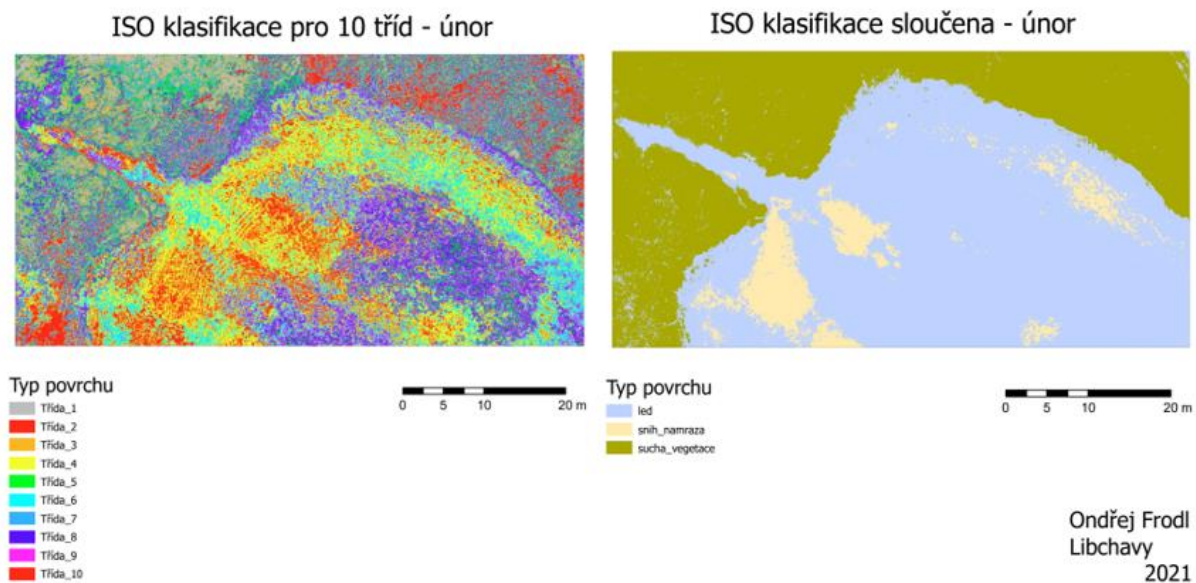
Obrázek 14 - Klasifikace Support Vector Machine

Zdroj: Zpracování vlastní

Postup pro neřízenou klasifikaci je v úvodních krocích obdobný. Zpracovatel musí mít označenu vrstvu, na které je provedena klasifikace. V kartě „Klasifikační nástroje“ je vybrána záložka „Klasifikovat“ a zde v menu „Klasifikátor“ zvolena možnost „Shluk ISO“. V této části zpracovatel pouze volí „Maximální počet tříd“. Software umožňuje volbu dalších parametrů jako je například počet iterací. Toto nastavení ponechal autor defaultně. Prvotně proběhlo ISO při nastavení počtu tříd shodného s definovaným počtem půdních pokryvů. Toto rozdělení jak graficky, tak matematicky vykázalo velice špatný výsledek. Správný postup při neřízené klasifikaci je navolit vysoké množství počtu tříd a následně je ručně slučovat. Došlo tedy k opětovnému provedení klasifikace tentokrát s počtem tříd 10 až 15, v závislosti na jednotlivých měsících a následnému sloučení. Na obrázku č. 15 je zobrazeno rozdělení do deseti tříd a následné sloučení do tří tříd pro měsíc únor. Samotné sloučení jednotlivých tříd probíhalo pomocí atributové tabulky, kde autor upravil identifikační hodnoty podle vlastní úvahy tak, aby každá vytvořená třída odpovídala správné třídě zvolené v referenční vrstvě. Po přečíslování



jednotlivých tříd provedl autor v záložce „Vzhled“ na kartě „Nastavení symbolů“ změnu barev, aby byla shodná s barevným rozlišením referenční vrstvy. Obdobně probíhala neřízená klasifikace na souborech, které vznikly výpočtem indexu. Vzhledem ke skutečnosti, že celkový grafický výstup z indexovaných vrstev nehodnotil autor jako lepší a výpočet správnosti zatřídění popsaného dále byl v rozdílu setin, rozhodl se autor dále popisovat postup ověření přesnosti na výstupech v pravých barvách.



Obrázek 15 - Shluk ISO - 10 tříd

Zdroj: Vlastní zpracování

### 4.3.6. Přesnost klasifikací

Jedna část práce spočívá v kvantifikování změny obsahu jednotlivých identifikovaných tříd v průběhu časových změn. V předešlé části práce byla jednotlivá časová údobí klasifikována. Po klasifikaci bylo do každé z tříd zařazeno určité množství pixelů. Nástroj ArcGIS Pro je schopen tyto pixely přepočítat na plochu v  $m^2$ . Je tedy relativně jednoduché porovnat mezi sebou plochy pro jednotlivé třídy při různých klasifikacích a následně kvantifikovat změnu v čase. Jak již bylo zmíněno, software provedl zatřídění jednotlivých pixelů do připravených tříd. Zde ale mohlo dojít k tomu, že pixel, který je reálně voda, byl začleněn do suché vegetace a pixel ze suché vegetace byl začleněn jako voda. Plošný výsledek zůstává shodný, ale grafický výstup je pokřiven. Z tohoto důvodu byla pro každou klasifikaci vytvořena chybová matice a byl vypočítán Kappa koeficient.

Postup ověření správnosti je následující. V programu ArcGIS Pro v záložce „Analýza“ v kartě „Nástroje“ byl vyhledán nástroj „Create Accuracy Assessment Points“. Po otevření nástroje autor vybral klasifikovaný výstup, který nyní sloužil jako vstupní vrstva do procesu. Po potvrzení požadovaného vstupu byla vytvořena nová bodová vrstva, defaultně nastaveno 500 bodů. Tyto body byly klasifikovány a byla jim přidělena určitá unikátní hodnota. Následně bylo těchto 500 klasifikovaných náhodných bodů porovnáno s referenční vrstvou. Porovnání bylo provedeno opět v nástrojích, kde v tomto kroku došlo k výběru „Update Accuracy Assessment Points“. Prvním vstupem byla referenční vrstva a druhým vrstva bodová, která vznikla v předešlém kroku. Podstatné bylo v okně „Target field“ zvolit možnost „Ground truth“. Výsledkem předešlých kroků, byla opět bodová vrstva. Po otevření atributové tabulky předmětné vrstvy bylo možné extrahovat informaci, jak byly jednotlivé body klasifikovány, a jak měly být zařazeny správně, což bylo zpracováno v Excelu. Extrahovaná tabulka nesla v jednom sloupci informaci o každém jednotlivém bodu a jeho správném umístění. Ve druhém sloupci byla zobrazena informace, kam byl pixel z určité třídy skutečně zařazen. Po součtu jednotlivých správně a nesprávně zařazených bodů bylo možné vytvořit chybovou matici, což je pomocný nástroj pro možnost výpočtu správnosti klasifikace. V tabulce č. 1 je zobrazena chybová matice klasifikátoru ISO pro měsíc únor, která interpretuje, jak byly jednotlivé pixely zařazeny. Celkem bylo 273 náhodných bodů umístěno podle referenční vrstvy do třídy led. Klasifikátor ISO ovšem začlenil těchto 273 bodů následovně: 260 správně jako led, 6 jich určil jako sníh\_námraza a 7 bodů bylo určeno jako suchá vegetace. Takto lze interpretovat každý řádek.

Tabulka 1 - Chybová matice pro klasifikátor ISO měsíce února

ISO	led	snih_namraza	s. vegetace	
led	260	6	7	273
snih_namraza	17	20	0	37
s. vegetace	1	10	179	190
	278	36	186	459

Zdroj: Vlastní zpracování

Po tvorbě chybové matice byl vypočítán kappa koeficient, který nabývá hodnot od 0 do 1. Čím je vyšší hodnota kappa koeficientu, tím lepší je shoda. Dle Červené se výsledek kappa koeficientu vyšší než 0,75 dá považovat za dobrý. V případě, kdy kappa koeficient je roven 1, byly všechny pixely zařazeny správně a nevznikla žádná chyba. Hodnota 1 se týká pouze referenční vrstvy, pro kterou autor také počítal kappa koeficient. Kappa koeficient se počítá dle

vzorce  $K = \frac{N \sum x_{ii} - \sum x_{i+} x_{+i}}{N^2 - \sum x_{i+} x_{+i}}$ , kde N je počet prvků,  $x_{ii}$  jsou prvky na diagonále,  $x_{+i}$  prvky

v i-tém řádku a  $x_{ii}$  prvky v i-tém sloupci. V tabulce 2 jsou zobrazeny hodnoty výpočtů kappa koeficientu pro jednotlivé měsíce a jednotlivé metody klasifikací.

Tabulka 2 - hodnoty kappa koeficientů

Leden	ISO	ML	SVM
Kappa	0,722316	0,765128	0,7475039
Únor	ISO	ML	SVM
Kappa	0,8508375	0,76958	0,8249198
Březen	ISO	ML	SVM
Kappa	0,62776	0,7246031	0,769409
Duben	ISO	ML	SVM
Kappa	0,692691	0,7788451	0,721003

Zdroj: Vlastní zpracování

Po výpočtu kappa koeficientů, kdy na základě číselných hodnot bylo možné určit, že výsledky klasifikací jsou dobré, došlo k extrakci informací o plochách z jednotlivých výstupů a následně jejich zpracování. Jak již bylo zmíněno, referenční vrstvy mají v atributové tabulce informaci o rozlohách dle jednotlivých tříd. Ostatní výstupy jsou rastrové, bylo zapotřebí nejprve počet pixelů převést na plochu. Ke zmíněnému převodu byla v kartě „Nástroje“ použita funkcionálita s názvem „Zonal Statistics As Table“, kde jako vstupní vrstva byla vždy shodně použita jedna z výsledných klasifikací a byla zvolena unikátní hodnota. V tomto případě se jednalo zpravidla o ID, které pro každou třídu bylo unikátní. ArcGIS Pro po zadání uvedených vstupů a nastavení hodnot spočetl a vytvořil samostatné tabulky, které obsahovaly informace o plochách pro jednotlivé třídy při daných klasifikacích. Následná tabulka č. 3 reprezentuje přehled důležitých informací, kde je pro každý časový interval zvýrazněn sloupec, reprezentující referenční vrstvu. Dále je zvýrazněn sloupec reprezentující vrstvu s nejlepší hodnotou klasifikace. Poslední zvýrazněný údaj je nejvyšší dosažená hodnota kappa koeficientu. Jedná se o informace důležité pro následnou interpretaci.

Tabulka 3 - Finální zpracování

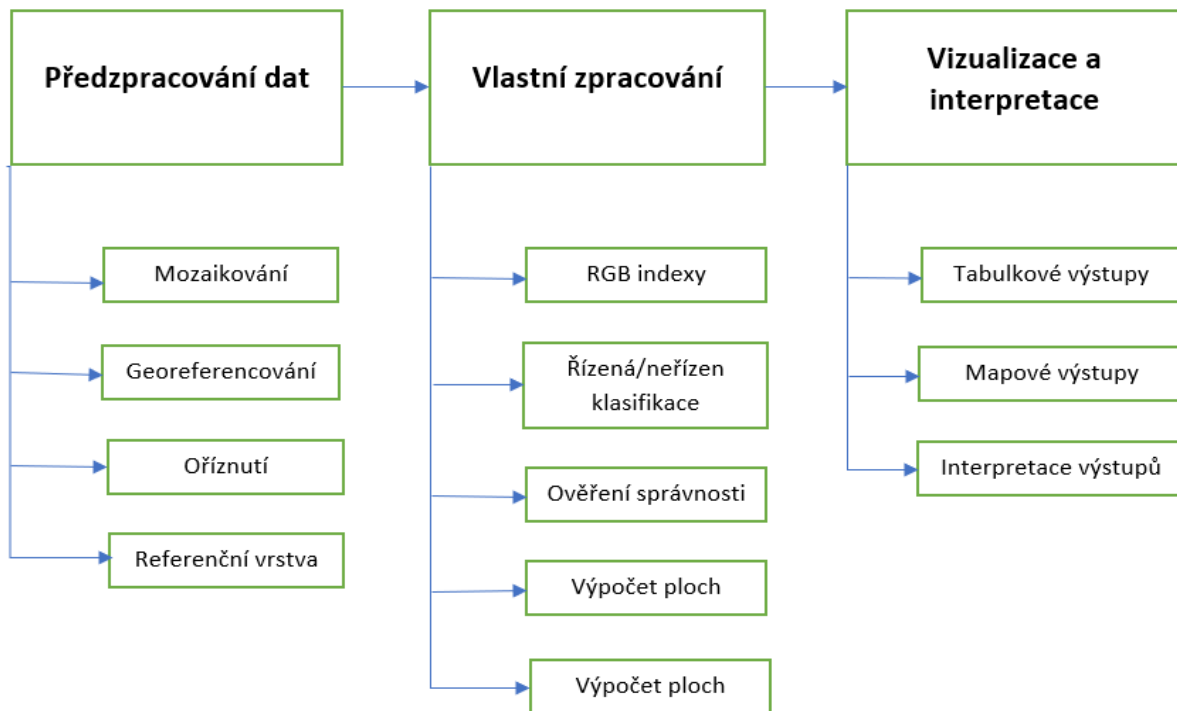
Leden	Referenční	ISO	ML	SVM
Led v m2	1506	1635	1428	1460
Suchá vegetace v m2	614	462	641	646
Sníh v m2	372	394	422	386
Celková plocha v m2	2492	2492	2492	2492
Kappa	1,00	0,72	0,77	0,75
Únor	Referenční	ISO	ML	SVM
Led v m2	1416	1361	1240	1305
Sníh námraza v m2	183	183	311	300
Suchá vegetace v m2	892	948	941	886
Celková plocha v m2	2492	2492	2492	2492
Kappa	1,00	0,85	0,77	0,82
Březen	Referenční	ISO	ML	SVM
Voda v m2	1133	1253	971	981
Mělčina v m2	369	416	597	582
Suchá vegetace v m2	626	435	538	528
Sníh námraza v m2	363	389	386	400
Celková plocha v m2	2492	2492	2492	2492
Kappa	1,00	0,63	0,72	0,77
Duben	Referenční	ISO	ML	SVM
Voda v m2	1186	1143	1137	1008
Mělčina v m2	305	453	366	430
Suchá vegetace v m2	595	643	463	426
Traviny v m2	295	153	294	388
Stromy v m2	111	100	232	239
Celková plocha	2492	2492	2492	2492
Kappa	1,00	0,69	0,78	0,72

Zdroj: Vlastní zpracování

Po zpracování číselných výstupů z jednotlivých analýz je vhodné zvýraznit dvě skutečnosti, na něž bylo upozorňováno v textu výše. V tabulce č. 3 pro měsíc duben by se v případě porovnávání pouze ploch jevil jako nejlepší klasifikátor ISO. Po výpočtu kappa koeficientu je ale tento klasifikátor, z realizovaných metod, ten nejhorší. Je možné tvrdit, že při klasifikaci došlo k náhodnému prohození zatříděných pixelů tak, že celkové plochy se sice k sobě obsahově přibližují, ale na jiných místech. Toto je možné demonstrovat na tabulce č. 1 při porovnání s tabulkou č. 3. V tabulce č. 3 pro měsíc únor má referenční vrstva pro třídu sníh/námraza shodnou plochu jako při použití klasifikátoru ISO. Z tabulky č. 1 ovšem vyplývá, že z 37 náhodných bodů klasifikovaných jako sníh/námraza jich bylo pouze 20 zařazeno správně.

### 4.3.7. Návrh postupu zpracování dat

Pro návrh postupu zpracování dat získaných s využitím UAV byla zvolena výchozí situace po letové misi. V této fázi bylo již zájmové území nasnímáno. Schéma na obrázku č. 16 znázorňuje jednotlivé kroky od okamžiku, kdy má zpracovatel v ruce jednotlivé snímky, přes jejich předzpracování, zpracování, až po interpretaci detekovaných změn.



Obrázek 16 - návrh postupu zpracování

Zdroj: Vlastní zpracování

Výše uvedený postup byl ověřen v průběhu diplomové práce a na základě předmětného schématu bylo možné data zpracovat, vizualizovat a interpretovat.

### 4.4. Vizualizace a interpretace výsledků

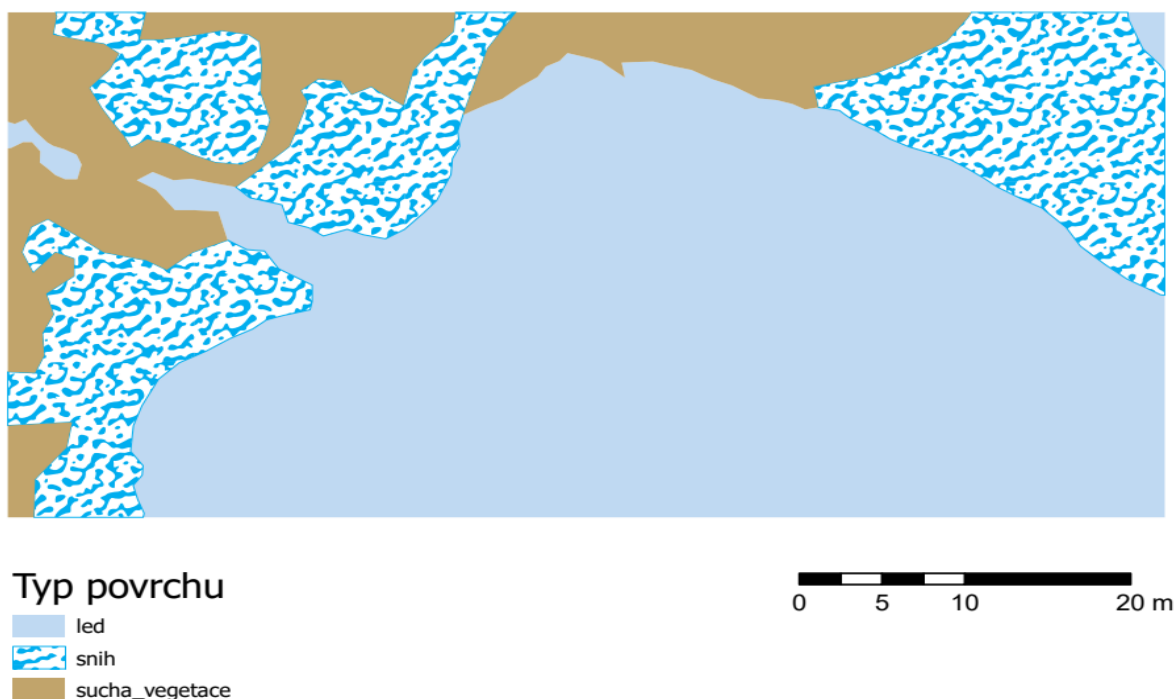
Po ověření správnosti zatřídění autor přistoupil k vizualizaci a interpretaci výsledků. Pro vizualizaci výsledků byl opět použit nástroj ArcGIS Pro, který umožňuje tvorbu mapových děl, čehož bylo dosaženo v záložce „Vložit“ na kartě „Nový výkres“. Zde autor pomocí exportu vytvořil pro každý konkrétní měsíc pdf soubor, který obsahuje generalizované zájmové území, legendu s popisy jednotlivých typů půdních pokryvů a měřítko. Nejprve se autor zaměřil na popis konkrétního měsíce, a následně na porovnání jednotlivých měsíců mezi sebou.



#### 4.4.1. Zhodnocení zájmového území v lednu

V roce 2018 byl měsíc leden relativně teplý. K ochlazování došlo v druhé polovině měsíce, kdy se teploty po většinu dne držely pod bodem mrazu. Z tohoto důvodu došlo k částečnému zamrznutí vodní plochy, kde výjimku tvořila velice malá plocha při ústí potoka. Autor přistupuje k předmětné ploše jako celkově zamrzlé. Z důvodu nižších teplot v druhé půli měsíce a značným srážkám došlo k vytvoření sněhového pokryvu, který v době letové mise byl patrný pouze mimo vodní plochu. Nejpřesnější klasifikace byla dosažena metodou Maximum Likelihood, kde jsou si jednotlivé klasifikované plochy obsahově velice podobné. Přesto byl v tomto případě koeficient kappa vypočten s hodnotou 0,77. Dle chybové matice bylo nejvíce nepřesností způsobeno při zařazování suché vegetace, která byla často zařazena jako sníh/námraza. K tomuto došlo z důvodu existence úzkých pruhů sněhové pokrývky v suché vegetaci a opačně. Tyto přechody by při tvorbě referenční vrstvy bylo velice obtížné postihnout. Vzhledem ke kappa koeficientu 0,77 lze výstup na obrázku č. 16 považovat za věrný.

#### Referenční vrstva pro měsíc leden



Ondřej Frodl  
Libchavy  
2021

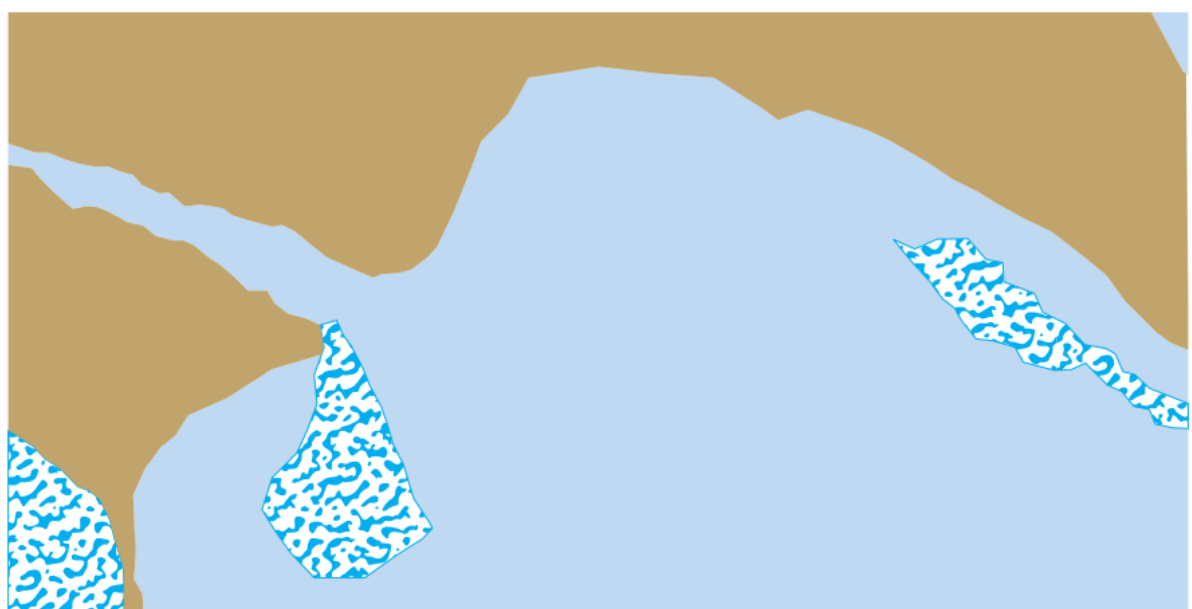
Obrázek 17 - vizualizace měsíce ledna

Zdroj: Vlastní zpracování

#### 4.4.2. Zhodnocení zájmového území v únoru

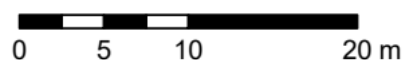
V únoru roku 2018 byla teplota většinou pod bodem mrazu, a to jak v noci, tak přes den. To vedlo k zamrznutí celého rybníka a vytvoření silnější vrstvy ledu. Srážek v dané lokalitě bylo v měsíci únoru málo a sněhové plochy se omezily převážně na hladinu rybníka. Třebaže si byl autor vědom, že se většina sněhové pokrývky nachází na ledové ploše, rozhodl se ji zahrnout do třídy sněhové pokrývky z důvodu předpokladu rozdílné odrazivosti. V tomto případě byla nejpřesnější klasifikace ISO, kde nejčastější chyby vznikly začleněním sněhové pokrývky jako ledu. K tomu došlo z důvodu nepřesnosti při tvorbě referenční vrstvy. Koeficient 0,85 je nicméně velice vysoký a referenční vrstvu lze považovat za věrnou.

### Referenční vrstva pro měsíc únor



#### Typ povrchu

- led
- snih\_namraza
- sucha\_vegetace



Ondřej Frodl  
Libchavy  
2021

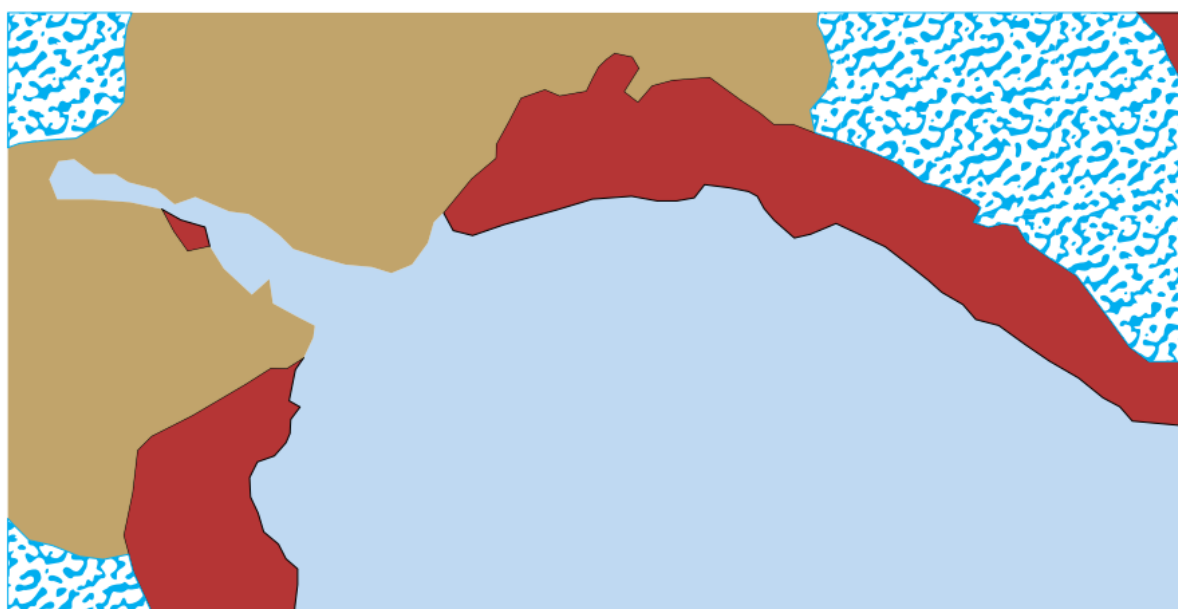
Obrázek 18 - vizualizace měsíce února

Zdroj: Vlastní zpracování

### 4.4.3. Zhodnocení zájmového území v březnu

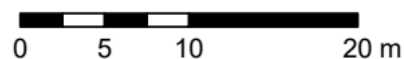
Měsíc březen roku 2018 byl teplotně velice proměnlivý, hluboké mrazy střídaly v daném měsíci vysoké teploty. Vzhledem k těmto výkyvům byla ledová pokrývka v době letové mise již zcela rozpuštěna. Ovšem z výše uvedených příčin byla v téže době patrná silná námraza, a to především na severně položeném výběžku. Z tohoto důvodu byly pro měsíc leden definovány nové třídy. Jednalo se o vodu, mělčinu, suchou vegetaci a sněhové pokrytí/námraza. Poslední zmíněný pokryv byl následně velice dobře klasifikován. Nejvíce nepřesnosti se projevilo při zařazování pixelů mělčiny, kde téměř 40 % bylo zařazeno jako voda. K této nepřesnosti došlo z důvodu generalizace. Největší přesnosti bylo dosaženo metodou Support Vector Machine.

## Referenční vrstva pro měsíc březen



#### Typ povrchu

- voda
- melcina
- sucha\_vegetace
- snehove\_pokryti\_namraza



Ondřej Frodl  
Libchavy  
2021

Obrázek 19 - vizualizace měsíce března

Zdroj: Zpracování vlastní

#### 4.4.4. Zhodnocení zájmového území v dubnu

Měsíc duben roku 2018 se vyznačoval netypicky vysokými teplotami. Z tohoto důvodu došlo k několika výrazným změnám. V tomto měsíci se již neobjevily plochy spojené s nízkými teplotami. Oproti tomu byly identifikovány nově plochy se zelenou vegetací. Tyto plochy byly rozděleny na traviny a stromy. Nejpřesnější klasifikační metodou vůči referenční vrstvě byla metoda ML s hodnotou 0,78. U klasifikování měsíce dubna nebyla třída, na kterou by bylo možné jednoznačně ukázat jako chybovou. Nepřesnosti byly rovnoměrné a většinou se jednalo o záměnu sousedních ploch, což bylo způsobeno generalizací referenční plochy.

### Referenční vrstva pro měsíc duben



#### Typ povrchu

- voda
- melcina
- sucha\_vegetace
- stromy
- traviny

0 5 10 20 m

Ondřej Frodl  
Libchavy  
2021

Obrázek 20 - vizualizace měsíce dubna

Zdroj: vlastní zpracování

#### 4.4.5. Celkové zhodnocení

Autor se dále zaměřil na identifikaci a interpretaci změn, které bylo možné pozorovat na zájmovém území v průběhu prvních čtyř měsíců roku 2018. Vzhledem ke skutečnosti, že se jednalo o zimní a časně jarní měsíce, bylo možné sledovat pouze omezené množství rozličných ploch. Zima je obecně období klidu. Ke změnám mohlo docházet pouze prostřednictvím výkyvy teplot, případně sněhovými srážkami, které mohly měnit odrazivost jednotlivých tříd. V lednu a únoru se toto dělo pouze ve velice omezené míře. V měsíci lednu bylo na zájmovém území 1.506 m<sup>2</sup> ledové plochy, 614 m<sup>2</sup> suché vegetace a 372 m<sup>2</sup> sněhu. V měsíci únoru se uvedené třídy měnily málo, a to výhradně ve spojitosti se změnou sněhové pokrývky. Z pohledu změn byl významnější měsíc březen, ve kterém došlo k rozpuštění ledové plochy. Od tohoto okamžiku byla pozorována vodní plocha a mělčina. Vodní plocha v měsíci březnu zaujímala plochu o rozloze 1.133 m<sup>2</sup>, mělčina byla zakreslena na ploše 369 m<sup>2</sup>, suchá vegetace na ploše 626 m<sup>2</sup> a třída sních/námraza na ploše 363 m<sup>2</sup>. V měsíci dubnu se začaly objevovat traviny, které již prorůstaly suchou vegetací. V tomto měsíci začaly být na stromech patrné listy, což vedlo k jejich začlenění do referenční vrstvy. Výměry ploch pro jednotlivé třídy v daném období jsou následující. Voda 1.186 m<sup>2</sup>, mělčina 305 m<sup>2</sup>, suchá vegetace 595 m<sup>2</sup>, traviny 295 m<sup>2</sup> a stromy 111 m<sup>2</sup>. V měsíci dubnu došlo z důvodu změny teplot k zániku sněhových a námrazových ploch. Vznik nové třídy „tráva“ a „stromy“ souvisí s přirozenou fenologickou fází.

Autor se v průběhu práce pokusil vylepšit výsledky neřízené klasifikace pomocí indexů pro jednotlivá časová období. Předmětná činnost vedla pouze k velice malému zpřesnění, a to pro měsíc únor. Pro ostatní měsíce byly dosaženy mírně horší výsledky. Autor toto přisuzuje skutečnosti, že se jednalo o vegetační indexy a v průběhu sledovaného období byla vegetace buď žádná nebo minimální.

## Závěr

Cílem diplomové práce bylo na zvoleném zájmovém území navrhnout postup pro zpracování dat získaných s využitím UAV. Součástí diplomové práce byla také vizualizace a interpretace výsledků

Samotnou práci je možné rozdělit na dvě části. V teoretické části autor představuje obecně problematiku dálkového průzkumu Země spolu s možnými postupy pro extrahování podstatných informací. V druhé, praktické části práce byl detailně popsán postup pro získání a zpracování dat včetně ověření správnosti výstupů a návržení postupu pro zpracování a předzpracování dat.

Data byla získána při letové misi nad zájmovým územím v rozmezí měsíců ledna až dubna roku 2018. Snímkování bylo provedeno za pomoci dronu osazeného zařízením, které pořizovalo data ve viditelné části spektra. Po nasnímání zájmového území byla získaná data převedena do podoby mozaiky pro každé časové období. Předmětné mozaiky obdržel autor diplomové práce k dalšímu zpracování.

Získaná data byla zpracovávána v softwaru ArcGIS Pro a jednotlivé dílčí výsledky také v excelu. Samotná praktická část autora započala georeferencováním, což byla činnost, při které se jednotlivé mozaiky zarovnaly nad sebe. Následně došlo k redukci na zájmové území a tvorbě referenční polygonové vrstvy. Na takto redukované ploše autor za pomoci nástroje ArcGIS Pro realizoval řízenou i neřízenou klasifikaci a propočítával výše uvedené RGB indexy. Následně autor přistoupil k ověření správnosti klasifikace. Za tímto účelem byly vytvořeny nové pomocné bodové vrstvy, jež nesly požadovanou informaci, která byla zpracována v excelu. Na základě vypočteného kappa koeficientu mohl autor ověřit správnost jednotlivých klasifikací. Po tomto ověření byl navrhnout postup pro předzpracování a zpracování dat získaných pomocí UAV. V závěru práce autor provedl vizualizaci a interpretaci dílčích výsledků a následně tyto závěry shrnul do souvislostí pro celé časové období.

Cíle diplomové práce byly naplněny. Autor zpracoval obdržená data a, na základě ověření správnosti jednotlivých výstupů, navrhl obecný postup pro zpracování. Přínos této práce spočívá v detailním popisu jednotlivých kroků, které mohou sloužit jako manuál pro práci v softwaru ArcGIS Pro, a ve vytvoření výše uvedeného návrhu pro předzpracování a zpracování dat.

## Seznam literatury

- 1) BARBOSA, B.D.S., G.A.S. FERRAZ, L.M. GONCALVES, D.B. MARIN, D.T. MACIEL, P.F.P. FERRAZ, G. ROSSI. *RGB vegetation indices applied to garss monitoring: a qualitative analysis*. [online] 2019 [cit. 2021-06-21]. Dostupné z WWW: <[https://dspace.emu.ee/bitstream/handle/10492/4846/Vol17No2\\_Barbosa.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://dspace.emu.ee/bitstream/handle/10492/4846/Vol17No2_Barbosa.pdf?sequence=4&isAllowed=y)>
- 2) BENDIG, Juliane, Kang YU, Helge AASEN, Andres BOLTEN 2015. Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 39, pp. 79–87.
- 3) CAMBELL, James, Randolph WYNNE. *Intorduction to Remote Sensing*, 5th edition. New York, The Guilforf Press, 2011. ISBN: 978-1-60918-176-5
- 4) ČERVENÁ, Lucie. *Řízená klasifikace*. [online]. 2016 [cit. 2021-06-20]. Dostupné z WWW: <<https://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/ke-stazeni/projekty/moderni-geoinformacni-metody-ve-vyuce-gis-kartografie-a-dpz/rizena-klasifikace/>>
- 5) ČERVENÁ, Lucie. *Neřízená klasifikace*. [online]. 2016 [cit. 2021-06-20]. Dostupné z WWW: <<https://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/ke-stazeni/projekty/moderni-geoinformacni-metody-ve-vyuce-gis-kartografie-a-dpz/nerizena-klasifikace/>>
- 6) DOBROVOLNÝ, Petr. *Dálkový průzkum Země: Digitální zpracování obrazu*. Brno: Masarykova Univerzita, 1998, 210 s. ISBN 80-210-1812-7
- 7) Droneweb. *Co je dron?* [online]. [cit. 2021-05-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.droneweb.cz/co-je-dron/>>
- 8) DronPro. *Složky IZS* [online]. [cit. 2021-05-29]. Dostupné z WWW: <<https://dronpro.cz/drony-v-armade-a-u-policie>>
- 9) EUGENIO, Francisco, Marcelo JAVIER, Ferran MARQUÉS. *REMOTE SENSING TUTORIAL TELECAN* [online]. 2014 [cit. 2021-05-26]. Dostupné z WWW: <[https://www.grss-ieee.org/wp-content/uploads/2014/07/EN\\_TUTORIAL\\_COMPLETO.pdf](https://www.grss-ieee.org/wp-content/uploads/2014/07/EN_TUTORIAL_COMPLETO.pdf)>
- 10) FRANCESCONI, Sara, Antoine HARFOUCHE, Mauro MAESANO, Giorgio BALESTRA. *UAV-Based Thermal, RGB Imaging and Gene Expression Analysis*

- Allowed Detection of Fusarium Head Blight and Gave New Insights Into the Physiological Responses to the Disease in Durum Wheat* [online]. 2021 [cit. 2021-06-21]. Dostupné z WWW:  
<<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.628575/full>>
- 11) GEORGOULA, Olga, Kimon PAPANIMITRIOU, UNDERWATER 3D MODELING: IMAGE ENHANCEMENT AND POINT CLOUD FILTERING [online]. 2016 [cit. 2021-06-18]. Dostupné z WWW:  
<[https://www.researchgate.net/publication/303864925\\_UNDERWATER\\_3D\\_MODELING\\_IMAGE\\_ENHANCEMENT\\_AND\\_POINT\\_CLOUD\\_FILTERING](https://www.researchgate.net/publication/303864925_UNDERWATER_3D_MODELING_IMAGE_ENHANCEMENT_AND_POINT_CLOUD_FILTERING)>
  - 12) Gisat. *DPZ: Zpracování dat: Klasifikace*. [online]. [cit. 2021-06-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/zpracovani-dat/klasifikace>>
  - 13) GOODFELLOW, Ian, Yoshua BENGIO, Aaron COURVILLE. *DEEP LEARNING*, Cambridge, MIT Press Ltd, 2017. ISBN 978-0-262-03561-3
  - 14) HALOUNOVÁ, Lenka, Karel PAVELKA, *DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ*, Praha, České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-03124-7
  - 15) Herschel Space Observatory: What is infrared lights? [online]. [cit. 2021-06-05]. Dostupné z WWW: <<https://herscheltelescope.org.uk/science/infrared/>>
  - 16) JENSEN, John. *INTRODUCTORY DIGITAL IMAGE PROCESSING: A Remote Sensing Perspective*, 4th. edition, United States, Person Education, 2015, 544 s., ISBN: 978-0-13-405816-0
  - 17) KARABURUN, Ahmet. *Estimation of C factor soil erosion modeling using NDVI in Buyukcekmece watershed*. [online] 2010 [cit. 2021-06-21]. Dostupné z WWW: <[https://www.academia.edu/408871/Estimation\\_of\\_C\\_Factor\\_for\\_Soil\\_Erosion\\_Modeling\\_Using\\_NDVI\\_In\\_Buyukcekmece\\_Watershed](https://www.academia.edu/408871/Estimation_of_C_Factor_for_Soil_Erosion_Modeling_Using_NDVI_In_Buyukcekmece_Watershed)>
  - 18) KOMÁRKOVÁ, Jitka, Jakub JECH, Pavel SEDLÁK. Comparison of Vegetation Spectral Indices Based on UAV Data - Land Cover Identification Near Small Water Bodies. *2020 15th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 2020, pp. 1-4, doi: 10.23919/CISTI49556.2020.9140899.
  - 19) KOMÁRKOVÁ, Jitka, Jakub JECH. Processing UAV Based RGB Data to Identify Land Cover with Focus on Small Water Body. *2020 15th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 2020, pp. 1-6, doi: 10.23919/CISTI49556.2020.9141170.
  - 20) KOSMONAUTIX.CZ. Okolo světa s Pleiades Neo 3 [online]. 2021 [cit. 2021-05-27]. Dostupné z WWW: <<https://kosmonautix.cz/2021/05/109055/>>



- 21) KHAN, Asharul, Yassen AL-MULLA. *Unmanned Aerial Vehicle in the Machine Learning Environment*. [online]. 2019 [cit. 2021-05-27]. Dostupné z WWW: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050919316576>>
- 22) KLEM, Karel, Petr MÍŠA, Marek MÍŠA, Jan KŘEN. *Využití měření spektrální odrazivosti a odvozených specializovaných vegetačních indexů v pěstební technologii jarního ječmene*. Kroměříž, Agrotest fyto, s.r.o., 2018, 25s, ISBN: 978-80-87555-12-5
- 23) KUKUTSCH, Radovan, Petr WACLAWIK, Vratislav Řehoř. *Využití bezpilotních prostředků v těžebním průmyslu* [online]. 2019 [cit. 2021-05-28]. Dostupné z WWW: <[https://www.researchgate.net/publication/337919854\\_Vyuziti\\_bezpilotnich\\_prostredku\\_v\\_tezebnim\\_prumyslu](https://www.researchgate.net/publication/337919854_Vyuziti_bezpilotnich_prostredku_v_tezebnim_prumyslu)>
- 24) Kůrovec v Praze. *MONITORING KŮROVCE POMOCÍ DRONŮ* [online]. [cit. 2021-06-02]. Dostupné z WWW: <<https://kurovec.natur.cuni.cz/uav-monitoring>>
- 25) LAWHEAD, Joel. *Learning Geospatial Analysis with Python*, 2nd edition, Birmingham, Pact Publishing Ltd, 2015. ISBN: 978-1-78355-242-9
- 26) LEBOURGEOS, Valentine, Stéphane DUPUY, Élodie VINTROU, Mael AMELINE, Suzane BUTLER, Agnes BÉGUÉ. *A Combined Random Forest and OBIA Classification Scheme for Mapping Smallholder Agriculture at Different Nomenclature Levels Using Multisource Data (Simulated Sentinel-2 Time Series, VHRS and DEM)* [online]. [cit. 2021-06-20]. Dostupné z WWW: <<https://www.mdpi.com/2072-4292/9/3/259/htm>>
- 27) LILLESAND, Thomas, Jonathan CHIPMAN, Ralph KIEFER. *Remote Sensing and Image Interpretation*, 5th edition, Hoboken, John Wiley & Sons, 2004. ISBN: 978-0-471-45152-5
- 28) LOUHAICHI, Mounir, Michael BORMAN, Douglas JOHNSON. *Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat*. [online] 2001. [cit. 2021-06-18]. Dostupné z WWW: <[https://www.researchgate.net/publication/228906661\\_Spatially\\_Located\\_Platform\\_and\\_Aerial\\_Photosphy\\_for\\_Documentation\\_of\\_Grazing\\_Impacts\\_on\\_Wheat](https://www.researchgate.net/publication/228906661_Spatially_Located_Platform_and_Aerial_Photosphy_for_Documentation_of_Grazing_Impacts_on_Wheat)>
- 29) PALIK, Matyas, Máté, NAGY. *BRIEF HISTORY OF UAV DEVELOPMENT*. [online] 2019. [cit. 2021-05-20]. Dostupné z WWW: <[https://www.researchgate.net/publication/333584348\\_Brief\\_history\\_of\\_UAV\\_development](https://www.researchgate.net/publication/333584348_Brief_history_of_UAV_development)>
- 30) PLÁNKA, Ladislav. *Dálkový průzkum Země: Spektrální vlastnosti krajinných objektů (spektrometrie), vegetační indexy* [online]. [cit. 2021-06-06]. Dostupné z WWW:

- <[https://www.hgf.vsb.cz/export/sites/hgf/544/.content/galerie-souboru/planka/dpz/DPZ\\_03\\_POVRCH\\_STUDENTI.pdf](https://www.hgf.vsb.cz/export/sites/hgf/544/.content/galerie-souboru/planka/dpz/DPZ_03_POVRCH_STUDENTI.pdf)>
- 31) Physicword. *James Clerk Maxwell: a force for physics* [online]. 2006 [cit. 2021-05-30]. Dostupné z WWW: <<https://physicsworld.com/a/james-clerk-maxwell-a-force-for-physics/>>
- 32) PRISACARIU, Vasile. *THE HISTORY AND EVOLUTION OF UAVs FROM THE BEGINNING TILL THE 70s* [online]. 2017 [cit. 2021-05-27]. Dostupné z WWW: <[http://journal.dresmara.ro/issues/volume8\\_issue1/15\\_Vasile\\_PRISACARIU.pdf](http://journal.dresmara.ro/issues/volume8_issue1/15_Vasile_PRISACARIU.pdf)>
- 33) Royal Holloway University of London. *Support Vector Machine*. [online]. [cit. 2021-06-22]. Dostupné z WWW: <<https://cml.rhul.ac.uk/svm.html>>
- 34) SCHEJBAL, Ctirad, Vladimír HOMOLA, František STANĚK. *Geoinformatika*. Košice: PONT 2004, 209 s., ISBN 80-967611-8-8
- 35) SCHWARZ, David. *VYUŽITÍ BEZPILOTNÍCH LÉTAJÍCÍCH PROSTŘEDKŮ PRO TELEMETRICKÉ ÚČELY* [online]. 2010 [cit. 2021-05-30]. Dostupné z WWW: <<https://pernerscontacts.upce.cz/index.php/perner/article/view/1022/854>>
- 36) SINGHAL, Gaurav, Babankumar BANSOD, Lili MATHEW. *Unmanned Aerial Vehicle classification, Applications and Challenges* [online]. 2018 [cit. 2021-05-29]. Dostupné z WWW: <<https://www.preprints.org/manuscript/201811.0601/v1>>
- 37) STARÝ, K., Z. JELÍNEK, J. KUMHÁLOVÁ, J. CHYBA, K. BLÁŽOVÁ. *Comparing RGB – based vegetation indices from UAV imageries to estimate hops canopy area. Challenges* [online]. 2020 [cit. 2021-06-23]. Dostupné z WWW: <[https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/6091/AR2020\\_Vol18No4\\_Stary.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/6091/AR2020_Vol18No4_Stary.pdf?sequence=4&isAllowed=y)>
- 38) SVATOŇOVÁ, Hana, Lubomír LAUERMAN. *Dálkový průzkum Země – aktuální zdroj geografických informací*. Brno. Masarykova Univerzita, 2010, 96 s. ISBN 978-80-210-5162-1
- 39) ŠADIBOL, Jozef, František CHUDÝ. *PANCHROMATICKÉ ZAOSTROVANIE MULTISPEKTRÁLNÝCH SNÍMOK NA ZÍSKAVANIE KVANTITATÍVNYCH A KVALITATÍVNYCH INFORMÁCIÍ V OBLASTIÍ LESNÍCKEHO MAPOVANIA* [online]. 2013 [cit. 2021-06-26]. Dostupné z WWW: <[http://gisak.vsb.cz/GIS\\_Ostrava/GIS\\_Ova\\_2013/sbornik/papers/gis2013508affc97d081.pdf](http://gisak.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2013/sbornik/papers/gis2013508affc97d081.pdf)>

- 40) ŠTEFÁČEK, Stanislav. *Encyklopedie vodních ploch, Čech, Moravy a Slezka*. Praha: Libri 2010, ISBN 978-80-7277-440-1
- 41) TICHÝ, Tomáš, Jakub, KARAS. *Drony*. Brno: Computer Press 2016, 264 s., ISBN 978-80-251-4680-4
- 42) TOMKOVÁ, Michaela, Jakub LYSÁK. *ZPRACOVÁNÍ DAT LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ PÍSKOVCOVÝCH SKAL Z UAV* [online]. 2020 [cit. 2021-05-28]. Dostupné z WWW: <[http://gisak.vsb.cz/GIS\\_Ostrava/GIS\\_Ova\\_2020/sbornik/papers/gis20205de23aa35111e.pdf](http://gisak.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2020/sbornik/papers/gis20205de23aa35111e.pdf)>
- 43) ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. *Základní informace k regulačnímu rámci EU pro bezpilotní systémy* [online]. [cit. 2021-05-28]. Dostupné z WWW: <<https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/zakladni-informace-k-regulacnimu-ramci-eu-pro-bezpilotni-systemy/>>
- 44) ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. *Co je to bezpilotní letadlo, bezpilotní systém, model letadla?* [online]. [cit. 2021-05-28]. Dostupné z WWW: <<https://www.caa.cz/provoz-stare/letadla-bez-pilota-na-palube/provoz-ostatnich-letadel-bez-pilota-na-palube/co-je-to-bezpilotni-letadlo-bezpilotni-system-model-letadla/>>
- 45) VEČEŘA, Filip. *VYUŽITÍ UAV PRO ZVÝŠENÍ OPERAČNÍ A TAKTICKÉ HODNOTY JEDNOTEK POŽÁRNÍ OCHRANY ČR* [online]. 2019 [cit. 2021-05-26]. Dostupné z WWW: <<http://trilobit.fai.utb.cz/Data/Articles/PDF/55e39639-8e2f-4dcb-a247-45d2a0f22ce7.pdf>>
- 46) WAGENINGEN UNIVERSITY & RESEARCH. *Unmanned Aerial Vehicle for Laser Scanning* [online]. [cit. 2021-05-20]. Dostupné z WWW: <<https://www.wur.nl/en/product/Unmanned-Aerial-Vehicle-for-Laser-Scanning-LiDAR-UAV.htm>>
- 47) WAGNER, Markus. *Unmanned Aerial Vehicles*. [online]. 2015 [cit. 2021-05-28]. Dostupné z WWW: <[https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2584652](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2584652)>
- 48) YAMAGATA, Youshiky. *Advanced Remote Sensing Techniques for Monitoring Complex Ecosystems: Spectral Indices, Unmixing, and Classification of Wetlands*. [online]. 1999 [cit. 2021-05-26]. Dostupné z WWW: <<https://www.nies.go.jp/kanko/kenkyu/enpdf/972141-1.pdf>>