

Bakalářská práce



České  
vysoké  
učení technické  
v Praze

**F1**

Fakulta stavební  
Katedra geomatiky

---

## Porovnání multispektrálních dat z RPAS a družicového snímače

---

**Tomáš Krauz**

Vedoucí: prof. Dr. Ing. Karel Pavelka  
Studijní program: Geodézie a kartografie  
Studijní obor: Geodézie a kartografie  
Květen 2021



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Krauz** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **486121**  
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra geomatiky**  
Studijní program: **Geodézie a kartografie**  
Studijní obor: **Geodézie, kartografie a geoinformatika**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Porovnání multispektrálních dat z RPAS a družicového snímače**

Název bakalářské práce anglicky:

**comparison of multispectral data from RPAS and satellite sensor**

Pokyny pro vypracování:

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**prof. Dr. Ing. Karel Pavelka, Katedra geomatiky FSv**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **15.02.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **23.05.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
prof. Dr. Ing. Karel Pavelka  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Jiří Máca, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta





## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu prof. Dr. Ing. Karlu Pavelkovi za hodnotné připomínky k mé bakalářské práci a jeho drahocenný čas. V neposlední řadě děkuji své rodině a přátelům za trpělivost a celkovou podporu.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci „Porovnání multispektrálních dat z RPAS a družicového snímače“ vypracoval samostatně a uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem č. 1/2009 o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, 23. května 2021

.....

Podpis studenta

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se věnuje porovnání multispektrálních dat z RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems) a družicového snímače. K tomuto účelu byla oblast Božídarské rašeliniště nasnímána pomocí dronu eBee od firmy SenseFly a družice Sentinel-2A z programu Copernicus. Část této práce je také věnována historii, vlastnostem a aktuálnímu výzkumu v oblasti RPAS snímání, stejně tak i pro oblast družicového snímání. Zároveň jsou v této práci představeny a popsány vybrané vegetační indexy spolu s jejich výpočty, zejména pak NDVI (normalizovaný diferenční vegetační index) využívaný pro porovnání nasnímaných dat Božídarského rašeliniště. V rámci této bakalářské práce byl také vytvořen návod pro stažení družicových dat z družice Sentinel-2 a z družic programu Landsat. Závěrem jsou vyhodnoceny a diskutovány výsledky porovnání RPAS a družicových hodnot NDVI vytvořených v softwaru ArcGIS Pro.

**Klíčová slova:** RPAS, Sentinel-2, NDVI, multispektrální snímání, ArcGIS Pro

**Vedoucí:** prof. Dr. Ing. Karel Pavelka

## Abstract

This bachelor thesis focuses on the comparison of multispectral image data from RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems) and satellite system. The comparison has been realized on image data of Božídarské rašeliniště captured by the drone SenseFly eBee and Sentinel-2A satellite included in the Copernicus program. The part of this thesis also describes the history, characteristics and current research of the RPAS sensing and satellite-based sensing. In addition, vegetation indices have been described in this thesis, mainly the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), which has been exploited for the comparison of captured data of Božídarského rašeliniště. The satellite data download manual from the Sentinel-2 and Landsat satellites has also been provided in this bachelor thesis. The last part of the thesis is focused on the result assessment and discussion of the RPAS and satellite NDVI values created in ArcGIS Pro software.

**Keywords:** RPAS, Sentinel-2, NDVI, multispectral imaging, ArcGIS Pro

**Title translation:** Comparison of multispectral data from RPAS and satellite sensor

# Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2 Literární rešerše</b>	<b>3</b>
2.1 RPAS .....	3
2.1.1 Využití RPAS .....	4
2.2 Družice pro DPZ .....	5
2.2.1 Využití družicových dat .....	6
2.3 Synergie družic a RPAS .....	6
<b>3 Teoretická část - obecné vlastnosti družic a RPAS</b>	<b>9</b>
3.1 Rozdělení družic .....	9
3.2 RPAS .....	9
3.3 Vlastnosti RPAS a družic .....	10
3.4 Přesnost snímačů a požadovaná přesnost v hlavních oblastech DPZ	11
<b>4 Vegetační Index</b>	<b>13</b>
4.1 Základní vegetační indexy .....	14
<b>5 Použité snímače</b>	<b>17</b>
5.1 Družice Sentinel-2 .....	17
5.2 RPAS eBee .....	18
<b>6 Božídarské rašeliniště</b>	<b>21</b>
<b>7 Získání bezplatných družicových dat</b>	<b>25</b>
7.1 Data z družice Sentinel-2 .....	25
7.2 Data z programu Landsat .....	27
<b>8 Porovnání dat</b>	<b>29</b>
8.1 Zpracování dat z RPAS .....	29
8.1.1 Vytvoření ortofota v Pix4D..	29
8.1.2 Zpracování RPAS dat v ArcGIS Pro .....	30
8.2 Zpracování družicových dat ArcGIS Pro .....	32
8.3 Porovnání dat .....	34
<b>9 Závěr</b>	<b>37</b>
<b>Literatura</b>	<b>39</b>
<b>Seznam použitých zkratk</b>	<b>43</b>
<b>Příloha</b>	<b>45</b>
Obsah příloženého DVD .....	45

## Obrázky

4.1 Odrazivost materiálu podle vlnové délky .....	13
4.2 Zjištění zdravotního stavu vegetace .....	15
5.1 Zobrazení družice Sentinel-2A ..	17
5.2 Dron eBee .....	19
5.3 Kamera multiSPEC 4C a její spektrální charakteristiky .....	19
6.1 Božídarské rašeliniště v rámci České republiky. ....	21
6.2 Lokalita Božídarského rašeliniště znázorněna v detailu. ....	22
6.3 Vegetace Božídarského rašeliniště a Božídarský Špičák .....	22
7.1 Úvodní strana webového prohlížeče .....	25
7.2 Mapa světa pro výběr území (obrazových dat) ze systému Copernicus Open Access Hub ....	26
7.3 Volba parametrů obrazových dat	27
7.4 Úvodní strana ke stáhnutí dat z Landsatu .....	28
8.1 Vytvořené NDVI z dronu v softwaru Pix4D .....	30
8.2 Vytvořené NDVI z dronu s GSD 15,7 cm .....	31
8.3 Histogram k RPAS ortofotu s GSD 15,7 cm. ....	31
8.4 Vytvořené NDVI z družicového snímku .....	33
8.5 Histogram k družicovému NDVI snímku .....	33
8.6 Převzorkované NDVI z přesnosti 15,7 cm na 10 m .....	35
8.7 Histogram k převzorkovanému ortofotu z RPAS .....	35
8.8 Odečtení družicových a RPAS dat. ....	36
8.9 Histogram k odečtení hodnot NDVI .....	36

## Tabulky

3.1 Výhody a nevýhody družicových a RPAS snímačů .....	10
3.2 Nabízené rozlišení snímačů pro DPZ .....	11
3.3 Požadované rozlišení v oblastech využívající DPZ .....	12
4.1 Přibližné hodnoty NDVI pro zjištění krajinného prvku .....	16
5.1 Spektrální pásma družice Sentinel-2A .....	18
5.2 Parametry kamery multiSPEC 4C. ....	20
6.1 Souhrnné základní informace o Božídarském rašeliništi. ....	23

# Kapitola 1

## Úvod

RPAS (remotely piloted aircraft system), často také nazývaný UAS (unmanned aircraft system) nebo UAV (unmanned aerial vehicle) či dron [1], je v posledních letech velmi populární z důvodu jeho flexibilního využití a nízké ceny v různých aplikačních oblastech a schopností dodávat snímky s geometrickým rozlišením v řádech cm až mm oproti družicovým či leteckým snímačům. V současné době spolu s družicemi a letadly, která dodávají data z řádově větších oblastí, patří RPAS mezi moderní a důležité nástroje pro fotogrammetrii a dálkový průzkum Země (DPZ) z hlediska detailního pozorování změn či struktur na zemském povrchu. Drony běžně pořizují snímky v barevném (RGB - red, green, blue) režimu. Profesionální systémy mají buď unikátní typy zabudovaných kamer, nebo snadno vyměnitelné kamery s různými vlastnostmi. Specializované kamery mohou snímat v různých spektrálních pásmech elektromagnetického záření. Takto získaná data tak rozšiřují možnosti o nové analýzy snímaných dat a dodávají dodatečnou obrazovou informaci. Snímání ve více spektrálních pásmech, než RGB se obecně nazývá multispektrální. Multispektrální data z dronů jsou prospěšná pro analýzu v oblasti zemědělství, lesnictví, ke zkoumání kvality vody a v řadě dalších aplikacích a odvětvích [2]. Jejich využití přináší nové informace zejména z menších oblastí a výhodou je flexibilita dronů i nízká cena pořízených dat.

V této bakalářské práci jsou porovnána volně dostupná multispektrální data z družice Sentinel-2A z evropského programu pro monitorování životního prostředí GMES (Global Monitoring for Environment and Security)/Copernicus a multispektrální data z RPAS eBee. Použitá data byla vybraná z oblasti Krušných hor, z národní přírodní rezervace Božídarské rašeliniště, která je významná pro svoji ojedinělou vegetaci [3]. První část této práce se zabývá rešeršní částí popisující historii a synergii dat z RPAS a družicových systémů. Dále jsou definovány základní pojmy a termíny dané problematiky, jako jsou vegetační indexy, jejich výpočet a následně popis vegetačních analýz, pro které se jejich aplikace hodí. Dále jsou porovnána čistě multispektrální data z praktického hlediska jejich využití. Následující kapitoly se věnují detailnímu popisu použitých snímačů, které byly použity pro pořízení obrazových dat v této práci. V návaznosti na tyto snímače je dále vysvětleno, jakým způsobem získat volně dostupná data z družice Sentinel-2 a také z programu Landsat. Program Landsat je v této práci zmíněn především proto, že je nejdéle půso-

bícím programem v rámci celosvětového dálkového pozorování viz [4]. Data z programu Landsat, tak lze použít zejména k detekci změn, které nastaly za více než 45letého trvání programu. Poslední kapitola této práce se věnuje vlastnímu porovnání a zpracování již zmíněných obrazových dat z RPAS a družicového snímače. Tato kapitola je věnována postupu a aplikaci software Pix4D, který převádí RPAS snímky do ortofota. Následně je detailně popsána analýza těchto i družicových dat vložených do softwaru ArcGIS Pro. V tomto softwaru byly oba typy snímků zpracovány a porovnány. Pro porovnání dat jsou využity vypočtené vegetační indexy, zejména pak významný normalizovaný rozdílový vegetační index (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index) [5]. Pro přesnější porovnání je v této práci využito převzorkování RPAS ortofota na totožnou velikost pixelů, jako obsahují družicová data. Hodnocení je pak diferenční rozdíl rastrů ze získaného ortofota a družicového snímku. Všechna tato ortofota, společně s jejich rozdílem a histogramy hodnot NDVI, jsou také znázorněna v této kapitole. Veškeré výsledky a zhodnocení této práce jsou obsaženy v závěru.

## Kapitola 2

### Literární rešerše

#### 2.1 RPAS

Letecké snímkování má své počátky v polovině 19. století. První doložený letecký snímek byl pořízen z balónu, který vyfotografoval Felix Tournachon (Nadar), bohužel snímek se nedochoval. Nejstarším dochovaným snímkem je tak opět snímek z balónu z roku 1860, pořízený Jamesem Wallace Blackem; na snímku je zachyceno americké město Boston. Oblíbené bylo i snímkování pomocí draků. V roce 1890 Arthur Batut publikoval první knihu, kde byly použity snímky vyfotografované z draků. První snímek z letadla byl pořízen v roce 1908 L.P. Bonvillainem. Letadlo pilotoval Wilbur Wright [6].

V důsledku válečných konfliktů byly vyvíjeny nové techniky pro vojenské účely, které předcházely civilnímu nasazení. Obdobně bylo využito i letecké snímkování, které sehrálo značnou roli v první a druhé světové válce v rámci průzkumu. Za druhé světové války byla na pacifickém bojišti využita i infračervená fotografie, která pomáhala demaskovat japonské vojenské objekty. Výhody pořízených snímků v různé části spektra položily základy multispektrálního snímání a dálkového průzkumu Země. První bezpilotní letadlo, Aerial Target (vzdušný cíl), vytvořil Archibald Montgomery Low. Byl to rádiem řízený prostředek. Od té doby byly konstruovány nové typy bezpilotních leteckých prostředků, které byly používány pro vojenské účely. Významné úspěchy v jejich konstrukci i v konstrukci raket dosáhlo Německo za druhé světové války (zbraně V-1 a V-2). Za průkopníka moderních vojenských dronů můžeme označit Izrael. V současnosti nejvíce vojenských dronů využívá armáda Spojených států amerických [6], [7].

První experiment s motorovým UAV pro fotogrammetrii [8] byl uskutečněn v roce 1979. Let byl proveden ve výšce 150 m nad povrchem s rychlostí 11 m/s. Výsledné snímky nebyly vyhovující z důvodu vibrace motoru. Používání UAV ve fotogrammetrii bylo do doby, než byly vyvinuty digitální fotoaparáty, inerciální měřící jednotky (IMU - Inertial Measurement Unit) a globální družicové navigační systémy (GNSS - Global Navigation Satellite System) systémy, v útlumu [6].

### ■ 2.1.1 Využití RPAS

Multispektrální snímky můžeme použít zejména ke sledování vegetace na zemském povrchu, v zemědělství, ke zjišťování změn lesních porostů apod. Monitorováním lesních porostů se zabývá např. R. Minařík and J. Langhammer [9]. Článek popisuje využití multispektrálních snímků pro monitorování poškozených lesních porostů. Snímky byly pořízené z oblasti Šumavy, kde byla oblast zasažená polomy a rozsáhlým rozšířením kůrovce. Byla vytvořena stanoviště v různých fázích narušení porostu, ale i ve fázích regenerace lesa. Za nejlepší spektrální pásmo pro detekci stresu stromu napadeného kůrovcem jsou pásma o vlnových délkách 650 nm, 700 nm, 800 nm. Byly identifikovány 3 vegetační indexy, které byly schopny zaznamenat vegetační stres. Jedná se o NDVI, Simple ratio index a Red - edge Index.

K monitorování zemědělské plochy se využívají jak multispektrální, tak termální senzory. Autoři P. Raeva a spol. [10] v práci popisují oblast Vysokého Sedliště, kde byla monitorována kukuřičná a ječmenná pole. Oblast byla snímána každý měsíc od března do srpna. Výsledná studie ukázala velký potenciál pro implementaci UAV fotogrammetrie v zemědělství. Analýza vyústila v některá statistická data týkající se vegetačního vývoje kukuřice a ječmene. Byly vypočítány tři základní indexy - NDVI, GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) a NDRE (Normalized Difference Red Edge index). Na základě termálních snímků byly vypočítány nejen indexové mapy, ale také termální mapy. Bylo konstatováno, že hodnoty vegetačních indexů odpovídají skutečnému růstu plodin známému z reality. To znamená, že multispektrální a termální snímky jsou v zemědělství použitelné pro odhady stavu vegetace.

Multispektrální snímky s vysokým rozlišením jsou nedílnou součástí v tzv. přesném či inteligentním zemědělství. V článku autorů L.Zhanga a spol. [11] byla pořízena multispektrální data z bezpilotního letadla. Data byla použita k mapování vláhového stresu kukuřice při různých stupních zavlažovacího deficitu ve vegetativních, reprodukčních a růstových fázích. Podle teploty vzduchu, rostlin a relativní vlhkosti naměřené z přenosného měřiče vlhkosti byl vytvořen empirický model indexu vláhového stresu plodiny (CWSI - Crop Water Stress Index). Bylo použito 9 vegetačních indexů související s měřením nedostatku vody, které byly odvozeny pomocí multispektrálních snímků z bezpilotního letadla. Indexy byly použity k vytvoření inverzních modelů CWSI. Nejlepší korelaci s CWSI měl vegetační index TCARI (Transformed Chlorophyll Absorption Reflectance Index), vydělen vegetačním indexem RDVI (Renormalized Difference Vegetation Index) a TCARI, vydělen půdním vegetačním indexem (SAVI - Soil-adjusted vegetation index). Hodnoty koeficientu determinace byly 0,47 a 0,50 pro TCARI/RDVI a TCARI/SAVI ve stádiu reprodukce a zrání 0,81 a 0,80 pro TCARI/RDVI a TCARI/SAVI v pozdních stádiích reprodukce a zrání. Ve srovnání s CWSI, vypočítanou pomocí měření na místě, měly hodnoty CWSI získané pomocí regresních modelů VI-CWSI (Vegetačních indexů - CWSI) zavedených v této studii více schopností posoudit variabilitu plodin a půdy. Studie demonstruje potenciál využití multispektrálních snímků UAV s vysokým GSD (ground sample



distance, velikost pixelu na zemském povrchu).

## ■ 2.2 Družice pro DPZ

První snímek z kosmického prostoru byl pořízen pomocí upravené německé rakety V2 v roce 1946 v USA. Skutečná kosmická éra lidstva započala vypuštěním družice Sputnik 1 v roce 1957 Sovětským svazem, čímž započal technický i politický závod světových mocností (USA a SSSR) o vesmírná prvenství. První snímek celé polokoule Země byl pořízen meteorologickou družicí TIROS v roce 1960. Snímek byl pořízen televizní kamerou ve viditelném světle [12].

První civilní družicí pro dálkový průzkum Země, s cílem studovat a monitorovat zemský povrch, byla americká družice Landsat 1, dříve pojmenována ERTS (Earth Resources Technology Satellite). Družice byla vyslána 23.7.1972 na oběžnou dráhu. Projekt byl později přejmenován na program Landsat, který je řízen společností NASA (National Aeronautics and Space Administration) a USGS (United States Geological Survey). Program Landsat patří mezi nejdelší a nejznámější projekty v rámci celosvětového pozorování planety Země. Původní družice Landsat byla vybavena dvěma senzory. První použitý sensor byla vidikonová televizní kamera RBV (Return Beam Vidicon), která měla plnit roli hlavního senzoru. Nicméně se ukázalo, že data z druhého senzoru MSS (Multispectral Scanner) byla z hlediska zpracování dat lepší. Multispektrální skener MSS snímal zemský povrch ve 4 spektrálních pásmech (zelené, červené, a ve dvou infračervených pásmech). Prostorové rozlišení bylo 80 m. V současné době jsou aktivní družice Landsat čtvrté generace, Landsat 7 a Landsat 8. V září 2021 by měla být vypuštěna na oběžnou dráhu Landsat 9 [4].

Od prvního vypuštění družice Landsat 1 až po současnost, bylo vypuštěno na oběžnou dráhu okolo Země značné množství družic pro DPZ a vyjmenovat každou družici a jejich využití může být náplní jiné práce. Nicméně jsou zde vyjmenovány alespoň některé významné družice pro DPZ. Mezi známé družice patří neodmyslitelně francouzské družice SPOT (Système Pour l'Observation de la Terre). První družice byla vypuštěna na oběžnou dráhu v roce 1986. V současnosti kolem Země obíhají družice SPOT 6 a SPOT 7. Jako první družice, která se mohla pyšnit vysokým panchromatickým (1 m) a multispektrálním (4 m) rozlišením, byla družice Ikonos 1. Družice byla vyslána na svou misi v roce 1999 a provozovatelem družice byla společnost Space Imaging, která byla v 2006 odkoupena firmou Orbital Imaging Corporation. Společnost Orbital Imaging je známá především díky družicím Orbview a GeoEye, které patří mezi družice s vysokým geometrickým rozlišením (VHR - very high resolution) [12]. Nicméně firma byla v roce 2013 zakoupena společností DigitalGlobe (družice typu WorldView) a ta byla později odkoupena společností Maxar Technologies <sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup><https://www.maxar.com/>

### ■ 2.2.1 Využití družicových dat

Monitorování plodin prostřednictvím družic je věnována velká pozornost. Časové, prostorové, spektrální rozlišení i veřejně přístupná data jsou pro monitorování zemědělství družicí Sentinel-2 důležité. V článku [13] autoři J. Segarra a spol. analyzovali vlastnosti družice v přesném zemědělství včetně detekce abiotického a biotického stresu a řízení zemědělství. Byly také porovnány družice, které se v té době používaly pro dálkový průzkum Země v rámci zemědělství. Družice Sentinel-2 zvýšily možnosti monitorování zemědělských plodin a jejich analýz po celém světě. Pokud jde o monitorování zdravotního stavu plodin, představuje Sentinel-2, pro detekci abiotických a biotických stresů v mnoha ohledech velký krok vpřed, i když ne bez omezení. Proto zůstává stále potřeba kombinace pozemních dat s různými technikami dálkového průzkumu Země. Autoři došli k závěru, že Sentinel-2 má širokou škálu užitečných aplikací v zemědělství, ale stále má prostor pro další vylepšení.

Pro lesní hospodářství i vědecký výzkum jsou užitečné přesné informace týkající se druhového složení lesa. Pro studii o mapování druhů lesních porostů autorů E. Grabské a spol. [14] byla zvolena družice Sentinel-2. Krátký cyklus opakování měření má zásadní význam pro mapování vegetace kvůli změnám odrazivosti způsobenými fenologickými fázemi. Byla zhodnocena užitečnost časového rozlišení družice Sentinel-2 pro mapování druhů stromů ve smíšených lesích v polských Karpatech. V práci bylo zmapováno devět druhů stromů. Mapovalo se od roku 2018 a byl použit klasifikační algoritmus Random Forest k rozlišení druhů stromů. Výsledky ukázaly, že použití časové řady z družice Sentinel-2 výrazně zlepšilo mapování druhů lesních stromů o přibližně 5-10%.

### ■ 2.3 Synergie družic a RPAS

Sloučení dat z družic a dronů je problematické. Je to dáno zejména z hlediska jejich velmi rozdílné geometrické rozlišovací schopnosti na zemském povrchu (GSD) a dále z důvodu, že data z družic se musí radiometricky korigovat z důvodu průchodu elektromagnetického záření přes atmosféru, drony se pohybují ve výškách desítek až stovek metrů nad zemským povrchem a radiometrická korekce se až na výjimky běžně neprovádí. Dalším problémem je fakt, že družicová data z menších oblastí jsou pořízena prakticky v jednom okamžiku díky rychlosti družice na oběžné dráze okolo Země (7,9 km/s), drony snímají oblast o rozloze km<sup>2</sup> desítky minut. O možnosti slučovat data z dronů a družic se prozatím příliš článků neobjevilo.

Francouzská univerzita v Rennes vydala literární přehled [2], který sepsal A.-V. Emilien a spol., který se věnuje synergií RPAS a družic pro DPZ. Data z dronů a z družic se obvykle používají samostatně, ale díky neustále se zmenšující velikosti pixelu u družic je nyní v některých případech rozdíl již akceptovatelný. Např. při využití multispektrální kamery Sequoia u dronu eBee je GSD 15-30 cm. Nejmodernější družice s extrémně vysokým rozlišením jsou dnes schopny pořídit panchromatická data s GSD 35 cm a multispektrální okolo 1 m. V citované práci bylo použito 137 vědeckých článků, které se zabý-

valy optickými daty, získanými pasivními senzory (panchromatickým, RGB, multispektrálním, hyperspektrálním), které souvisejí se studiem zemského povrchu. Synergii družice a dronu rozdělili na čtyři kategorie - "Porovnání dat", "víceúrovňové vysvětlení", "kalibrace modelu" a "fúze dat". Porovnání dat z dronu a z družice nekombinuje vzájemná data k vytvoření lepšího modelu. Pouze porovnává vhodnost jejich využití pro daný účel. Družice poskytují data v rozsahu, jaké drony nemohou dosáhnout [15]. Pokrývají oblasti, které jsou pro drony obtížně přístupné, jako jsou městské oblasti s ohledem na GDPR (General Data Protection Regulation) nebo aktuální legislativu. Nebo to mohou být např. oblasti postižené válkou [16]. Družicové snímky jsou navíc již zpracované a dostupné k okamžitému využití. Drony poskytují levná a často velmi přesná data, která se využívají zejména v zemědělství, lesnictví na malých plochách, archeologii, katastru, ale i v glaciologii či vodohospodářství. Drony s kvalitní kamerou dokážou izolovat studovaný objekt od jiných oblastí. Při výběru typu dat (družicových, RPAS), které chceme využít ve výzkumu, bychom se měli zamyslet nad velikostí studované oblasti, přesností vyhotoveného výsledku, časových rozlišení, ale třeba i finančních možnostech.

Vývoj metod pro monitorování zdravotního stavu stromů je zásadní pro naši budoucnost. Vznik nových senzorů a platforem nabízí nové příležitosti k vylepšení informací o stavu lesa z již stávajících postupů. Na Novém Zélandu autoři J.P. Dash a spol. [17] testovali citlivost dat z multispektrálních snímačů z časových řad z dronu a družicových snímků k detekci zdravotního stavu stromů, který byl pečlivě prováděn na kontrolovaném místě. Byla použita data z družice RapidEye, která snímá data s GSD 5 m. UAV snímalo data s 6 cm, nicméně data z dronu byla citlivější a dokázala detekovat zdravotní stav stromů až s přesností na jednotlivé stromy. Data z družice dokázala detekovat fyziologický stav pouze ve shlucích více stromů. Přestože družicové snímky byly méně citlivé, shodli se autoři na závěru, že jsou velmi užitečné pro sledování fyziologického stavu ve větších oblastech.

Ve vinařství se vyžadují technologie, které dokážou pozorovat a získávat důležité informace za udržitelné náklady. Cílem práce [18] autorů F. Nonniho a spol. bylo vyvinout levné a snadno ovladatelné monitorovací schéma pro přesné pozorování vinic. Vyhodnocovala se multispektrální data z družice Sentinel-2 pro dlouhodobé pozorování vinic jako levný způsob monitorování a byl použit vegetační index NDVI. Jako oblast pozorování byla vybrána vinice nacházející se v severovýchodní Itálii. NDVI byl vypočítán z družicových snímků a byl porovnán s multispektrálními snímky nasnímanými pomocí RPAS. Bylo provedeno hodnocení ze statistického a kvalitativního hlediska. K dosažení cíle bylo potřeba RPAS snímky převzorkovat na 10 m velikost pixelů, aby to odpovídalo prostorovému rozlišení družicových snímků. Předběžné výsledky ukázaly potenciál využití družicových snímků. Navzdory velkým rozdílům v prostorovém rozlišení se ukázalo srovnání dat jako velice slibné, nicméně jsou nutné další studie, které se budou věnovat kalibraci multispektrálních dat.

V přesném zemědělství je důležité analyzovat prostorovou a časovou varia-

bilitu zemědělských polí pomocí komunikačních i informačních technologií s cílem ochrany, udržitelnosti a hlavně ziskovosti [19]. Autory G. Messinou a spol. byla zkoumána spolehlivost a kvalita multispektrálních dat z RPAS a ze dvou družicových snímačů (Sentinel-2, PlanetScope). Pro monitorování cibulových plodin byl použit půdní index (SAVI). Družicové snímky byly statistickou analýzou porovnány s ortofotem vytvořeným z RPAS snímků. Výsledky ukázaly, že družicové snímky jsou koherentní a korelované s RPAS snímky a mohly by být užitečné k posouzení obecných podmínek cibulového pole. RPAS umožňuje rozlišovat a lokalizovat oblasti, která družice nedokázala rozlišit.

Dálkový průzkum Země je prostředek rychlého a efektivního monitorování určitého území, pokud jsou definovány optimální metodiky. Během roku se spektrální charakteristiky např. invazivních rostlin mění. To jsou důležité faktory, v určité době vegetačního období, některé rostliny bývají často výraznější. Výsledek práce autorů J. Müllerové a spol. [20] bylo vytvořit rychlou, opakovatelnou a nákladově efektivní počítačovou metodu, která by se používala na větších plochách. Tím by se snížily náklady na rozsáhlé kampaně k záchraně určité vegetace. Jako model byly použity dva bylinné druhy s výrazně odlišnými spektrálními, fenologickými, strukturálními charakteristikami. Zdrojem dat byla zvolena družice Pleiades. Spektrální i prostorové rozlišení RPAS, družice a leteckého ortofota znamenala vysokou rozmanitost pro spolehlivé rozpoznání rostlin. Pokud rostlina byla v nejvyšší fenologické fázi, vysoká přesnost mohla být dosažena i s méně bohatějším spektrálním rozlišením. Výsledky studie by mohly sloužit jako základ pro identifikaci v lokalitách s nejvyšším rizikem šíření invazivních druhů rostlin a monitorovat případně jejich návrat. Mapovací strategie by se měla odrážet podle cílové rostliny a tím zvolit vhodnou metodiku. Nicméně pro flexibilní, cílené monitorování s nízkými náklady je vhodné používat RPAS. Zatímco družicové snímky by poskytovaly informace o větších oblastech.

## Kapitola 3

### Teoretická část - obecné vlastnosti družic a RPAS

#### 3.1 Rozdělení družic

V současnosti kolem planety Země obíhá značné množství družic, které produkují rozdílná data; družice pro DPZ jsou rozděleny do 4 skupin [2]. Družice pro monitoring celé planety (Terra / Modis, Aqua / Modis) mají vysokou frekvenci přeletů nad stejným místem s prostorovým rozlišením (GSD) od desítek po stovky metrů, s časovým rozlišením ve dnech. Patří k nim také meteorologické družice na polárních dráhách (NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration).

Enviromentální družice (Sentinel-2, Landsat, Terra / Aster) jsou financovány státními složkami (ESA - European Space Agency, NASA) z veřejných prostředků a v současné době jsou proto jejich data volně dostupná; poskytují data v několika denních až týdenních intervalech s vysokým prostorovým (GSD 10-100 m) i spektrálním rozlišením (11 pásem u Landsatu 8, 13 pásem u družice Sentinel-2).

Dále existuje i skupina Nano-družic na nízké oběžné dráze, které jsou schopny pokrýt optickými daty celou planetu při vysokém prostorovém rozlišení (1-10 m), kvalita těchto dat ale není dostačující pro některé využití.

Civilní komerční družice (Pleiades, Ikonos, GeoEye, OrbView aj.) nabízejí data s extrémně vysokým prostorovým rozlišením ( $GSD < 1\text{m}$ ), což je dáno konstrukcí optiky i relativně nízkou oběžnou dráhou, na druhou stranu mají nízké spektrální rozlišení (5 pásem).

Mezi obecné nevýhody používání družicových dat patří častá oblačnost, pozorovací úhel nebo nemožnost získání data v konkrétním čase.

#### 3.2 RPAS

Věda i technika v posledních letech jde rychle dopředu. Příkladem toho jsou drony [21]. Z primárně vojenského využití se postupně začaly uplatňovat i v civilním sektoru. Z velkých bezpilotních prostředků se staly relativně levné a malé dálkově řízené prostředky, určené pro vědu, výzkum i komerční

využití nebo se z nich dokonce staly hračky a využívají se pro zábavu či osobní účely. Malá hmotnost a snadné ovládání předznamenávají jejich rychlé rozšíření mezi běžnými uživateli. S tím je ale spojena řada omezení a neustále se měnící legislativa. Legislativa je dána zákonem č.49/1997 Sb. o civilním letectví a nově od roku 2021 pro celou Evropskou unii <sup>1</sup>. Časová flexibilita získávání dat, centimetrové až milimetrové prostorové rozlišení a nízké náklady na pořízení dat jsou silné stránky využití dronů.

Schopnost dronu pořizovat snímky nízko nad povrchem, umožňuje vysoké geometrické rozlišení. Oblačnost v tomto případě nehraje takovou roli, jelikož se snímkuje z malé výšky a zcela jistě pod případnou oblačností. Povětrnostní podmínky či déšť jsou samozřejmě pro použití dronu limitující. Výběr typu snímače, úhlu zorného pole daného objektivem, GSD a výběr času sběru dat jsou výhody, kterými drony disponují. Tyto výhody jsou důležité pro monitorování biologické, hydrologické nebo geomorfologické dynamiky [20], [22], [23].

Mezi nevýhody patří obvykle malá nasnímaná plocha, která činí od několika hektarů až po několik km<sup>2</sup>, dále malá kapacita baterie při použití elektrického pohonu, problémy ochrany soukromí osob (GDPR) <sup>2</sup>. Existuje několik typů RPAS, které se liší strukturou, tvarem, typem pohonu (elektrické nebo spalovací motory).

### 3.3 Vlastnosti RPAS a družic

	RPAS	Družice
Flexibilita	<b>Vysoká</b>	Nízká
Závislý na oblačnosti	<b>Ne</b>	Ano
Přímé meteorologické omezení	Vítr a srážky	<b>Ne</b>
Předběžné zpracování	Ano	<b>Data připravená k analýze</b>
Potřebná obsluha	Ano	<b>Ne</b>
Správa dat	Vysoká	<b>Nízká</b>
Cena VHR	<b>Nízká</b>	Vysoká
Hmotnost prostředku	<b>Zaměnitelná</b>	Stálá
Legislativa	Omezující	<b>Prakticky bez omezení</b>

**Tabulka 3.1:** Informace zde jsou převzaty z článku [2], kde byly porovnány výhody a nevýhody daných snímačů. Výhody jsou zvýrazněny tučně.

<sup>1</sup>[https://eur-lex.europa.eu/eli/reg\\_del/2019/945/oj](https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2019/945/oj)

<sup>2</sup><https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj>

### ■ 3.4 Přesnost snímačů a požadovaná přesnost v hlavních oblastech DPZ

Neexistuje nejvýhodnější prostředek pro získání dat, drony a ani žádný typ družice nelze popsat jako nejvhodnější. Vždy se najdou klady a zápory v rámci požadovaných aplikací v základních oblastech využití v DPZ. Podle článku [2] můžeme rozdělit rozlišení snímačů na čtyři typy:

- časové
- prostorové
- spektrální
- šířka záběru

Časové rozlišení znamená, jak často dokážeme získávat data z dané lokality. Prostorové rozlišení určuje, s jakou podrobností se zadaná lokalita snímá (GSD). Spektrální rozlišení je schopnost snímače zaznamenávat data v různých intervalech vlnových délek elektromagnetického záření (šířka a počet spektrálních pásem). Šířka záběru znamená, jak velkou oblast lze nasnímat.

Zařízení pro DPZ				
	časové	prostorové	spektrální	šířka záběru
RPAS	XXX	XXX	XX	X
Družice pro monitoring	XXX	X	XX	XXX
Enviromentální družice	XX	XX	XX	XXX
Nano družice	XXX	X	X	XXX
Civilní komerční družice	X	XXX	X	XX

**Tabulka 3.2:** Nabízené rozlišení snímačů pro DPZ. Hodnoty nabízených rozlišení daných snímačů XXX (vysoké), XX (střední), X (nízké)

Zařízení pro DPZ				
	časové	prostorové	spektrální	šířka záběru
Zemědělství	XXX	XXX	XXX	XXX
Ekologie	XXX	XXX	XXX	XXX
LC/LU	XX	XX	XX	XXX
Přírodní pohromy	XXX	XX	X	XX
Geověda	X	X	X	XXX
Kvalita vody	XXX	XX	XXX	X
Archeologie	X	XXX	X	XXX
Městské využití	XX	XXX	XX	X

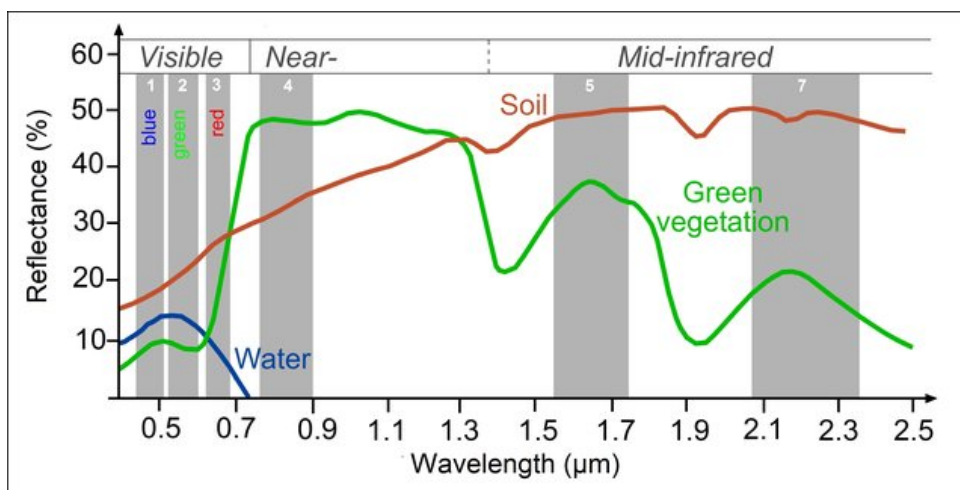
**Tabulka 3.3:** Požadované rozlišení pro oblasti, využívající DPZ. Zkratky LC/LU znamenají Land Cover a Land Use. Land Cover je fyzickým materiálem na povrchu Země (pokryv zemského povrchu). Land Use je souhrn úprav, činností a vstupů (využití povrchu Země k nějakému účelu), které uskutečňují v určitém prostředí Land and Cover. Požadované rozlišení XXX (vysoké), XX (střední), X (nízké)



## Kapitola 4

### Vegetační Index

Družicové, RPAS i letecké snímáče produkují pomocí pasivních senzorů v rámci DPZ multispektrální snímky. Pasivní senzory měří odrazivost a vyzařování elektromagnetického záření v různých vlnových délkách spektra. Každý materiál nebo jeho stav na Zemi různě odráží určitou vlnovou délku. Viditelné záření o vlnových délkách 360 - 760 nm je různými materiály (zejména vegetací) mnohem více pohlcováno oproti záření např. v blízké infračervené oblasti o vlnové délce 760 - 1000 nm. Například pro chlorofyl, který je obsažen v zelené vegetaci a je důležitý pro fotosyntézu, je záření ve viditelném spektru značně absorbováno, až na význačný vrchol odrazivosti odpovídající zelené vlnové délce (550 nm, kvůli které se vegetace zdá být zelená). Přejedem k blízké infračervené oblasti se odrazivost chlorofylu rapidně zvyšuje [5]. Tento jev je znázorněn na obrázku 4.1. Např. i pro holou půdu nebo vodu jsou odrazivosti rozdílné v různých spektrálních oblastech.



**Obrázek 4.1:** Odrazivost (Reflectance) v % materiálu podle vlnové délky (wavelength) v nanometrech podle [24]. Na obrázku je vidět, že mezi červeným (R) a blízkým infračerveným (NIR) zářením je dominantní odrazivost vegetace (green vegetation), naopak odrazivost vody (water) je téměř vynulována při přechodu z červeného světla do infračerveného. Dále je zde zobrazena odrazivost holé půdy (soil).

Obecně se pro monitorování vegetace využívá různorodých parametrů. V ob-

lasti spektroskopie či multispektrálního snímání je využíváno tzv. vegetačních indexů. Vegetační indexy jsou jednoduché a efektivní algoritmy pro kvalitativní, ale i kvantitativní vyhodnocení vegetačního pokryvu (procentuální pokryv oblasti zelenou hmotou). V současné době je využíváno značného množství různých vegetačních indexů [25]. Nejčastější je však aplikace vegetačních indexů, které číselně vyjadřují nárůst odrazivosti v pásmu červené barvy (přibližně 670 nm) do infračervené oblasti spektra (do 1100 nm).

Průkopníkem v oblasti výzkumu vegetačních indexů je Compton Tucker, pracující v Goddardově kosmickém středisku, v jednom z hlavních výzkumných středisek NASA. C. Tucker se specializuje především na studium Země ze získaných družicových dat. Zároveň patří mezi první vědce, kteří pomocí družicových dat nebo spektrometru studovali odrazivost chlorofylu podle spektrálního záření [26]. V roce 1985 vydal článek [27], kde představil, jak by NDVI mohl posoudit vegetační stav kontinentu. Učinil tak z NDVI základní kámen pro monitorování globální vegetace. Výsledky jeho práce a dalších následovníků pomohly při monitorování sucha, k včasnému varování před hladomorem, k monitorování lesních porostů a odlesňování v subtropických i tropických oblastech, ale i při deforestaci vzniklou např. kalamitami kůrovce v Evropě. Díky rozvoji vegetačních indexů se výzkum klimatu, rozšířil a zpopularizoval mezi univerzity a výzkumnými středisky po celém světě.

Důležitý je také rozvoj v oblasti multispektrálních a hyperspektrálních senzorů, který umožňuje vytvoření nových vegetačních indexů a rozšíření či přesnější určení těch stávajících. Jak již bylo zmíněno, v dnešní době existují desítky algoritmů pro výpočet vegetačních indexů, kdy každý vegetační index má svoje speciální využití v určité části zkoumání vegetace. Nicméně u praktických aplikací vegetačních indexů je nutné provést zvažování, využití a analýzu výhod i určit jejich omezení. Zároveň je možné zkombinovat jejich výhody a použít je při řešení konkrétního problému v daném prostředí. Z tohoto důvodu analýza nových vegetačních indexů a jejich modifikací umožňuje nové typy výzkumů právě v oblastech, které tíží společnost, jako je odlesňování oblastí v rozvojových zemích, globální sucho a škůdci.

## 4.1 Základní vegetační indexy

V této části textu jsou popsány základní vegetační indexy a v jaké oblasti se nejčastěji využívají. Jeden z prvních vegetačních indexů je definován rovnicí 1 [28]. Je založen na faktu, že zelená vegetace absorbuje mnohem více červeného záření (R) než blízkého infračerveného (NIR). Vegetační index byl pojmenován jako Jednoduchý poměrový vegetační index (RVI - Ratio Vegetation Index).

$$RVI = \frac{NIR}{R} \quad (1)$$

RVI je používán pro monitorování zelené biomasy a je velmi citlivý na množství vegetace. Nabývá hodnot od nuly do nekonečna. Výsledné vysoké hodnoty

označují zdravou vegetaci, nízké hodnoty patří obyčejné půdní složce, vodě nebo ledu. Index je citlivý na chyby, které vzniknou při dělení nulou.

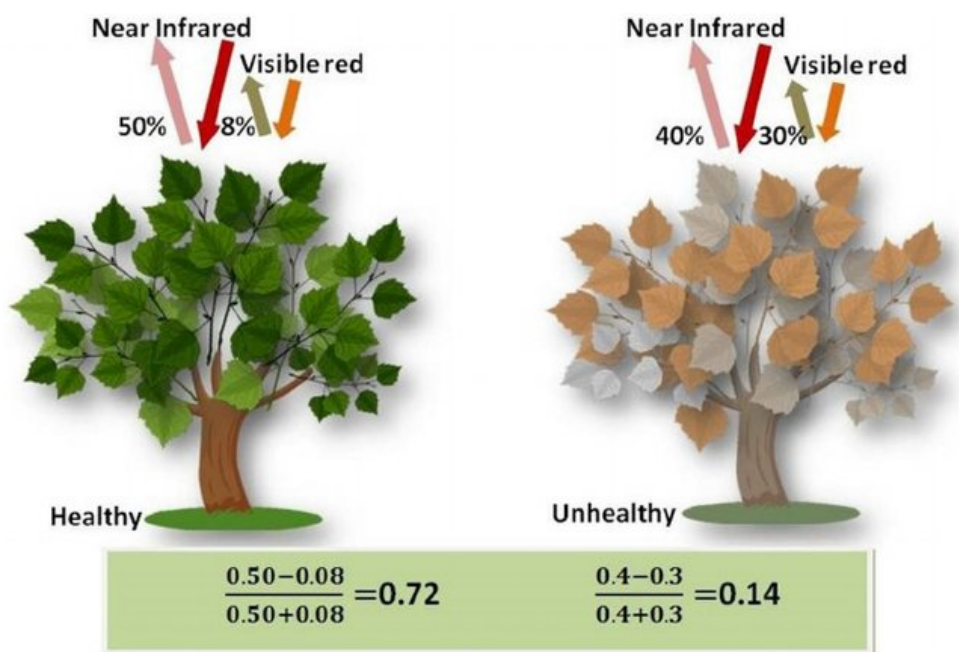
Rozdílový vegetační index (DVI - Difference Vegetation Index) je citlivý na půdní prostředí. Rozlišuje mezi půdou a vegetací, používá se pro monitorování ekologického vegetačního systému. DVI byl vyjádřen dle [29] jako

$$DVI = NIR - R \quad (2)$$

Nejpoužívanějším a nejrozšířenějším vegetačním indexem je NDVI, je vyjádřen a popsán v [30].

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (3)$$

Hodnoty NDVI se pohybují v rozmezí [-1 ; 1]. Index je jednoduchý a rychlý k identifikování zelené vegetace i jejího zdravotního stavu.



**Obrázek 4.2:** Výpočet zdravotního stavu vegetace podle NDVI [31]. V levé části obrázku je vidět, že červené záření je pohlcováno chlorofylem, naopak blízké infračervené záření je odráženo. V pravé části obrázku naopak vidíme, že čím méně chlorofylu vegetace obsahuje, tím více se červené záření odráží, a tím menší hodnotu má výsledné NDVI.

Interval NDVI	Krajinný prvek
od -1.0 do 0	voda
od 0.1 do 0.2	holá oblast, půda, kamení
od 0.2 do 0.3	sušší pastviny, zemědělská oblast, suché lesy
od 0.3 do 0.6	hustá vegetace
od 0.7 do 1	velmi hustá vegetace, lesy

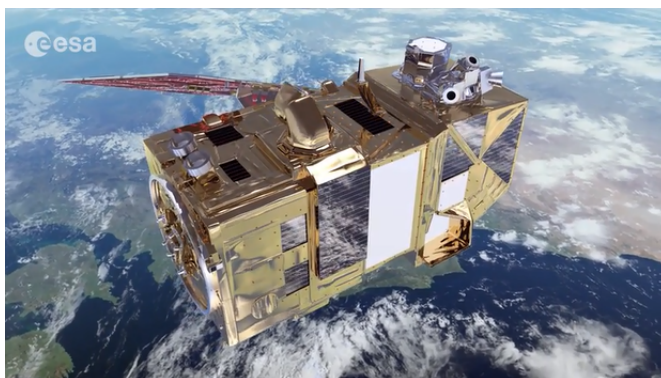
**Tabulka 4.1:** Přibližné hodnoty NDVI pro zjištění krajinného prvku použité z práce [32].

## Kapitola 5

### Použité snímače

#### 5.1 Družice Sentinel-2

Družice Sentinel-2 patří do programu Copernicus, který je řízen Evropskou unií ve spolupráci s ESA pro dálkový průzkum Země. Cílem všech misí družic Sentinel-2 je pořizovat data s lepším spektrálním rozlišením a větší šířkou záběru, než tomu je u jiných misí, jako např. SPOT či Landsat. Zabývá se hlavně klimatickými změnami, monitorováním vegetace, monitorováním kvality vody, monitorováním přírodních katastrof, mapováním, bezpečnost. Družice Sentinel-1 jsou družice radarové. Družice Sentinel-2 operují mezi 82.8°(nad Grónskem) severní šířky a 56° jižní šířky (Mys Horn v Chile). První družice Sentinel označená 2A byla vypuštěna na oběžnou dráhu 23.6.2015, družice nad stejným rovníkovým místem přeletí jednou za 10 dní. Družice Sentinel-2B byla vypuštěna 7.3.2017, družice je ale na oběžné dráze posunuta o 180°, díky tomu dokáží monitorovat stejné území na rovníku jednou za 5 dní a jednou za 3 dny území ve stejných zeměpisných šířkách, které odpovídají Evropě. Pro území Kanady nebo Skandinávie dokonce skoro každý den, čímž je dosaženo vysokého časového rozlišení. Sentinel-2 nese optický senzor MSI (MultiSpectral Instrument), který snímá ve 13 spektrálních pásmech, pásma můžeme rozdělit podle prostorového rozlišení na 3 skupiny 10 m, 20 m a 60 m. Šířka záběru je 290 km [33].



**Obrázek 5.1:** Zobrazení družice Sentinel-2A [34]

Družice Sentinel-2A				
Označení pásma	Popis spektrálního pásma	$\lambda_s$ [nm]	$\Sigma$ [nm]	$\phi$ [m]
1	Coastal and Aerosol	442.7	21	60
2	Blue	492.4	66	10
3	Green	559.8	36	10
4	Red	664.6	31	10
5	VNIR	704.1	15	20
6	VNIR	740.5	15	20
7	VNIR	782.8	20	20
8	NIR	832.8	106	10
8a	NIR	864.7	21	20
9	SWIR	945.1	20	60
10	SWIR	1373.5	31	60
11	SWIR	1613.7	91	20
12	SWIR	2202.4	175	20

**Tabulka 5.1:** Spektrální pásma družice Sentinel-2A [35]. Pobřežní a aerosol (Coastal and Aerosol) pásmo patří společně s modrým (Blue), zeleným (Green), červeným (Red) pásmem do kategorie viditelného spektra. Viditelné blízké infračervené záření (VNIR - Visible and Near Infrared) a NIR se používá zejména k detekci chlorofylu. Krátkovlnné infračervené záření (SWIR - Short Wave Infrared) se používá zejména pro mraky, sníh atd. Pro vyjádření střední vlnové délky ( $\lambda_s$ ), šířky pásma ( $\Sigma$ ), GSD ( $\phi$ ) byla použita řecká písmena.

## 5.2 RPAS eBee

RPAS či dron eBee od společnosti SenseFly <sup>1</sup> může být považován za standardní plně automatizovaný RPAS s odnímatelnými křídly.

Společnost SenseFly <sup>2</sup> operuje na trhu s drony již řadu let a je ve spojení s dceřinou společností Parrot, která se zabývá vojenskými drony. SenseFly je orientována především na zákazníky, zajímající se o sběr a analýzu geodetických a jiných dat. Pro tyto aplikace nabízí SenseFly kompletní řešení různých typů dronů, kamer a jiných zařízení. Pro tuto práci je však nejdůležitější výše zmíněný dron eBee (viz obrázek 5.2). Tento plně elektrický dron je využitelný v celé radě již uvedených aplikací. Primárně je však dron eBee používán pro geodetické mapování a snímání různorodých povrchů terénu fotogrammetrickými metodami a metodami DPZ.

eBee má rozpětí křídel 116 cm a váží přibližně 1,5 kg s již osazenou kamerou (záleží však na typu kamery). Příjem dat je možný až do přibližně 8 km, běžně je však nižší, kolem 1-2 km. Oblast pokrytí tímto dronem může být až 12 km<sup>2</sup>, běžně bývá kolem 1-2 km<sup>2</sup>, záleží na výšce letu a GSD. Při normálním provozu může tento dron létat rychlostí 40-110 km/h. Do 45 km/h je dron také odolný vůči větru. Maximální doba letu je výrobcem stanovena na 90 minut, podle typu dronu, baterií a typu použité kamery. Běžně se uvádí

<sup>1</sup><https://www.sensefly.com/drone/abee-x-fixed-wing-drone/>

<sup>2</sup><https://www.sensefly.com/about/company/>

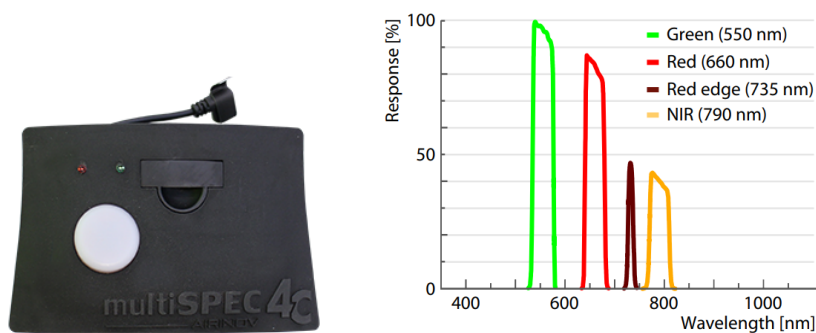


**Obrázek 5.2:** Dron eBee [36]

čistý čas kolem 40 minut, spíše však 35 pro bezpečné používání. Při letu ve výšce 120 m je nominální pokrytí od 250 ha do 1000 ha (1 km<sup>2</sup>). GSD je možno nastavit již od 1 cm, ale běžně se používá 3-5 cm. Parametry jsou určeny výběrem typu snímače, resp. kamery a výškou letu.

Ovládání dronu je prováděno pomocí software eMotion, který umožňuje jak plánování letu dronu a simulaci, tak řízení letu.

Jak již bylo uvedeno, základem pro snímkování dronem eBee je typ zvolené kamery a GSD. Pro tuto práci je nejdůležitější možnost osazení dronu kamerou typu multiSPEC, přesněji multiSPEC 4C<sup>3</sup> (viz obrázek 5.3), která je využívána např. v práci [37].



**Obrázek 5.3:** Kamera multiSPEC 4C (vlevo) a její spektrální charakteristiky (vpravo) [7]

Jedná se o multispektrální kameru snímající ve čtyřech spektrálních pásmech. Kamera obsahuje pro každé pásmo separátní CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) senzor s rozměry 4,8 x 3,6 mm s rozlišením 1,2 Mpx (10 cm/px pro snímání ve výšce 100 m) a vzdáleností středů jednotlivých pixelů rovnou 3,75 μm. Tyto senzory jsou automaticky kontrolovány autopilotem dronu eBee. Výhodou je také možnost aplikace separátních zá-

<sup>3</sup><https://tecnitop.com/en/cameras-accesories-and-software/>

věrek pro každou z kamer. Maximální clonové číslo je  $f/1,8$ . Výstupní data kamera produkuje v 10 bitovém TIFF (Tagged Image File Format) formátu zároveň i v surových RAW datech. Spektrální pásma této kamery odpovídají části viditelné spektrální oblasti v zeleném pásmu (Green) s centrální vlnovou délkou 550 nm, červenému pásmu (Red) s centrální vlnovou délkou 660 nm, hranici viditelného spektra v červené oblasti (Red-Edge) s centrální vlnovou délkou 735 nm a blízké infračervené oblasti (NIR) se střední vlnovou délkou 790 nm. Vybrané spektrální oblasti jsou zvoleny tak, aby se vzájemně nepřekrývaly. Šířka těchto pásem je tedy poměrně malá, přibližně 5-20 nm. Spektrální charakteristiky a odezva této kamery je zobrazena na obrázku 5.3.

Kamera umí částečně kompenzovat změny slunečního svitu dopadající na snímanou scénu díky speciálnímu senzoru ozáření, který umožňuje přesné měření odrazivosti pro každý ze snímačů. Kvalitnější řešení, doplněné další kamerou s řádově vyšším rozlišením v oblasti RGB přináší nová kamera s názvem Sequoia <sup>4</sup>.

Počet senzorů	4
Rozlišení	1,2 pro každý ze senzorů
GSD ve 100m	10 cm/px
Velikost senzoru	4,8 x 3,6 mm pro každý ze senzorů
Vzdálenost středů jednotlivých pixelů	3,75 $\mu\text{m}$
Senzor ozáření scény	ano
Počet spektrálních pásem	4
Vybraná spektrální pásma	Green, Red, Red-Edge, NIR
Střední vlnové délky pásem	550 nm, 660 nm, 735 nm, 790 nm
Šířka pásem	20 nm, 20 nm, 5 nm, 20 nm

**Tabulka 5.2:** Parametry kamery multiSPEC 4C.

<sup>4</sup><https://www.sensefly.com/camera/parrot-sequoia/>



## Kapitola 6

### Božídarské rašeliniště

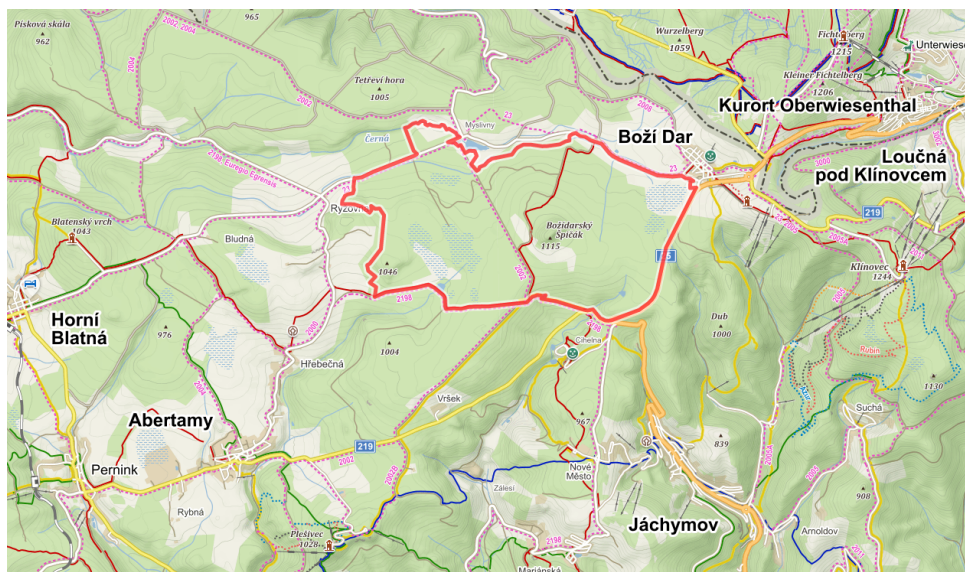
Ústřední lokalitou pro porovnání multispektrálních dat z RPAS a družicových snímačů v této práci je lokalita Božídarského rašeliniště. Jedná se o národní přírodní rezervaci nacházející se v Krušných horách (okres Karlovy Vary, Karlovarském kraji). Lokalita v rámci České republiky je znázorněna na obrázku 6.1. Božídarské rašeliniště je největší Krušnohorskou národní přírodní rezervací. V roce 2006 bylo rašeliniště zaneseno v Ramsarské úmluvě o mokřadech<sup>1</sup>. Díky tomu se toto území zařadilo mezi nejvýznamnější mokřady v České republice a také získalo značný mezinárodní význam jako biotop. Rozloha zvolené lokality je přibližně 1160 ha, poblíž hranice se Spolkovou republikou Německo, přesněji, v oblasti mezi městy Boží Dar, Abertamy, Jáchymov a Horní Blatná (viz obrázek 6.2).



**Obrázek 6.1:** Božídarské rašeliniště v rámci České republiky. Lokalita je zvýrazněna červeným orientačním bodem [38].

Od 18. století byla tato lokalita využívána pro těžbu rašeliny. Během druhé světové války bylo však od těžby upuštěno. Pro těžbu rašeliny byla tato oblast

<sup>1</sup>[https://www.mzp.cz/cz/ramsarska\\_umluva\\_o\\_mokradech](https://www.mzp.cz/cz/ramsarska_umluva_o_mokradech)



**Obrázek 6.2:** Lokalita Božídarského rašeliniště znázorněna v detailu [38].

odlesněna a následně i odvodněna pomocí speciální soustavy odvodňovacích kanálů. V současnosti však naopak převládá snaha o co největší záchyt srážek a zadržení vody, právě pro zachování podmínek biotopu. Na dříve odlesněném území se v tuto chvíli nachází naprostá většina nelesní vegetace, která zde postupně vznikala. Pouze malá část celé rozlohy tohoto území je tvořena primárním bezleší. V těchto oblastech se vyšší vegetační patra, především z důvodu značného zamokření, nerozvinula. Rozsáhlé travinobylinné porosty, které se v oblasti nacházejí vznikaly v minulosti především z důvodu zřízení pastvin a luk, nebo jako přirozené stádium sukcese po těžbě rašeliny a také cínu v období od pozdního středověku do ranného novověku. Ukázkou vegetace z Božídarské oblasti je možno vidět na obrázku 6.3.



**Obrázek 6.3:** Vegetace Božídarského rašeliniště a Božídarský Špičák. ZDROJ: [3], [39]

Mezi významnou flórou<sup>2</sup> tohoto území lze zařadit rostliny jako rdesno hadí kořen, koprník štětínolistý, bezkolonec modrý, prha arnika a až 24 rozdílných

<sup>2</sup><https://www.ochranaprirody.cz/lokality/?idlokality=26>

druhů rašeliníků, kterým vyhovuje současné vlhké prostředí horských luk. Mezi kuriozity z hlediska botaniky, lze zmínit velice nízké keříky břízy zakrslé, které na Božídarském rašeliništi dosahují maximální výšky 80 - 100 cm. V návaznosti na flóru této oblasti, je nutné vyzdvihnout i vzácnější druhy místních živočichů. K těm lze řadit střevlíka Menetriesova, žluťáka borůvkového, zmiji obecnou, čolka horského, čápa černého či tetřívka obecného.

Z geografického hlediska je nutné zmínit i dominantu této národní přírodní rezervace, kterou je Božídarský Špičák (obrázek 6.3). Tato hora je zajímavá svým sopečným původem. Obecně má tato hora výšku 115 metrů nad mořem, díky které se řadí mezi nejvýše položené hory sopečného původu v České republice. Veřejnosti však tato hora zůstává nepřístupná.

Díky všem zmiňovaným aspektům, především geografické polohy, vegetace a místní fauny je oblast Božídarského rašeliniště velice zajímavá pro dálkové snímání země a následnou analýzu získaných obrazových dat. Právě i díky dostupnosti těchto dat byla tato lokalita zvolena pro tuto bakalářskou práci. Souhrnné informace o této oblasti je možné nalézt v tabulce 6.1.

Poloha	50° 24' 0" s. š., 12° 54' 0" v. d.
Nadmořská výška	940 - 1115 ha
Rozloha	1 160,73 m
Zvláště chráněno od	24. 9. 1965
Okres	Karlovy Vary

**Tabulka 6.1:** Souhrnné základní informace o Božídarském rašeliništi [3]



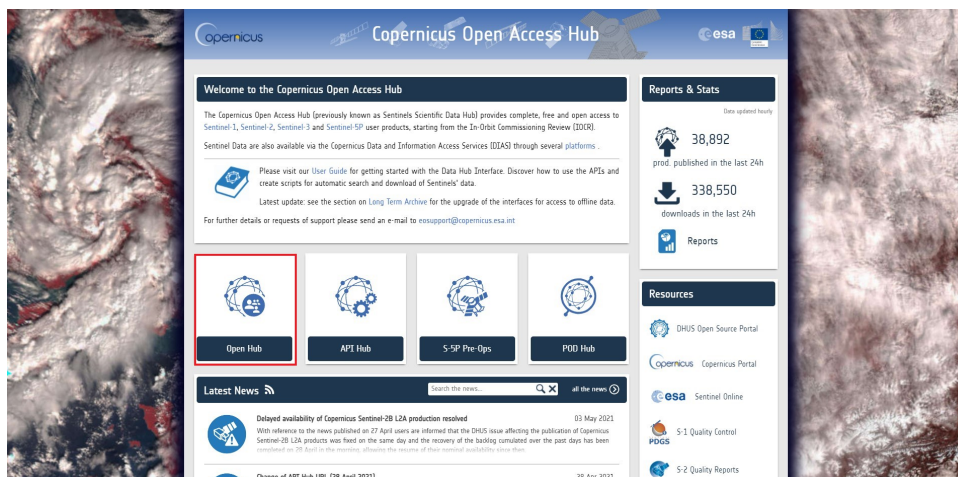
# Kapitola 7

## Získání bezplatných družicových dat

### 7.1 Data z družice Sentinel-2

Pořizování a ukládání obrazových dat z družic Sentinel programu Copernicus jsou financovány státními složkami z veřejných zdrojů a jsou spravovány Evropskou kosmickou agenturou. Z tohoto důvodu jsou data veřejně dostupná zdarma pro všechny registrované uživatele a jiné zájemce. Tato sekce popisuje možnosti získání zmíněných obrazových dat.

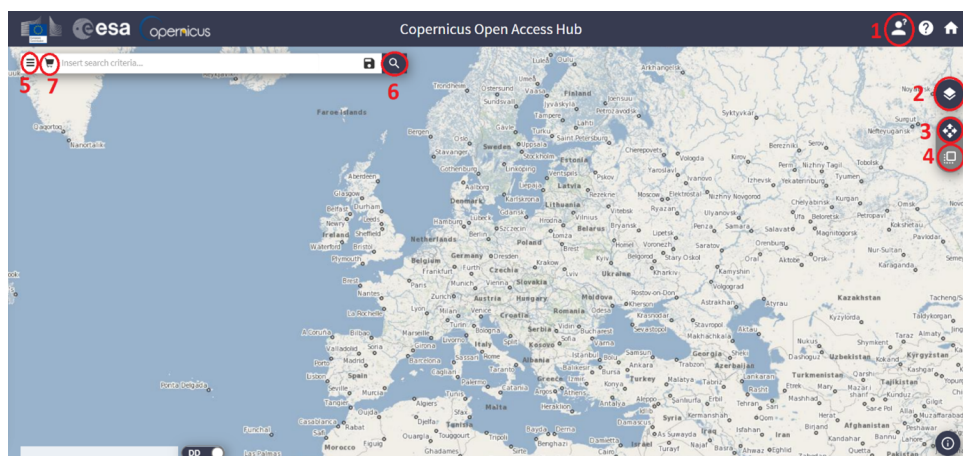
Data a další doplňující informace se dají volně získat (stáhnout) na webových stránkách <https://scihub.copernicus.eu/>, pod Open Hub odkazem (viditelné přímo na titulní straně viz obrázek 7.1). Následuje výběr území ze světové mapy, která se uživateli zobrazí v prohlížeči. Toto webové rozhraní s mapou a popisem znázorňuje obrázek 7.2.



Obrázek 7.1: Úvodní strana po načtení webových stránek

V první řadě je potřebná registrace uživatele (zájemce o získání dat). Registrace je možná při rozkliknutí ikony č. 1 (viz zmíněný obrázek 7.2). Pro uživatele se následně nabízejí 2 možnosti: přihlášení nebo registrace. Při volbě možnosti registrace je nutné pomocí vestavěného formuláře zadávat základní údaje daného uživatele. Uživatel pak následně obdrží automaticky vygenerovaný e-mail na e-mailovou adresu zadanou uživatelem pro potvrzení registrace.





**Obrázek 7.2:** Mapa světa pro výběr území (obrazových dat) ze systému Copernicus Open Access Hub. Hlavní okno prohlížeče je rozděleno na 7 hlavních částí (bodově zvýrazněno červenou barvou). Primární sekce (ikona číslo 1) v pravém horním rohu slouží pro přihlášení nebo registraci uživatele. Sekce označená body 2–4 slouží pro práci s mapou. Ikona číslo 2 je pro přepínání podkladových vrstev (Open Street, Terrain + Overlay, Sentinel-2 Cloudless + Overlay). Pro pohyb na mapě a výběr území se přepíná mezi 3. a 4. ikonou. Ikona 3 umožňuje pohyb po mapě. Ikona 4 slouží pro vymezení oblastí, ze které chce uživatel obdržet data. Pomocí ikony označené číslem 5 se zobrazuje okno, kde se nastavují parametry obrazových dat, jako datum, čas či výběr družice, ze které byla data pořízena. Ikona s číslem 6 slouží k přímému vyhledávání. Ikona 7 představuje odkaz pro nástroj k nalezení již uložených dat pro pozdější využití.

Po confirmaci vyplněných údajů pak následně může uživatel pokračovat ve vyhledávání a výběru dat na původní straně Copernicus Open Access Hub. Zde již uživatel může provést neomezený výběr a stažení potřebných obrazových dat. Navigace po světové mapě Open Access Hubu probíhá pomocí výběru uživatele, který se tak může přiblížit hledané lokalitě a po výběru ikon označené č. 4 se může vybrat oblast, ze které chce obdržet multispektrální či jiná data. Po výběru lokality následuje výběr parametrů těchto dat, a to pomocí ikony č. 5. Přehled možného výběru parametrů je zobrazen na obrázku 7.3.

Celkem si uživatel může vybrat data získaná ze 3 typů družic (misí). Pole *Sort By* slouží k vyhledání dat, podle dne snímání, podle data zpřístupnění nebo podle jedinečného názvu, který je jenom pro data produkovaná ze Sentinelu-2 typu L1. V poli *Order by* je výběr, jak seřadit zobrazená data. Řazení je možné podle data od nejstaršího nebo od nejnovějšího snímku. Pole *Sensing period* slouží uživateli k výběru časového intervalu, ve kterém chce uživatel získat data. Pro výběr správných dat je nutné označit Mission Sentinel-2. V poli *Satellite platform* je možné vybrat družici S2A nebo S2B. Při ponechání prázdného pole budou vybrána data z obou družic. V poli *Product type* určuje uživatel typ dat, které může stáhnout. Data označená L1 jsou bez atmosférických korekcí, data označená L2 jsou již po atmosférické korekci. V posledním poli *Cloud percentage* volí uživatel procentuální rozložení oblačnosti ve zvoleném snímku.

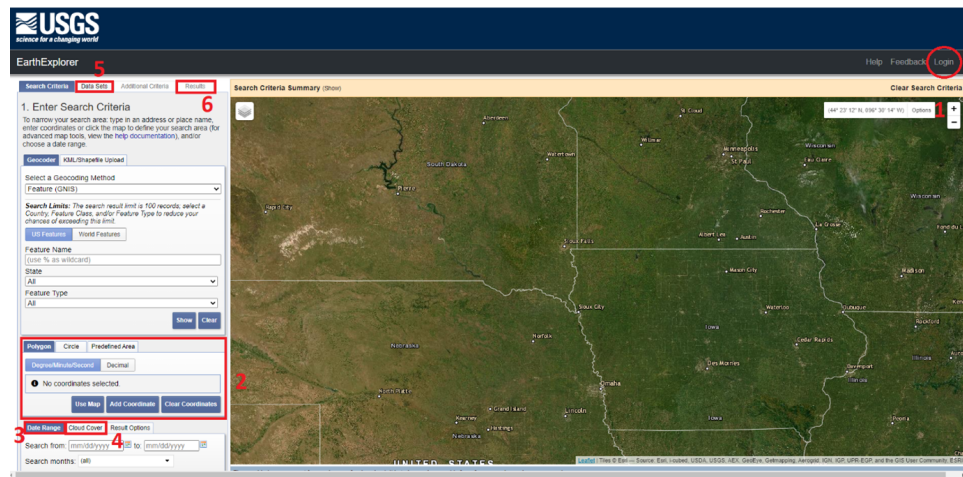
**Obrázek 7.3:** Výběr dat podle zvolených parametrů. Mezi parametry jsou řazeny: datum přidání dat, kdy byla data nasnímaná, výběr časového intervalu, výběr typu družice, typ produktu ke stáhnutí, polarizace (jen pro radarová data ze družic Sentinel-1), oblačnost (družice Sentinel-2).

Po výběru parametrů, je nutné rozkliknout ikonu č. 6 pro vyhledání snímků. Načítání dat zabere určitý čas (dle zvolených parametrů), po kterém jsou zobrazeny náhledy odpovídající zadání. Dále je možné daný snímek zobrazit, přidat do košíku nebo rovnou stáhnout. Pokud je u snímku napsáno označení *offline*, je možno znovu obnovit snímek až při kliknutí na tlačítko *Download* a následně se automaticky snímek uloží do pořadníku pod ikonu č. 7 a po určité době synchronizace bude znovu přístupný. V případě, že některý snímek není ani po určité době dostupný, je uživatel nucen kontaktovat poskytovatele služeb, který vyhodnotí danou situaci a snímek zpřístupní.

## 7.2 Data z programu Landsat

Stejně jako v případě Sentinelu-2, je Landsat financovaný státní veřejnou složkou, v tomto případě Národním úřadem pro letectví a vesmír (NASA). Díky tomu jsou opět data v současné době dostupná zdarma pro všechny uživatele bez omezení. Pro tuto práci byla využita data ze Sentinelu-2 z důvodu lepšího GSD. Nicméně i data z Landsat lze využívat např. ke zkoumání změn krajiny v posledních desetiletí. Uveřejněná data je možné stáhnout na strán-

kách <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Ukázka této stránky s popisky jednotlivých bloků je zobrazena na obrázku 7.4. Na těchto stránkách je také možné si vybrat data z různých misí (Sentinel-2, Ikonos-2, SPOT).



**Obrázek 7.4:** Úvodní strana ke stáhnutí dat z Landsatu

Postup získání dat probíhá obdobně jako v předchozím případě. Uživatel je nucen znovu podstoupit registrační proces s následnou konfirmací e-mailem. Podkladová mapa na uvedených stránkách slouží pro výběr oblasti či místa, ze kterého chce uživatel obdržet data. Oblast lze vymezit souřadnicemi, zvolenými při výřezu mapy pomocí funkce *Use map* v sekci 2, označené na výše zmiňovaném ilustrativním obrázku. Výřez může být proveden tvarem polygonu, kruhu nebo již předdefinovanou oblastí. Sekce *Data range* slouží k výběru časového období, ze kterého hodlá uživatel data získat. *Cloud cover* pole opět umožňuje procentuální určení oblačnosti, kterou mají obrazová data obsahovat. Ikona č.5 *Data Sets* je pro výběr z nabízených dat (jak z družic Landsat, tak i z družic Sentinelu-2, družic SPOT a dalších). Poté se rozklikne *Result* (ikona č. 6) a dále si uživatel již vybírá, který datový produkt je vhodný pro jeho práci.



## Kapitola 8

### Porovnání dat

Data z družice Sentinel-2A i z dronu eBee, zpracovávaná v této práci, byla převzata z Katedry geomatiky a byla pořízena roku 2017. Dronem nasnímaná data byla také použita v odborném článku [1], jehož cílem byla prezentace využití RPAS jako levného nástroje v oblasti geomatiky. Článek byl publikován v rámci mezinárodní konference Geomapplica 2018, v roce 2018.

Byla analyzována oblast kolem rašelinového jezírka v oblasti Božídarského rašeliniště. Tato oblast byla nalétnuta dronem 23.7.2017, který snímal s kamerou multiSPEC 4C. Snímalo se s GSD 15,7 cm a rozměr jednotlivých snímků byl 1280 x 960 pixelů. Celkem bylo pořízeno 377 snímků. Data z družice Sentinel-2A byla pořízena dne 15.8.2017. Byla použita data s rozlišením 10 m v první části spektrálních dat.

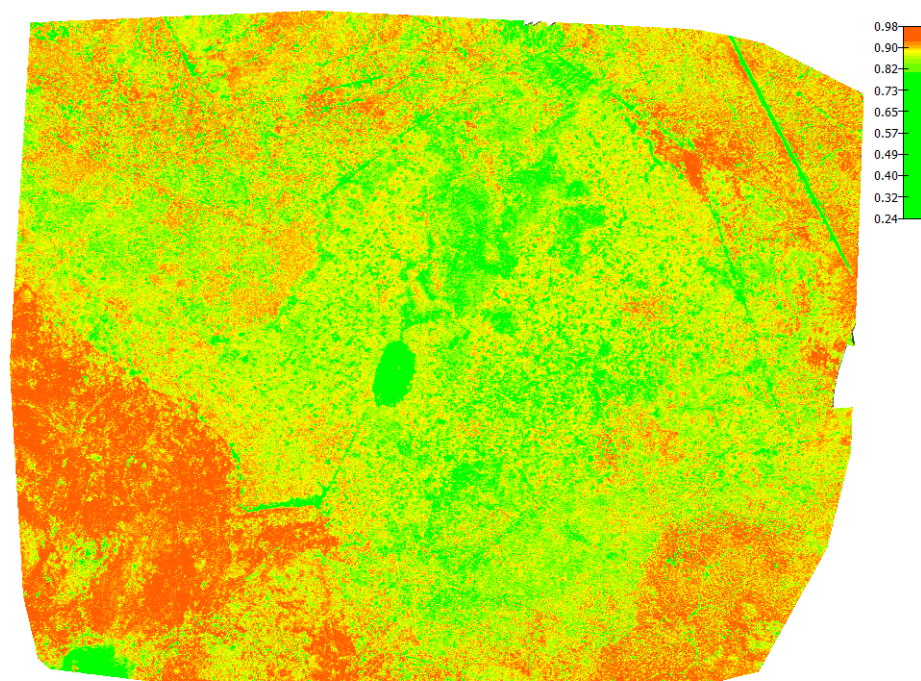
#### 8.1 Zpracování dat z RPAS

##### 8.1.1 Vytvoření ortofota v Pix4D

Ke zpracování snímků z dronu a k vytvoření ortofot v daných multispektrálních pásmech, byl použit software Pix4D<sup>1</sup>. Tento software disponuje uživatelsky přívětivým ovládáním a je plně automatický. Postup práce s tímto software je velice intuitivní. Nejprve jsou po založení nového projektu načteny dané snímky, které již byly georeferencovány pomocí GNSS aparatury v dronu. Software pak následně sám rozpozná polohu a pásmo, v jakém byl snímek pořízen. Podle těchto informací vytvoří daný počet ortofot závisující na počtu multispektrálních pásem. Poté je v programu zvolen typ zpracování snímků. Volit je možno mezi standardním (Standard), rapidním (Rapid) nebo pokročilým (Advanced) zpracováním snímků. Každý typ zpracování je kompromisem mezi rychlostí a spolehlivostí a dalšími možnostmi. Byl vybrán standardní typ zpracování. Po volbě zpracování program začne převádět snímky do ortofot podle jednotlivých pásem. GSD ortofot bylo 15,7 cm. Po zpracování nabízí software možnost dalších analýz. Nabízena je i možnost vytvoření vegetačních indexů, včetně NDVI. Nicméně pro další analýzu byla tato data exportována do softwaru ArcGIS Pro<sup>2</sup>.

<sup>1</sup><https://www.pix4d.com/>

<sup>2</sup><https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>



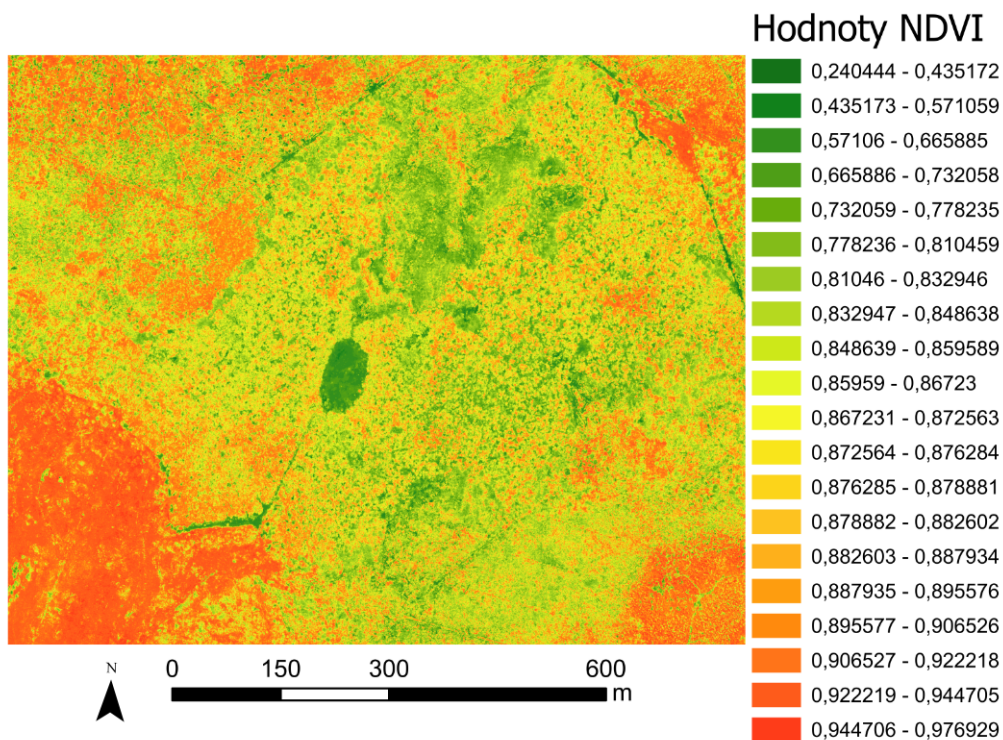
**Obrázek 8.1:** Vytvořené NDVI z dronu ze softwaru Pix4D. Obrázek je bez ořezu. V pravé části se nachází legenda barevných intervalů podle hodnot pixelů.

### 8.1.2 Zpracování RPAS dat v ArcGIS Pro

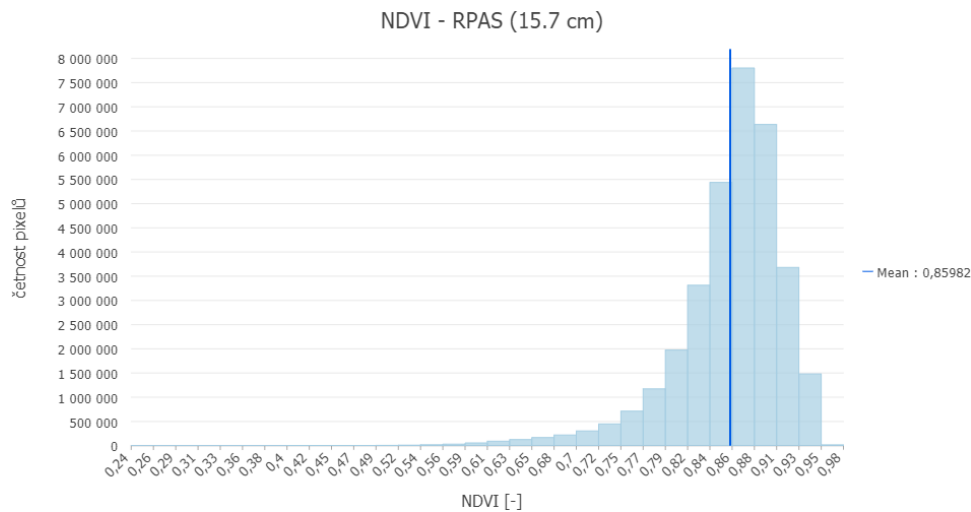
Po načtení výsledných ortofot z Pix4D do programu ArcGIS Pro byla z těchto importovaných ortofot vytvořené ortofoto z pásem v červené R (Red) a blízké infračervené (NIR) oblasti. Značnou výhodou bylo již zmíněné georeferencování snímků, díky kterému docházelo k dokonalému krytí snímků. Z tohoto důvodu nebyly nutné žádné další úpravy v rámci transformace výsledných ortofot. Syntéza zmíněných spektrálních pásem byla provedena pomocí funkce *Raster Calculator* uvnitř programu ArcGIS Pro. Následně byl vypočten NDVI, dle rovnice (3).

V první řadě byla analyzována georeferencovaná spektrální ortofota, získaná pouze z RPAS. Na tato ortofota byla následně aplikována funkce *Clip raster*, která umožňuje polygonální výkroj části území uvnitř snímku. Tato oblast je pak následně analyzována dle spočtených NDVI hodnot. Výřez ze zvoleného polygonu snímku s vyznačeným NDVI je znázorněn na obrázku 8.2. Zobrazený rastr byl obarven nepravými barvami. K vytvoření barevných intervalů byla použita metoda *Geometric interval*, řadí daný počet tříd dle geometrické posloupnosti. Tento geometrický interval byl vypočten z histogramu pixelů a četností jejich NDVI hodnot. Pro názornost zobrazení byl počet tříd NDVI indexu stanoven na 20.

Ze zmíněného histogramu 8.3, který je zobrazen na obrázku 8.3, vyplývá, že se ve zvolené oblasti nachází velmi hustá vegetace, a to dle tabulky indexů (viz dříve uvedená tabulka 5.1). Nejmenší hodnoty pixelů se nachází na ortofotu



**Obrázek 8.2:** Vypočítané NDVI z dronu s GSD 15,7 cm v měřítku 1:8000. V pravé části se nachází legenda barevných intervalů podle hodnot pixelů.



**Obrázek 8.3:** Histogram vypočteného NDVI z dronu s GSD 15,7 cm v měřítku 1:8000. Celkové množství pixelů v obrázku je 33716848. Průměrná hodnota (mean) pixelu je 0,85982. Vysoká četnost pixelů od intervalu 0,7 značí vysokou úroveň vegetace.

v části rašelinového jezírka uprostřed zobrazeného snímku. Vzhledem k uvedeným NDVI hodnotám dává výsledné ortofoto velmi dobrý přehled o stavu vegetace v krajině. Díky GSD rovné 15,7 cm je získané a analyzované ortofoto

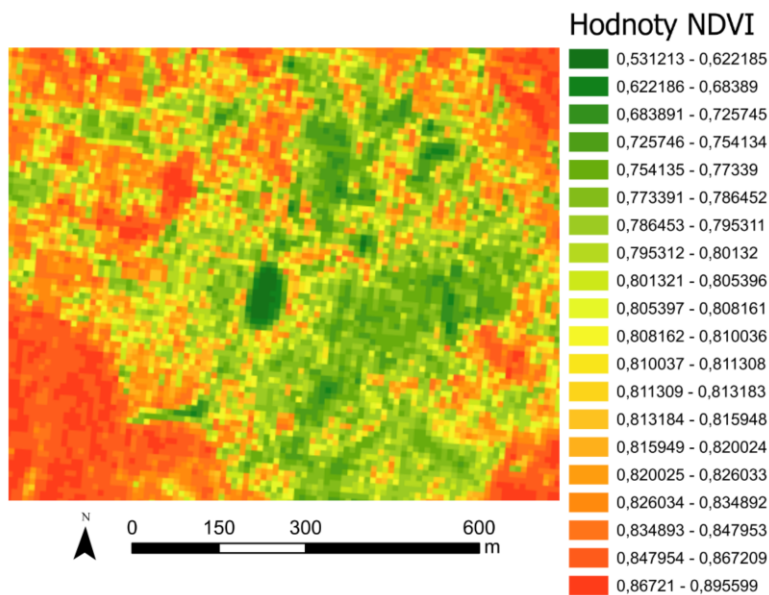
skvělý a velmi přesný pomocník pro aplikace analýzy krajiny a celkového hodnocení zdravotního stavu vegetace v dané oblasti. I díky těmto snímkům je následně možný včasný zásah vůči nežádoucím vlivům na tuto vegetaci a zabránit nenávratnému vzniku škod. Obecně je však zpracování takovýchto dat poměrně výpočetně náročné a počítač by měl disponovat značným výpočetním výkonem. Mezi kritické komponenty patří kvalitní grafická karta novějších řad a značným úložištěm překračující jednotky TB (Terabyte). Požadavky na takové úložiště jsou dány rychlým pořizováním jednotlivých snímků pomocí dronu, respektive kamerou dronu. Jenom na analyzování dat v této práci byla potřeba pro vytvoření jednoho ortofota syntéza 377 snímků. Díky tomu však mohou ortofota obsahovat značný objem analyzovatelných informací, a jak bylo ukázáno, i z více spektrálních pásem.

## 8.2 Zpracování družicových dat ArcGIS Pro

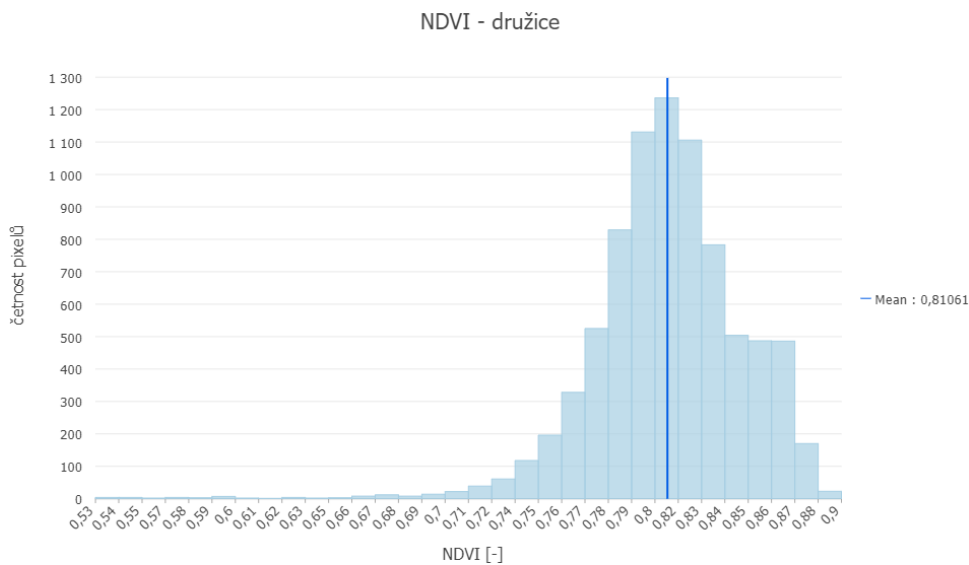
Vybraný družicový snímek z družice Sentinel-2A byl pořízen dne 15.8.2017 ve 13 různých pásmech. Obdržená data, jsou tedy taktéž multispektrální. Do programu ArcGISu Pro v tomto případě byly načteny snímky s označením pásma 4, odpovídající červené (R) spektrální oblasti a pásma 8 odpovídající blízké infračervené (NIR) spektrální oblasti. Oba snímky mají v tomto případě GSD 10 m. Taktéž i získané družicové snímky jsou georeferencované, a proto s nimi nebyla nutná další manipulace. Znovu byl použit identický polygonální tvar k oříznutí zvolené oblasti, stejně jako u dat RPAS v předchozím případě. Totožně byl aplikován vzorec z rovnice (3) pro výpočet NDVI. Výsledný snímek byl opět obarven nepravými barvami. Pro vytvoření barevných intervalů bylo opět použito analýzy geometrického intervalu, dle daného počtu tříd. Ukázka výběru dat z polygonu je znázorněna na obrázku 8.4. Data byla rozdělena do stejného počtu intervalů jako pro RPAS, tedy 20, opět probíhalo podle histogramu četnosti pixelů s hodnotami NDVI (viz obrázek 8.5). Důležitá centrální oblast zobrazeného snímku odpovídající území rašelinového jezírka je na snímku z družice taktéž rozeznána, stejně jako v případě dat z RPAS. Při porovnání kvality snímku s GSD 10 m (družice) a GSD 15,7 cm (RPAS) je však rozdíl výrazný. Tento rozdíl je patrný v rozlišení snímků daného území, tedy počtem pixelů, což znázorňují histogramy na obrázcích 8.5 a 8.3.

Z hlediska rychlosti získání a zpracování dat jsou družicová data mnohem lépe zpracovatelná než obrazová data z dronu. Čerstvě nasnímaná družicová data jsou téměř ihned k dispozici na webových stránkách ukázaných v sekci 7.1. V případě potřeby použití starších dat je možné podání žádosti k danému distributorovi. Data je také možné použít ihned k analýze v softwaru ArcGIS Pro bez předchozího zpracování. Při případné ztrátě či porušení datových souborů lze data znovu stáhnout a požadavky na velikost úložiště dat nejsou tak velké jako u dat z RPAS. Hlavní výhodou družicového snímání je možnost monitorování rozsáhlých územích v krátkých časových intervalech. V tomto případě získaný snímek dokáže obsáhnout území, které by při snímání z dronu odpovídalo několika týdennímu časovému intervalu. Přesnější





**Obrázek 8.4:** Vypočítané NDVI z družice Sentinel-2A s GSD 10 m v měřítku 1:8000. V pravé části se nachází legenda barevných intervalů podle hodnot pixelů.



**Obrázek 8.5:** Histogram vypočítaného NDVI z družice Sentinel-2A. Celkové množství pixelů v obrázku je 9720. Průměrná hodnota (mean) pixelu je 0,81061. Z histogramu je zřejmé, že v oblasti se nalézá velmi hustá vegetace podle tabulky 5.1.

porovnání a analýza dat z dronu a družice je obsažena v následující sekci.

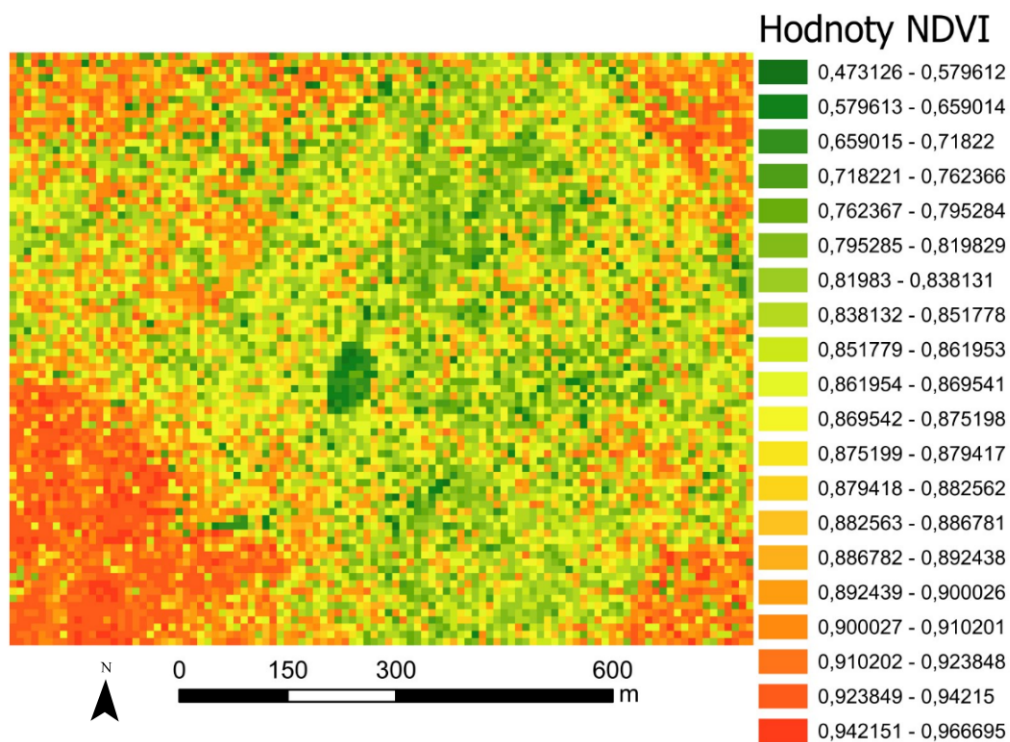
## 8.3 Porovnání dat

Porovnání dat z RPAS a družicového snímače probíhalo opět v programu ArcGIS Pro, který byl pro tento účel nejvhodnější. K přesnému porovnání multispektrálních dat z obou typů snímačů bylo nejdříve potřeba převzorkovat velikost pixelu RPAS ortofota z 15,7 cm na 10 m. K tomuto postupu byla použita funkce *Resample*. Ta aplikuje převzorkování za použití metody *bilineární interpolace*, v tomto případě však podvzorkování, neboli decimace. Takto převzorkovaná data byla použita pro výpočet NDVI a výsledek byl znovu obarven nepravými barvami. Pro určení intervalu tříd bylo opět použito geometrické řady. Počet tříd byl totožný, roven 20. K tomuto rozdělení byl stejně jako v předchozích případech použit histogram četností pixelů s hodnotami NDVI. Z vizualizace změněného převzorkovaného obrázku 8.6 a také z jeho histogramu 8.7 je zřejmé, že průměrná hodnota NDVI u převzorkovaného RPAS snímku dosahuje vyšší průměrné hodnoty (0.86041) než u družicového snímku (0.81061). Za jedno z možných odůvodnění může být považován časový výběr snímků z družice. Tento výběr může ovlivňovat například značná oblačnost nad daným územím v daném období, způsob převzorkování a zejména pořízení dat v odlišném termínu (rozdíl jsou 3 týdny, jiná data nebyla k dispozici). Vliv na rozdíl NDVI hodnot mohly mít i atmosférické korekce aplikované na družicová data. Největší vliv na rozdíly NDVI hodnot pro podvzorkovaná RPAS data a získaná družicová data by měl být přisuzován původnímu rozdílu v prostorovém rozlišení mezi oběma snímači a následnému podvzorkování obrazových dat RPAS a rozdílném termínu snímání.

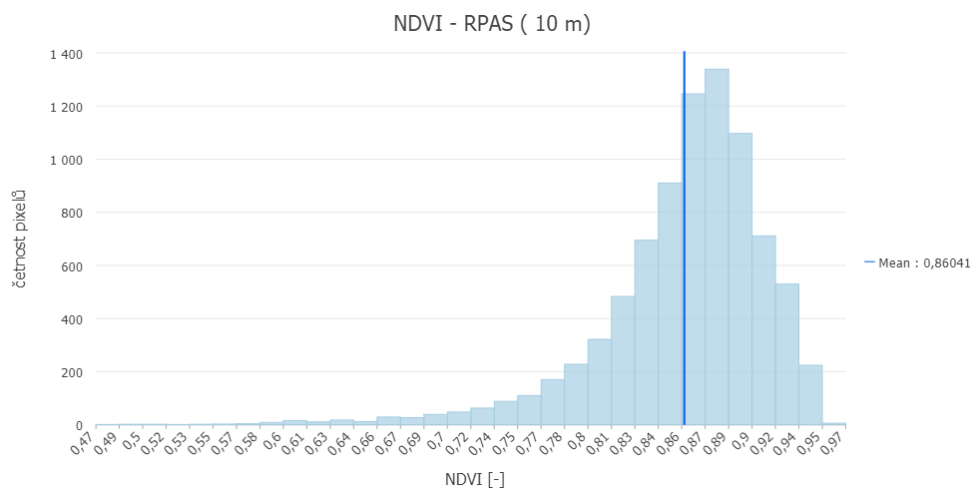
Po analýze převzorkovaných RPAS dat následovalo přímé porovnání mezi těmito daty a daty z družice. Hodnoty pixelů těchto obrazových dat od sebe byly odečteny. Toto odečtení dopadlo dle předchozích očekávání. Z histogramu na obrázku 8.8 je patrné, že hodnoty po odečtení rastru RPAS mínus rastru družice jsou převážně v kladném intervalu, což naznačovaly již průměrné hodnoty z předchozích histogramů na obrázcích 8.5 a 8.7. Důvodem je již zmíněný časový rozdíl (23 dnů) mezi snímky z RPAS a družice, ze kterých byly získány výsledné snímky, a to z důvodu značné oblačnosti nad snímaným zájmovým územím. Družicová data blíže k datu snímání dronem bohužel nebyla k dispozici. Družicová data byla pořízena až v půlce měsíce srpna, oproti konci července pro data z RPAS; v srpnu těchto nadmořských výškách již často končí vegetační cyklus. Z důvodu časového rozdílu výsledek nedává přesnou možnost porovnat data.

Do budoucna by bylo vhodné pořizovat data zkoumaného území vícerorát do roka a nejlépe se znalostí, kdy nad územím přeletí družice; za vhodné meteorologické situace by pak mohla být data pořízena v jediném dni a analýza by měla zcela jistě lepší výsledky i vypovídající schopnost. Data z družice Sentinel-2 jsou určena pro monitorování oblastí a tudíž i k pozorování vývoje vegetace. Výzkumu by prospělo více dat, použití více statistických metod a kalibrace multispektrálních dat z RPAS, či použití polního spektrometru k ověření odrazivosti a kalibraci. Takto byla provedena pouze firemní kalibrace multispektrální kamery Multispec 4C před letem za použití spektrálního

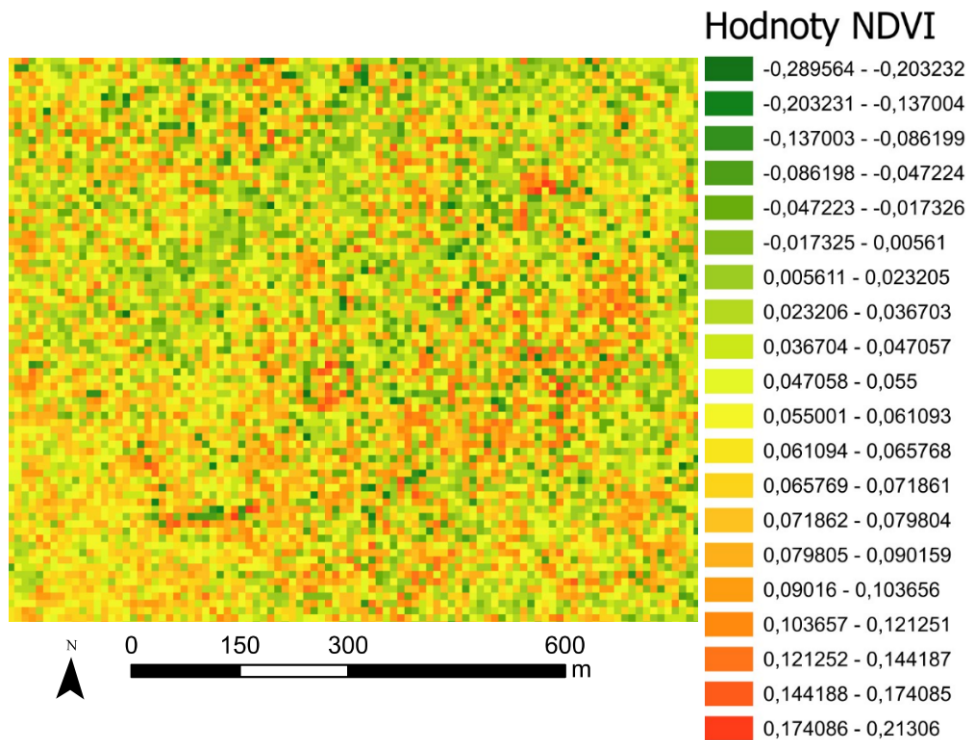
terče (etalonu).



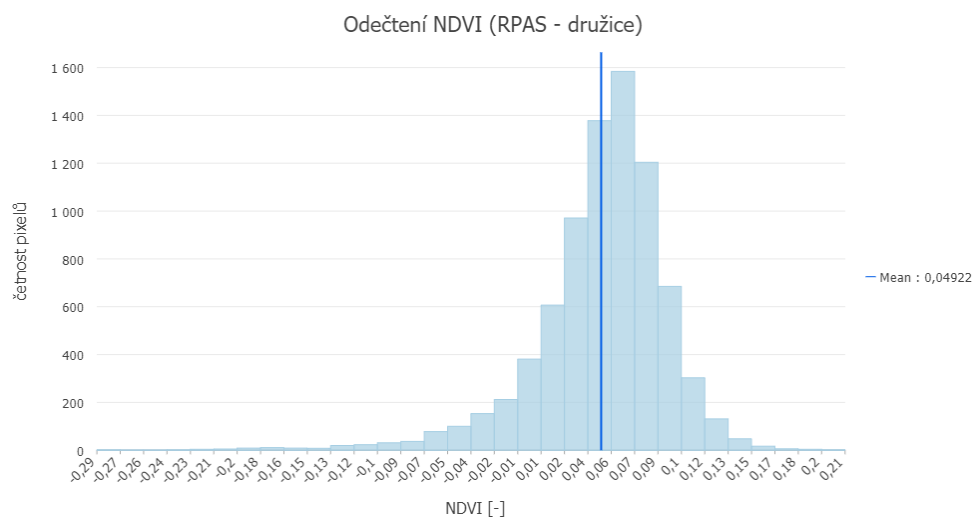
**Obrázek 8.6:** Převzorkované ortofoto z 15,7 cm na 10 m v měřítku 1:8000. V pravé části se nachází legenda barevných intervalů podle hodnot pixelů.



**Obrázek 8.7:** Histogram z převzorkovaného RPAS ortofota na 10 m. Průměrná hodnota NDVI (mean) je 0,86041.



**Obrázek 8.8:** Odečtení družicových a RPAS dat v měřítku 1:8000. V pravé části se nachází legenda barevných intervalů podle hodnot pixelů.



**Obrázek 8.9:** Histogram odečteného území z dronu a z družice Sentinel-2A. Průměrná hodnota (mean) je 0.04922.



# Kapitola 9

## Závěr

Bakalářská práce se zabývala porovnáním multispektrálních dat z RPAS a družicového snímače. Přesněji, tato práce hodnotila možnosti dosažení porovnatelné obrazové a datové informace, jak z družicového snímače, tak z RPAS snímače, přičemž oba snímače disponují rozdílnými vlastnostmi a přesností snímání.

Tato práce byla rozdělena do 9 kapitol. První část této práce, začínající kapitolou 2 a navazující na úvod, se věnovala literární rešerši. V této kapitole byla krátce popsána historie jak družicového, tak i RPAS snímání. V rámci této kapitoly byly také vybrány a popsány aktuální odborné publikace věnující se zvolenému tématu družicového a RPAS snímání. Navazující kapitola se věnovala popisu obecných vlastností RPAS a družic. Toto porovnání zahrnovalo i hodnocení, v jakých oblastech aplikacích je nutná vysoká přesnost měření, a dále jaký typ snímače dokáže RPAS či družice pro tuto oblast nabídnout. V kapitole 4 byla popsána odrazivost materiálu v odlišných spektrálních oblastech. Následně byly popsány základní typy vegetačních indexů a jejich historie vycházející z významné práce C. Tuckera. Kapitola 5 se věnovala popisu použitých snímačů s jejich charakteristikami, které byly využity v této práci. V kapitole 6 je detailně zmíněna lokalita Božídarského rašeliniště, která byla vybrána pro porovnání snímků a vlastností snímačů v rámci této práce. Kapitola 7 se věnovala vysvětlení a návodu pro získání a stažení volně přístupných dat z evropské družice Sentinel-2, a také dat z amerického programu Landsat.

Nejdůležitější kapitola 8 prezentovala výsledky této práce, a to porovnání multispektrálních dat z použitých snímačů, kde byl zmíněn i postup zpracování jednotlivých obrazových dat zvolených pro tuto práci. V první řadě byl popsán software, který byl použit ke zpracování těchto dat, a také typy funkcí, které byly aplikovány k dosažení výsledků porovnání. Z výsledků této práce je zřejmé, že data RPAS dávají detailní přehled o dané lokalitě. S přesností 15,7 cm a dobrou znalostí terénu je možné za pomoci získaných dat rozlišovat jednotlivé stromy. Na druhou stranu družicové snímky dávají náhled na krajinu ve značně větším rozsahu, než bylo vybrané území Božídarského rašeliniště. V rámci této kapitoly byly vypočítané NDVI indexy z dat obou typů snímačů. Pro možnost porovnání dat byla spektrální ortofota z dronu převzorkována na 10 m, a následně byla porovnána s družicovými daty. Vý-

sledný histogram četnosti pixelů NDVI hodnotami, který byl získán odečtením porovnávaného NDVI rastru z RPAS a z družice, obsahoval převážně kladné hodnoty. Tento výsledek naznačoval i možnosti změn vegetace během měsíců července a srpna, během kterých byly s intervalem 23 dnů pořízeny snímky z RPAS a z družice. Značná délka tohoto časového intervalu mezi snímáním z družice a dronu byla zapříčiněna oblačností nad daným územím, jiná data nebyla k dispozici. Výsledný histogram, porovnávající rozdíl hodnot NDVI, byl ovlivněn i atmosférickými korekcemi dat z družic a převzorkování dat z RPAS. Tyto vlivy měly značný podíl na rozdílu mezi zmíněnými hodnotami NDVI. Kvůli tomu není možné zcela přesně konstatovat, jak přesně se daná obrazová data z RPAS a družice mezi sebou liší. Další výzkum v této oblasti a podrobnější analýzy jsou do budoucna nutné.

Ze získaných výsledků je možné obecně zhodnotit potenciál volně dostupných dat z družice Sentinel-2, která umožňují finančně nenáročný typ monitorování krajiny. Následně, v případě zjištění problému s vegetací v dané oblasti, lze rychle na tento problém upozornit, a pořídit podrobnější data tohoto území pomocí RPAS náletu. Z tohoto důvodu by v budoucnu bylo potřeba zkoumat vybranou oblast ve více časových intervalech nejlépe v době přeletu družice, kterou lze předem zjistit. Díky zvýšenému počtu porovnatelných dat by bylo možné zapojení přesnějších statistických metod k hodnocení korelace mezi RPAS a družicovými daty. Do budoucna by bylo vhodné i snímání zvolené oblasti pomocí dronu s různými typy kamer, umožňující odlišnou přesnost snímání.

,



## Literatura

- [1] K. Pavelka jr., P. Raeva, J. Šedina, and K. Pavelka, “RPAS as a low-cost tool in geomatics,” *International Conference Geomapplica 2018*, 2018.
- [2] A.-V. Emilien, C. Thomas, and H. Thomas, “Uav & satellite synergies for optical remote sensing applications: A literature review,” *Science of Remote Sensing*, vol. 3, p. 100019, 2021.
- [3] AOPK ČR, “Národní přírodní rezervace božídarské rašeliniště.” <https://www.ochranaprirody.cz/lokality/?idlokality=26>. [15.5.2021].
- [4] Landsat Science, “Landsat.” <https://landsat.gsfc.nasa.gov/about>. [15.5.2021].
- [5] J. Xue and B. Su, “Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications,” *Journal of sensors*, vol. 2017, 2017.
- [6] J. S. Aber, I. Marzloff, and J. B. Ries, “Chapter 1 - introduction to small-format aerial photography,” in *Small-Format Aerial Photography* (J. S. Aber, I. Marzloff, and J. B. Ries, eds.), pp. 1–13, Amsterdam: Elsevier, 2010.
- [7] K. Pavelka, J. Šedina, J. Pacina, L. Plánka, J. Karas, V. Šafář, and České vysoké učení technické v Praze, “RPAS - remotely piloted aircraft systems,” 2016.
- [8] H. Przybilla *et al.*, “Bildflug mit ferngelenktem kleinflugzeug,” 1979.
- [9] R. Minařík and J. Langhammer, “Use of a multispectral uav photogrammetry for detection and tracking of forest disturbance dynamics,” *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLI-B8, pp. 711–718, 06 2016.
- [10] P. L. Raeva, J. Šedina, and A. Dlesk, “Monitoring of crop fields using multispectral and thermal imagery from uav,” *European Journal of Remote Sensing*, vol. 52, no. sup1, pp. 192–201, 2019.

- [11] L. Zhang, H. Zhang, Y. Niu, and W. Han, “Mapping maize water stress based on uav multispectral remote sensing,” *Remote Sensing*, vol. 11, no. 6, 2019.
- [12] K. Pavelka, *Dálkový průzkum Země - družicové systémy*. České vysoké učení technické v Praze, 2010.
- [13] J. Segarra, M. L. Buchailot, J. L. Araus, and S. C. Kefauver, “Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved features and applications,” *Agronomy*, vol. 10, no. 5, 2020.
- [14] E. Grabska, P. Hostert, D. Pflugmacher, and K. Ostapowicz, “Forest stand species mapping using the sentinel-2 time series,” *Remote Sensing*, vol. 11, no. 10, 2019.
- [15] K. Jacobsen, “Airborne or spaceborne images for topographic mapping?,” *Perakis, KG*, 2012.
- [16] E. Matoušková, L. Starková, K. Pavelka, K. Nováček, J. Šedina, M. Faltýnová, and E. Housarová, “Using remotely sensed data for documentation of archaeological sites in northeastern mesopotamia,” *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 41, p. 335, 2016.
- [17] J. P. Dash, G. D. Pearse, and M. S. Watt, “Uav multispectral imagery can complement satellite data for monitoring forest health,” *Remote Sensing*, vol. 10, no. 8, 2018.
- [18] F. Nonni, D. Malacarne, S. Pappalardo, D. Codato, F. Meggio, and M. De Marchi, “Sentinel-2 data analysis and comparison with uav multispectral images for precision viticulture,” *GI\_Forum*, vol. 1, pp. 105–116, )1 2018.
- [19] G. Messina, J. M. Peña-Barragán, M. Vizzari, and G. Modica, “A comparison of uav and satellites multispectral imagery in monitoring onion crop. an application in the ‘cipolla rossa di tropea’ (italy),” *Remote Sensing*, vol. 12, p. 3424, 10 2020.
- [20] J. Müllerová, J. Brůna, T. Bartaloš, P. Dvořák, M. Vítková, and P. Pyšek, “Timing is important: Unmanned aircraft vs. satellite imagery in plant invasion monitoring,” *Frontiers in Plant Science*, vol. 8, p. 887, 2017.
- [21] I. Colomina and P. Molina, “Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review,” *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 92, pp. 79–97, 2014.
- [22] M. M. Abdullah, M. M. Gholoum, and H. A. Abbas, “Satellite vs. uavs remote sensing of arid ecosystems: A review with in an ecological perspective,” *Environmental Analysis & Ecology Studies*, vol. 2, pp. 1–5, 2018.

- [23] A. L. Fytsilis, A. Prokos, K. D. Koutroumbas, D. Michail, and C. C. Kontoes, "A methodology for near real-time change detection between unmanned aerial vehicle and wide area satellite images," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 119, pp. 165–186, 2016.
- [24] B. Pham, *Satellite remote sensing of the variability of the continental hydrology cycle in the lower Mekong basin over the last two decades*. PhD thesis, 02 2018.
- [25] J. Xue and B. Su, "Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications," *Journal of sensors*, vol. 2017, 2017.
- [26] C. J. Tucker, "Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation," *Remote Sensing of Environment*, vol. 8, no. 2, pp. 127–150, 1979.
- [27] C. J. Tucker, J. R. Townshend, and T. E. Goff, "African land-cover classification using satellite data," *Science*, vol. 227, no. 4685, pp. 369–375, 1985.
- [28] C. F. Jordan, "Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor," *Ecology*, vol. 50, no. 4, pp. 663–666, 1969.
- [29] A. J. Richardson and C. Wiegand, "Distinguishing vegetation from soil background information," *Photogrammetric engineering and remote sensing*, vol. 43, no. 12, pp. 1541–1552, 1977.
- [30] J. Rouse, R. H. Haas, J. A. Schell, D. W. Deering, *et al.*, "Monitoring vegetation systems in the great plains with erts," *NASA special publication*, vol. 351, no. 1974, p. 309, 1974.
- [31] C.-D. Wu, E. Mcneely, J. Laurent, W.-C. Pan, G. Adamkiewicz, F. Dominici, S.-C. Candice Lung, H.-J. Su, and J. Spengler, "Linking student performance in massachusetts elementary schools with the "greenness" of school surroundings using remote sensing," *PloS one*, vol. 9, p. e108548, 10 2014.
- [32] A. Ahmad Zawawi, M. Shiba, and N. Jemali, "Landform classification for site evaluation and forest planning: Integration between scientific approach and traditional concept," *Sains Malaysiana*, vol. 43, pp. 349–358, 03 2014.
- [33] European Space Agency, "Overview." <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/overview>, 2015. [15.5.2021].
- [34] European Space Agency, "Images." [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images). [15.5.2021].
- [35] European Space Agency, "Spatial resolution." <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial>, 2015. [15.5.2021].

- [36] <https://bezpilotne.cz/>, “sensefly ebee.” <https://www.sensefly.com/drone/ebee-x-fixed-wing-drone//>. [15.5.2021].
- [37] S. Nebiker, N. Lack, M. Abächerli, and S. Läderach, “Light-weight multispectral uav sensors and their capabilities for predicting grain yield and detecting plant diseases.,” *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, vol. 41, 2016.
- [38] Seznam.cz, “Mapy.cz.” <https://mapy.cz/>. [15.5.2021].
- [39] Národní geopark Egeria, “Božídarské rašeliniště.” <http://www.geopark.cz/bozidarske-raseliniste>. [15.5.2021].

## Seznam použitých zkratk

<b>CMOS</b>	Complementary Metal Oxide Semiconductor
<b>CWSI</b>	Crop Water Stress Index
<b>DPZ</b>	dálkový průzkum Země
<b>DVI</b>	Difference Vegetation Index, rozdílový vegetační index
<b>ERTS</b>	Earth Resource Technology Satellite
<b>ESA</b>	European Space Agency, Evropská kosmická agentura
<b>GDPR</b>	General Data Protection Regulation
<b>GMES</b>	Global Monitoring for Environment and Security
<b>GNDVI</b>	Green Normalized Difference Vegetation Index
<b>GNSS</b>	Global Navigation Satellite System, globální družicový polohový systém
<b>GSD</b>	Ground Sample Distance, velikost pixelu na zemském povrchu
<b>IMU</b>	Inertial Measurement Unit, inerciální měřicí jednotka
<b>LC</b>	Land Cover
<b>LU</b>	Land Use
<b>MSI</b>	MultiSpectral Instrument
<b>MSS</b>	Multispectral Scanner
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration, Národní úřad pro letectví a vesmír
<b>NDRE</b>	Normalized Difference Red Edge Index
<b>NDVI</b>	Normalized Difference Vegetation Index, normalizovaný diferenční vegetační index,
<b>NIR</b>	Near Infrared, blízké infračervené,
<b>NOAA</b>	National Oceanic and Atmospheric Administration
<b>RBV</b>	Return Beam Vidicon
<b>RDVI</b>	Renormalized Difference Vegetation Index
<b>RGB</b>	Red, Green, Blue
<b>RPAS</b>	Remotely Piloted Aircraft System
<b>RVI</b>	Ratio Vegetation Index, jednoduchý poměrový vegetační index
<b>SAVI</b>	Soil Adjusted Vegetation Index
<b>SPOT</b>	Satellite Pour l'Observation de la Terre

<b>SWIR</b>	Short-Wave Infrared, krátkovlnné infračervené,
<b>TB</b>	Terrabyte
<b>TCARI</b>	Transformed Chlorophyll Absorption Reflectance Index
<b>TIROS</b>	Television Infrared Observation Satellite
<b>UAS</b>	Unmanned Aircraft System
<b>UAV</b>	Unmanned Aerial Vehicle
<b>USGS</b>	United States Geological Survey
<b>VHR</b>	Very High Resolution, vysoké geometrické rozlišení
<b>VI</b>	Vegetation Index, Vegetační index
<b>VNIR</b>	Visible and Near Infrared, viditelné blízké infračervené





## Příloha

Příloha představuje popis všech datových souborů, které obsahuje přiložené DVD.



### Obsah přiloženého DVD

- BP\_2021\_KrauzTom.pdf - kompletní text bakalářské práce
- BP\_2021\_KrauzTom\_porovnani\_dat.ppkx - Soubor obsahuje použitá družicová data, použité ortofoto z dronu a výsledné výstupy ze softwaru ArcGIS Pro.