

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačního inženýrství



Diplomová práce

**Metodika automatizace zpracování
multispektrálních dat z dronu v ArcGIS pomocí Python
skriptů**

Matěj Tvrzník

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Matěj Tvrzník

Informatika

Název práce

Metodika automatizace zpracování multispektrálních dat z dronu v ArcGIS pomocí Python skriptů

Název anglicky

Methodology for automating the processing of multispectral drone data in ArcGIS using Python scripts

Cíle práce

Diplomová práce je tematicky zaměřená na problematiku přípravy a zpracování multispektrálních dat, získaných dronem v programu ArcGIS. Hlavním cílem je navrhnout a implementovat automatizovaný proces zpracování multispektrálních dat z dronu v programu ArcGIS s využitím Python skriptů.

Díličí cíle diplomové práce jsou:

- charakterizovat základní principy zpracování multispektrálních dat v ArcGIS,
- implementovat a otestovat Python skripty pro zpracování multispektrálních dat z dronu v ArcGIS,
- porovnat výsledky zpracování dat pomocí manuálních metod a navržených automatizovaných metod.

Metodika

Teoretická část bude zaměřena na analýzu principů získávání a zpracování multispektrálních dat, seznámení s programem ArcGIS a s programovacím jazykem Python.

V praktické části bude vytvořena metodika pro automatizaci zpracování multispektrálních dat z dronu v ArcGIS pomocí Python skriptů. Metodika bude obsahovat postup pro přípravu dat, import dat do ArcGIS, vytvoření skriptů pro zpracování dat a vizualizaci výsledků.

Dalším krokem bude testování vytvořené metodiky na reálných datech získaných z dronu. Bude provedena analýza výsledků testování a zhodnocení úspěšnosti metodiky.

Na základě syntézy teoretických a praktických poznatků budou formulovány závěry práce a diskutována možnost dalšího využití metodiky v praxi.

Doporučený rozsah práce

60

Klíčová slova

GIS, drony, Multispektrální data, ArcGIS, Automatizace, Python, zpracování dat

Doporučené zdroje informací

LAWHEAD, Joel. *Learning geospatial analysis with Python : understand GIS fundamentals and perform remote sensing data analysis using Python 3.7*. Birmingham: Packt, 2019. ISBN 978-1-78995-927-7.
LONGLEY, Paul; GOODSCHILD, Michael F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, David W. *Geographic information systems & science*. Hoboken: Wiley, 2015. ISBN 978-1-118-67695-0.
MCKINNEY, W. *Python for Data Analysis: Data Wrangling with Pandas, NumPy, and IPython*. ISBN 978-1-491-95766-0
THOMAS M. LILLESAND, RALPH W. KIEFER, JONATHAN W. CHIPMAN. *Remote Sensing and Image Interpretation*, ISBN 978-1-118-34328-9

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Jakub Konopásek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra informačního inženýrství

Elektronicky schváleno dne 28. 11. 2023

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 9. 2. 2024

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 07. 03. 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Metodika automatizace zpracování multispektrálních dat z dronu v ArcGIS pomocí Python skriptů" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.3.2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Jakubu Konopáskovi, Ph.D. za věcné připomínky a cennou pomoc při zpracování předkládané práce. Dále bych rád poděkoval rodině a přítelkyni za trpělivost.

Metodika automatizace zpracování multispektrálních dat z dronu v ArcGIS pomocí Python skriptů

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá aplikací metod zpracování multispektrálních dat získaných pomocí dronů v geoinformačních systémech. Hlavním tématem, kterým se teoretická část práce zabývá, je popis dronů jakožto prostředku pro sběr multispektrálních dat. Dalším tématem je rozbor multispektrálních dat s ohledem na možnosti jejich využití.

V praktické části je s pomocí programovacího jazyka Python a nástrojů poskytovaných ArcGIS API vytvořena metodika pro automatické zpracování dat, která zahrnuje přípravu prostředí a dat, import, zpracování a vizualizaci výsledků. Je vyvinut skript pro automatizaci zpracování multispektrálních dat a v závěru je ukázán příklad jeho využití v kombinaci s multispektrálními snímky.

Klíčová slova: GIS, drony, multispektrální data, ArcGIS, automatizace, Python, zpracování dat

Methodology for automating the processing of multispectral drone data in ArcGIS using Python scripts

Abstract

This thesis explores the use of drone-collected multispectral data in geographic information systems (GIS). The theoretical part explains the importance of drones in capturing multispectral data and analyzes the potential applications of this data.

In the practical part, a methodology for automating the processing of multispectral data is developed using Python and the ArcGIS API. This includes setting up the environment, importing data, processing it, and visualizing the results. Additionally, a script is created to automate the data processing, and an example of its use is provided.

Keywords: GIS, drones, multispectral data, ArcGIS, automation, Python, data processing

Obsah

1	Úvod	11
2	Cíle práce a metodika	12
3	Teoretická východiska	13
3.1	Dálkový průzkum Země (DPZ)	13
3.1.1	Základní principy a metody DPZ	13
3.2	Drony jako prostředek dálkového průzkumu	15
3.2.1	Historie	16
3.2.2	Bezpečnostní rizika užití dronu	18
3.3	Legislativa spojená s užitím dronu v České republice	19
3.3.1	Registrace	20
3.3.2	Registrace pilota a složení zkoušky	22
3.3.3	Kategorie otevřená, podkategorie A1	24
3.3.4	Kategorie otevřená, podkategorie A2	25
3.3.5	Kategorie otevřená, podkategorie A3	26
3.3.6	Kategorie specifická	26
3.3.7	Certifikovaná kategorie	28
3.4	Dělení dronů dle technických parametrů	28
3.4.1	Třída C0.....	28
3.4.2	Třída C1.....	29
3.4.3	Třída C2.....	29
3.4.4	Třída C3.....	30
3.4.5	Třída C4.....	30
3.4.6	Třída C5.....	30
3.4.7	Třída C6.....	31
3.5	Dělení dronů dle konstrukce	31
3.5.1	Drony s pevným křídlem	31
3.5.2	Multirotové drony	32
3.5.3	Jednorotorové drony	34
3.5.4	Hybridní drony s pevným křídlem	35
3.6	Multispektrální data	36
3.6.1	Elektromagnetické spektrum a pásma	36
3.6.2	Prostorové rozlišení	37
3.6.3	Spektrální signatura a její praktické využití	39
3.7	Programovací jazyk Python	44
3.7.1	Interpreter	44
3.7.2	Základní datové struktury	45
3.7.3	Knihovny	46

3.8	System programů Esri	47
3.8.1	ArcGIS Pro	47
3.8.2	ArcGIS Pro a analýza multispektrálních dat	48
3.8.3	ArcGIS Online.....	48
3.8.4	ArcGIS Enterprise	49
4	Vlastní práce	50
4.1	ArcGIS Pro.....	50
4.1.1	Instalace.....	50
4.1.2	Propojení ArcGIS Pro s portálem.....	51
4.1.3	Python okno.....	52
4.1.4	Python Notebook	54
4.1.5	Klonování Python prostředí.....	54
4.1.6	Anaconda Navigator	55
4.2	Převod souřadnic do S-JTSK	56
4.2.1	Seznam cest k souborům	57
4.2.2	Extrakce a korekce souřadnic	58
4.2.3	Tvorba DataFrame	60
4.2.4	Konverze souřadnic pomocí knihovny pyproj	62
4.2.5	Export TXT souboru pro konverzi	63
4.2.6	Import konvertovaných dat.....	64
4.2.7	Spojení obou zdrojů dat.....	65
4.3	Porovnání metod převodů souřadnicových systémů.....	66
4.3.1	Výpočet diferencí	66
4.3.2	Rozbor výsledků.....	67
4.3.3	Automatizace procesu transformace.....	68
4.4	Zpracování dat ArcGIS portálem	72
4.4.1	Technické parametry snímače	73
4.4.2	Seznam s polohami snímků.....	74
4.4.3	Kompozice slovníku raster_type_params.....	75
4.4.4	Tvorba kolekce snímků	76
4.4.5	Korekce snímků sensorovým modelem	78
4.4.6	Zpracování švů mezi snímky	79
4.5	Finální úpravy skriptu	81
4.6	Využití výstupu	82
4.7	Manuální tvorba rastrové vrstvy	85
4.8	Měření časové náročnosti.....	86
5	Výsledky a diskuse.....	87
6	Závěr.....	89

7	Seznam použitých zdrojů.....	90
8	Přílohy	94
8.1	Seznam obrázků	94
8.2	Seznam tabulek	97
8.3	Soubor ZIP se zdrojovým kódem.....	97

1 Úvod

Zvyšování dostupnosti dronů s možností snímat multispektrální data a zároveň zaznamenávat přesně svou polohu přineslo rozšíření technologie multispektrálního snímkování mezi širší komunitu. Pořízení dronu s těmito schopnostmi se stalo dostupnou záležitostí například pro zemědělská družstva nebo lesní správy. Umožňuje jim získávat rozsáhlé množství geografických dat, která lze využít k analýze a monitorování různých ekologických aspektů. Zpracování dat, získaných tímto způsobem, se tedy stává významným tématem v oblasti geoinformatiky a environmentálního výzkumu.

Programovací jazyk Python, který je široce využíván v oblasti datové analýzy a zpracování dat, se k automatizaci některých rutinních činností využívá běžně, a i proto je integrovaný do některých geoinformačních systémů. Integrace nabízí možnost automatizace některých úkonů, které se ve spojení s rastrovými daty provádí rutinně, tato práce je zaměřena na proces tvorby jednodílné rastrové vrstvy z jednotlivých snímků.

Účelem této diplomové práce je vytvořit postup, v rámci kterého bude vyvinut skript, usnadňující práci s multispektrálními rastrovými daty. Za účelem zajištění širší využitelnosti práce, budou v rámci postupu nastíněny obecné kroky, podle kterých se připravuje vývojové prostředí kombinující ArcGIS Pro, ArcGIS Enterprise Portál a Jupyter Notebooky. Samotný skript se zaměřuje na propojení všech zmíněných technologií do jednoho celku. Využití skriptu bude prezentováno na příkladu s multispektrálními snímky, z nichž bude vytvořena nová vizuální vrstva reprezentující úroveň NDVI indexu.

2 Cíle práce a metodika

Diplomová práce je tematicky zaměřená na problematiku sběru dat drony a automatizaci jejich zpracování. Hlavním cílem je navrhnout a implementovat automatizovaný proces zpracování multispektrálních dat z dronu v programu ArcGIS s využitím Python skriptů.

Hlavního cíle bude dosaženo splněním následujících dílčích cílů:

- charakterizovat základní principy zpracování multispektrálních dat v ArcGIS,
- implementovat a otestovat Python skripty pro zpracování multispektrálních dat z dronu v ArcGIS,
- porovnat výsledky zpracování dat pomocí manuálních metod a navržených automatizovaných metod.

Pro dosažení stanovených cílů bude využita kombinace teoretických studií a praktického vývoje. Bude vypracován průzkum dostupné literatury a online zdrojů k získání porozumění v oblasti sběru dat za pomoci dronů a legislativy s tím spojené. Bude představen skriptovací jazyk Python a zástupci GIS programů společnosti ESRI a jejich možnosti v oblasti zpracování multispektrálních dat.

Dále bude proveden vývoj Python skriptu, který automatizuje proces od přípravy a importu dat, přes jejich zpracování, až po uložení finálního výsledku. Metodika zpracování bude pečlivě dokumentována, aby bylo možné postupy snadno reprodukovat. Vývoj skriptu bude prováděn na reálných datech získaných z dronu.

Závěrečná fáze zahrnuje porovnání výsledků získaných automatizovanými metodami s výsledky dosaženými manuálními technikami zpracování. Výsledky budou diskutovány společně s možnostmi dalšího rozvoje skriptu.

3 Teoretická východiska

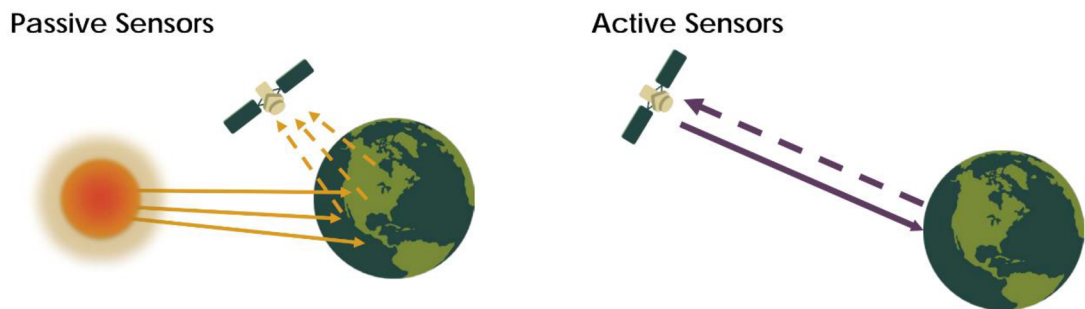
3.1 Dálkový průzkum Země (DPZ)

V této kapitole bude rozebráno jedno ze stěžejních témat pro tuto práci. Obecně řečeno je dálkový průzkum proces sběru informací o sledovaném objektu, jevu či oblasti, aniž by zařízení, sbírající data, bylo v kontaktu se zkoumaným objektem. Oči, které čtou tento text, de facto provádí dálkový průzkum. Vnímají rozdíly mezi množstvím světla odraženého touto stránkou. Lidský mozek poté data o odraženém světle analyzuje a interpretuje je jako písmena, slova, věty. Dále je z nich potřeba abstrahovat informace, které předávají.

Tento proces čtení je do jisté míry přirovnatelný k dálkovému průzkumu Země, s tím rozdílem, že senzory, které informace získávají, se nemusí soustředit jen na informace, které lze získat pomocí lidských smyslů. Lze snímat celou řadu informací, jako například akustické vlny, rozložení sil nebo třeba elektromagnetickou energii. [1]

3.1.1 Základní principy a metody DPZ

Metody dálkového průzkumu lze rozlišit na aktivní a pasivní dle způsobu sběru informací o zkoumaném objektu. Metoda pasivní se soustředí na měření záření vysílaného sledovaným objektem, v němž je obsažena charakteristika fyzikálního stavu objektu i okolí. Příkladem první metody může být sběr fotografií, měření radiometrem či spektrometrem. Aktivní metoda naproti tomu využívá vlastní umělý zdroj záření, které je po odražení od objektu registrováno v přijímacím zařízení, viz Obrázek 1. Například může jít o sběr dat radarem nebo laserem. [2]



Obrázek 1: dělení metod dálkového průzkumu Země [3]

Metody sběru informací lze třídit i dle místa, ze kterého sběr probíhá. První možností je sběr dat ze země. Ten je možný provádět z různých druhů visutých platform (věž, jeřáb). Do této skupiny ale lze zařadit i sběr informací zařízeními, které jsou umístěny přímo u zemského povrchu, např. lidary, které též sbírají data o objektech vzdáleně.

Druhá možnost je sběr dat letecky, který je pro tuto práci stěžejní. Může probíhat z různých výšek, nejnižší se pohybují právě drony. Průzkum ve větších výškách je možné provádět za pomoci helikoptér a letadel. Rozptyl výšek, který lze touto metodou obsáhnout, je značný. Drony se mohou pohybovat ve výšce od několika metrů a naproti tomu specializovaná letadla mohou dosáhnout až do výšek převyšujících 10 km. [4]

Třetí možnost je založená na sběru informací systémy z kosmu. Nejčastěji jsou k tomuto účelu využívány družice. Mohou obíhat po různých orbitech, které jsou určeny na základě účelu, ke kterému mají družice sloužit. Mohou ale být i geostacionárního typu, kdy se zdánlivě vůči určitému bodu na Zemi nepohybují. Detailnější popis těchto metod bude rozpracován v následujících kapitolách. Tento způsob sběru umožňuje pokrytí rozsáhlých území za velice krátký časový úsek. Protože je to technologie velice těžko dostupná a nákladná, vznikly společnosti, které s družicovými daty obchodují. Spotřebitelé tak mají možnost získat družicová data, která potřebují k analýze tímto způsobem. [2]

3.2 Drony jako prostředek dálkového průzkumu

V první řadě je nutné uvést, co se může skrývat pod pojmem dron. Obecná definice dronu zní tak, že dron je zpravidla dálkově ovládané bezpilotní letadlo užívané k vojenským, průzkumným nebo dopravním účelům, k pořizování fotografií, videí atp. [5] Jenomže tato definice nepokrývá jiné než vzdušné drony. V kontextu současného konfliktu na Ukrajině vešly do podvědomí například drony vodní. Drony ale mohou být i pozemní. Vždy se jedná o prostředek, který je ovládán dálkově či autonomně a slouží k účelům uvedeným v definici. Pro tuto práci ale jsou přední drony ve formě, v jaké je uvádí zmíněná definice v Akademickém slovníku současné češtiny. Pokud tedy bude psáno o dronu, bude myšlen dron jakožto bezpilotní letoun. [6]

Mohlo by se zdát matoucí dron označit za letoun. Nejčastější představa veřejnosti je, že dron je kvadrokoptéra, kdežto letoun je letadlo s pevnými křídly klasického vzhledu, které každý denně vidá na obloze. Kvadrokoptéra je tedy multikoptéra se čtyřmi rotory. A multikoptéra je vícerotorový letoun. Tím je přenesen dron pod zastřešující pojem letoun.

Pokud jsou jednotlivé metody dálkového průzkumu řazeny chronologicky, je možné drony označit jako zdroj dat dálkového průzkumu třetí generace. Za první generaci lze označit sběr dat ze zemského povrchu a letadly, za druhou je pak označováno snímání družicemi. [7]

3.2.1 Historie

Myšlenka dostupného, relativně malého zařízení schopného letu a dálkového průzkumu zároveň je přitom relativně stará. Za průkopníka této myšlenky je rozhodně možné označit dr. Julia Neubronnera (viz Obrázek 2). Ten se kolem roku 1903 v Německu začal zabývat myšlenkou připevnění malého fotoaparátu na trup holuba (viz Obrázek 3) a využít ho k pořízení leteckých snímků. Musel k tomuto účelu vyvinout novou, malou a lehkou kameru, která se bude sama za letu nastavovat a pořizovat snímky. To se mu povedlo, a dokonce vyvinul hned několik typů pro různé druhy snímání. Vynalezl obvyklý fotoaparát, panoramatický fotoaparát, fotoaparát se dvěma objektivy a fotoaparát pro sekvenční snímání (osm po sobě jdoucích snímků). Všechny tyto modely musely být svou váhou a rozměry úsporné, nejtěžší model vážil 75 gramů.



Obrázek 2: dr. Julius Neubronner [8]



Obrázek 3: holub s připevněným fotoaparátem [9]

Touto metodou provedl snímání například vodního díla Teleger v Berlíně nebo jednu z prvních fotografií ze vzduchu, ulici ve Frankfurtu (viz Obrázek 4). O jím vynalezenou technologii projevila nakonec zájem i německá armáda, která holuby nasazovala v první světové válce při zákopových konfliktech. [10]



Obrázek 4: ulice Frankfurtu nad Mohanem, fotografováno za pomoci holuba [10]

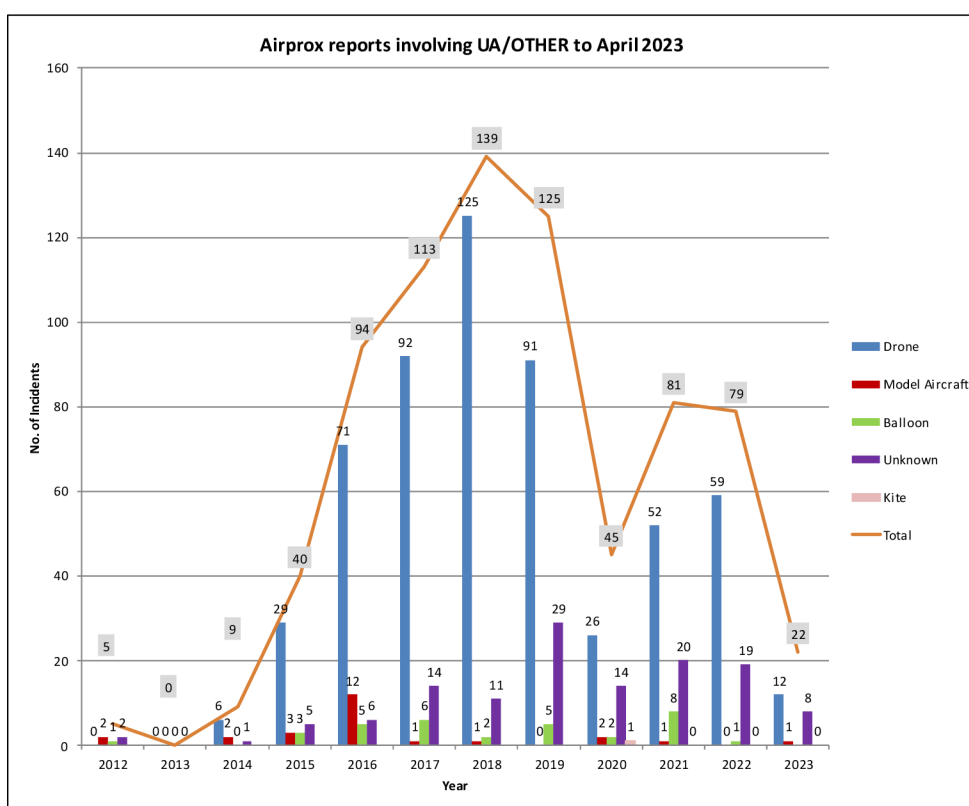
Metoda, kterou vynalezl, byla do jisté míry podobná současným dronům. Samozřejmě měla značné nedostatky, bylo třeba velmi obtížné kontrolovat trasu letu. Také nebyla kontrola nad vyfotografovaným obsahem. Neexistovaly údaje o poloze, ze které byl snímek pořízen a o poloze fotoaparátu v momentu pořízení.

Prvopočátky vývoje dronů, určených k profesionálním účelům, jsou spjaté s hobby modelářstvím. Pokusy s využitím dronů k mapování nepřátelského území prováděla americká armáda již v 60. letech 20. století. Pro civilní účely, jako je mapování a monitorování přírodních zdrojů, byly drony použity v 70. letech.

Rychlý vývoj GPS a zvyšování kapacity akumulátorů předznamenal rozmach, který tato technologie v současné době zažívá. Tím, jak bylo možné zvyšovat kapacitu akumulátoru, analogicky se zvyšoval letový čas a také se zvyšovala hmotnost přídavného zařízení, které může dron nést. Tyto obě veličiny jsou pro dálkový průzkum velice významné. [7]

3.2.2 Bezpečnostní rizika užití dronu

Jelikož se drony mohou snadno dostat do výšek a prostorů, kde je možná kolize s jinými účastníky letového provozu, vznikají bohužel i nehody. Například ve Velké Británii tyto incidenty zachycuje nestátní veřejný orgán UK Airprox Board (UKAB). Tato instituce incident definuje jako událost zahrnující letadla, které, podle názoru pilota nebo personálu letových provozních služeb, mohly mít potenciál způsobit srážku. To znamená, že incident nemusí nutně zahrnovat skutečnou srážku letadel. Může se jednat o jakoukoli událost, při které se dvě nebo více letadel poruší bezpečnou vzdálenost.



Obrázek 5: graf vývoje incidentů dle druhů zúčastněných objektů [11]

Z grafu, který ilustruje Obrázek 5, je možné vyčíst hned několik zajímavých údajů. Při prvním pohledu je evidentní, že rokem 2014 odstartoval relativně strmý nárůst počtu evidovaných incidentů. A také je možné zjistit, že v tomto nárůstu hrají hlavní roli drony. Nárůst incidentů kopíruje rozmach trhu s drony, kdy se obyčejné hobby drony začaly stávat dostupnou záležitostí pro širokou veřejnost.

Ještě před covidovým rokem 2020 je ale vidět kulminace počtu incidentů v roce 2018 a následný pokles. Ten je zapříčiněn právě pravidly, která byla ve Velké Británii zavedena v reakci na strmý nárůst. [12] Co se českého prostředí týče, tak v roce 2023 byl poprvé soudně potrestán podmíněčným trestem a pokutou pilot dronu, který si natáčel práci záchranářů a nebezpečně ohrozil záchranářský vrtulník při jeho vzletu. [13]

Z tohoto a z mnohých dalších incidentů je tedy evidentní, že existuje nutnost regulace tohoto odvětví, co se bezpečnosti provozu týče.

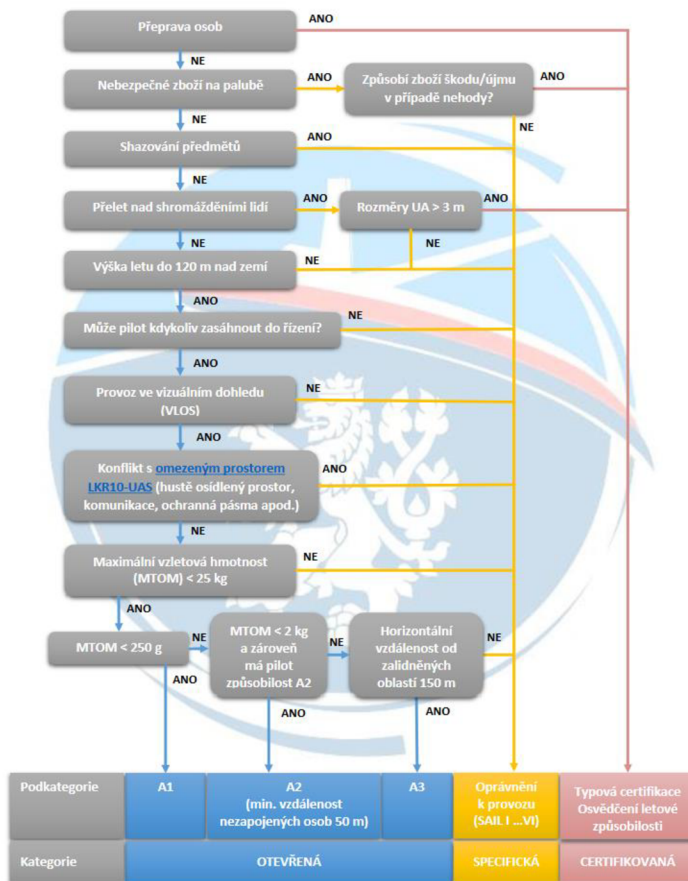
3.3 Legislativa spojená s užitím dronu v České republice

V České republice spadá problematika provozu dronů do gesce úřadu pro civilní letectví (ÚCL). V reakci na zvyšující se počet incidentů, ke kterých drony hrály roli, přijala Evropská komise v roce 2019 nařízení 2019/947, které vstoupilo v platnost v roce 2020 a stanovilo jednotné evropské předpisy pro provoz bezpilotních letadel (UAV – ang. unmanned aerial vehicle). Stěžejním prvkem tohoto nařízení bylo rozdělení dronů do tří hlavních kategorií: otevřená, specifická a certifikovaná. Do české legislativy se ale nařízení dostalo v přísnější formě, kdy je například nutné registrovat i některé drony do 250 gramů. Rozdělení do jednotlivých kategorií může být pro uživatele poněkud matoucí, a tak ÚCL vydal schéma, podle kterého by vymezení kategorií mělo být jasnější, viz Obrázek 6. [14]



Kategorizace provozu bezpilotních systémů

podle prováděcího nařízení Komise (EU) 2019/947 v platném znění (stav ke dni: 26. 8. 2022)



Výše uvedené schéma je pouze orientační a mělo by sloužit ke snadnější orientaci v kategorizaci provozu bezpilotních systémů podle společného evropského regulačního rámce pro bezpilotní systémy. Úřad pro civilní letectví nepřebírá žádnou odpovědnost za škody jakéhokoli druhu vyplývající z použití tohoto dokumentu.

Obrázek 6: schéma dělení dronů do kategorií [14]

3.3.1 Registrace

Legislativa rozlišuje dva zásadní pojmy. Provozovatel bezpilotního systému a pilot bezpilotního systému. Provozovatelem může být fyzická nebo právnická osoba. Provozovatel dron vlastní nebo pronajímá. Na druhou stranu pilotem dronu je fyzická osoba, která s dronem skutečně létá, nemusí ho tedy vlastnit. Tato legislativa dává za možnost vzniknout firmám, které budou vlastnit flotilu dronů, ale na provoz může zaměstnávat jednoho nebo více pilotů. Provozovatel dronu může tedy být zároveň pilotem, ale pilot dronu nemusí být jeho provozovatelem. [15]

Obecně řečeno, každého provozovatele dronu v ČR je nutné registrovat až na jednu výjimku. Pokud maximální vzletová hmotnost provozovaného dronu je menší než 250g a je označen za hračku, nebo nemá na palubě senzor či kameru schopnou zachycovat osobní údaje. Hračkou se rozumí dron, který je již předem vyvinutý jako zařízení určené k hraní pro děti do 14 let, je identifikován základním označením CE a je na něm uvedeno, že odpovídá směrnici č. 2009/48/ES. Naopak dron, který hračkou není, by měl být na obalu jasně označen štítkem „14+“. Na webových stránkách ÚCL je uveden dovětek, že pokud by rozlišení bylo nejasné, má se uživatel informovat o účelu konkrétního dronu v návodu. Samozřejmě pokud bude provozovatel vlastnit více dronů a některý nebude splňovat tuto definici, registrovat se již musí.

Jak již bylo uvedeno, toto byl jediný případ, kdy není nutná registrace. Registruje se tedy vždy provozovatel, nikoli dron. Při registraci je nutné zadat identifikační údaje o provozovateli a technické údaje o registrovaném dronu. Po registraci obdrží provozovatel dronu registrační číslo a potvrzení o registraci. Registrační číslo je nutné uvést na každém dronu, který provozovatel dronu vlastní nebo provozuje.

Pilot dronu se též musí zaregistrovat, pokud chce létat s drony, které nepadají do uvedené výjimky. Po vyplnění identifikačních údajů může vykonat online test z teoretických znalostí, jehož úspěšné absolvování je podmínkou pro provoz dronu v podkategoriích A1 a A3 a současně jednou z nutných podmínek pro umožnění provozu v podkategorii A2 otevřené kategorie provozu bezpilotních letadel. [16]

3.3.2 Registrace pilota a složení zkoušky

Pro hlubší prozkoumání procesu získání licence se autor rozhodl zaregistrovat jako pilot a složit online zkoušku pilota pro otevřenou kategorii dronů, podskupiny A1 a A3. Žadatel si v prvním kroku musí založit profil pilota na stránkách dron.caa.cz. Ten je Vytvořen za pomoci Identity občana. Uživatel má následující možnosti:

- Mobilní klíč eGovernmentu,
- eObčanka,
- NIA ID (dříve „Jméno, Heslo, SMS“),
- IIG – International ID Gateway,
- I.CA identita s kartou Starcos,
- MojeID,
- Bankovní identita.

Po výběru jedné z možností je proveden k formuláři, kde ke svým osobním údajům vyplní kontaktní email a telefonní číslo. Po odsouhlasení podmínek zkoušky a zpracování osobních údajů může k samotné zkoušce přistoupit. Časový limit je stanoven na 60 minut a žadatel musí vyplnit 40 otázek, každá čtyřmi možnostmi a pokaždé je jedna správná. Možnost vracet se k předchozím otázkám je povolena. Vzhled testu včetně jedné otázky zobrazuje Obrázek 7.

Profil pilota

Vyplnění testu 00:50:46

10 / 40

10. Je létání za podmínek vizuálního dohledu (VLOS) podmíněno využitím pozorovatele bezpilotního letadla?

Ano, jedná se o požadavek nařízení (EU) č. 209/947 pro provoz VLOS.

Ne, pro létání s bezpilotním letadlem ve vizuálním dohledu (VLOS) není potřeba využít pozorovatele bezpilotního letadla.

Ne, můžete využít nezapojenou osobu, aby vám pomohla.

Ano, dálkově řídicí pilot musí vždy využívat pozorovatele bezpilotního letadla.

Předchozí Další Zrušit Vyhodnotit test

9 z 40

ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ REGISTRACE BEZPILOTNÍCH SYSTÉMŮ

Obrázek 7: ukázka online zkoušky pro drony podtřídy A1 a A3 [17]

Materiály pro přípravu k testu uchazeč najde hlavně na stránkách ÚCL v sekci „FAQ – často kladené dotazy“. [17] Samotné otázky se tematicky týkaly následujících okruhů:

- letecká bezpečnost,
- omezení vzdušného prostoru,
- předpisy týkající se letectví,
- omezení lidské výkonnosti,
- provozní postupy,
- obecné znalosti o bezpilotních systémech,
- ochrana soukromí a ochrana údajů,
- pojištění,
- ochrana před protiprávními činy.

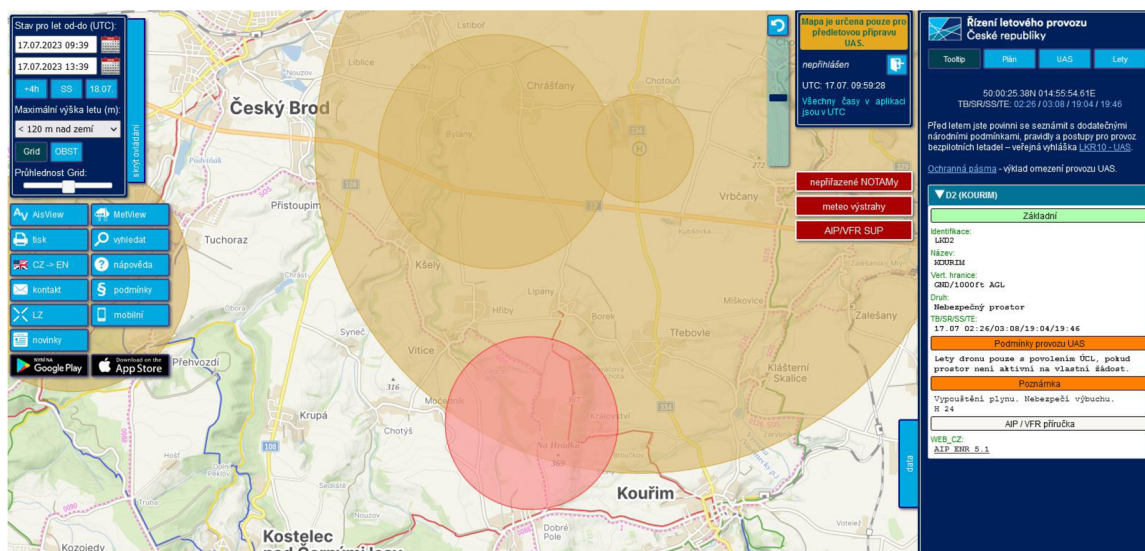
Po úspěšném dokončení je žadateli e-mailem doručen doklad o oabsolvování online výcviku a je mu přiřazeno unikátní identifikační číslo. Doklad lze i vytisknout, má formát karty. Při létání s dronem, který vyžaduje pilota s tímto druhem osvědčení, ho pilot musí mít u sebe. Aktuální vzhled dokladu ukazuje Obrázek 8



Obrázek 8: doklad o absolvování online kurzu [17]

3.3.3 Kategorie otevřená, podkategorie A1

Do podkategorie A1 spadají dva druhy dronů. Prvním typem jsou drony s maximální vzletovou hmotností do 250 gramů. Pro tyto drony platí provozní omezení ve formě zákazu letů nad shromážděními osob a v prostorách, které byly státem zakázány zavedením omezení letu dronů (příklad takové oblasti viz Obrázek 9). V České republice jsou tyto oblasti zaznačeny v mapě ve webové aplikaci na stránkách www.dronview.rlp.cz. Obecně se jedná o oblasti letišť a jejich okolí, přírodních rezervací a prvků kritické infrastruktury. Pilot by se měl vyhnout přeletů nad osobami nezapojenými do provozu, ale možné jsou. Pilot by si též měl nastudovat příručku, vydanou k užívanému dronu. Jak již bylo uvedeno provozovatel i pilot musí registrován a pilot musí být držitelem dokladu o absolvování online výcviku, nespadá-li dron do výjimky udělené pro hračky uvedené v kapitole Registrace.



Obrázek 9: příklad omezené oblasti v aplikaci DroneView [18]

Do podkategorie A1 spadají i drony s maximální vzletovou hmotností do 900 gramů. Pro ně platí stejná pravidla jako pro drony s vzletovou hmotností do 250 gramů, s tím rozdílem, že s nimi jsou plánované lety nad nezapojenými osobami jsou zakázány. [19]

3.3.4 Kategorie otevřená, podkategorie A2

Do podkategorie A2 spadají drony s maximální vzletovou hmotností do 4 kilogramů. V této podkategorii je let nad nezapojenými osobami nutné omezit jen na situace, kdy je to nevyhnutelné. Dále je nutné dodržovat vodorovnou vzdálenost 30 metrů od nezapojených osob. Tu je možné snížit na 5 metrů, pokud má dron aktivovanou nízkorychlostní funkci. Tyto podmínky ale lze splnit i v urbanistickém prostředí. Drony z kategorie A1 a A2 jsou k provozu v urbanistickém prostředí vhodné, je ale potřeba vzít v potaz různé podmínky pro přelet nad nezúčastněnými osobami, které se s rostoucí vahou zpřísňují.

Pro tuto podkategorii platí u registrace pilota také přísnější podmínky. Je nutné absolvovat online zkoušku pro kategorie A1 a A3, dále žadatel musí deklarovat provedení praktického výcviku. Pro něj napsal ÚCL metodiku, kterou by se měl žadatel řídit. Cílem výcviku je osvojení ovládání dronu, získání praktické znalosti různých letových a bezpečnostních funkcí dronu a osvojení si zvládnutí možných krizových situací. Jsou v ní uvedeny jednotlivé body, kterými žadatel postupně prochází, jeden z bodů je např. provést postup pro návrat domů – automatický nebo manuální.

Dalším specifickým je nutnost úspěšné složení zkoušky teoretických znalostí z oblasti meteorologie, letových charakteristik (výkonnosti) bezpilotního systému a technických a provozních opatření ke zmírnění rizik na zemi. Tato zkouška není již skládána online, ale v testovacích místnostech ÚCL. [19]

3.3.5 Kategorie otevřená, podkategorie A3

Pro tuto podkategorii platí váhové omezení maximální vzletové hmotnosti do 25 kilogramů. Omezení letu v okruhu nezúčastněných osob je již značné, legislativa nařizuje lety daleko od lidí. Dále také platí nařízení zákazu letu v urbanistické oblasti a minimální horizontální vzdálenost letu od rezidenčních, komerčních nebo průmyslových prostorů je stanovena na 150 metrů. Na druhou stranu zde neplatí tak přísné nároky na pilota, povinnosti má stejné jako v případě kategorie A1. Musí absolvovat online školení a složit online teoretickou zkoušku, také si nastudovat uživatelskou příručku příslušného dronu. [19]

3.3.6 Kategorie specifická

Specifická kategorie je určena pro ty, kteří potřebují překročit některý z limitů otevřené kategorie. Kvůli tomu má přísnější a formálnější podmínky žádosti a přísnější dohled od ÚCL. Do této kategorie spadne jakýkoliv dron s:

- maximální vzletovou hmotností nad 25 kilogramů,
- dron potřebující letět v letové hladině nad 120 m,
- dron přelétající nad shromážděním lidí,
- dron provádějící shoz předmětů,
- dron vzdalující se z vizuálního dohledu,
- dron s nemožností pilota kdykoliv zasáhnout do řízení,
- dron přepravující nebezpečné zboží, které ale nezpůsobí škodu/újmou v případě nehody,
- dron létající v omezeném prostoru LKR10-UAS.

Za správní řízení spojené s vydáním Oprávnění o provozu ve specifické kategorii je nutné uhradit poplatek 4000 Kč. Oprávnění je vydáno na dva roky a pokud například žadatel potřebuje upravit lokality provozu dronu, je nutné uhradit 400 Kč za změnu v oprávnění. Žadatel musí předložit následující dokumenty.

- Žádost o vydání Oprávnění k provozu (OkP)
 - Obsahuje údaje o provozovateli, provozu dronu (účel, prostor, rizika) a jeho technických údajích.
- Specifickou úroveň zabezpečení a integrity (SAIL)
 - Tento dokument stanovuje úroveň SAIL (I-IV, ale nejčastěji I a II) podle jednotlivých rizik vyplývajících z provozu dronu.
- Cíle provozní bezpečnosti (OSO)
 - V tomto dokumentu je stanoven soubor opatření, která mají zabránit nehodám nebo incidentům při provozu dronů.
- Provozní koncepce (ConOps)
 - Patří mezi nejobsáhlejší dokumenty, pokud dron spadne do úrovně SAIL II a vyšší, musí být rozšířen na úroveň provozní příručky (Operational Manual). Žadatel v něm musí popsat způsoby potlačení jednotlivých definovaných rizik, ale i jejich možné příčiny vzniku.
- Deklaraci provozovatele o ochraně osobních údajů
 - V deklaraci je stanoven vztah provozovatele ke zpracování osobních údajů, které by mohl dron zaznamenat. V závěru dokumentu musí žadatel popsat, jak s jednotlivými riziky naloží. [20]

3.3.7 Certifikovaná kategorie

Certifikovaná kategorie dronů cílí na velice úzký segment dronů a při zavádění těchto tří kategorií v roce 2019 byla zamýšlena hlavně jako kategorie pro budoucí provoz. Zamýšleným provozem je např. přeprava osob či nákladů. S tímto typem provozu jsou tedy spojena značná rizika, jak ve vzduchu, tak na zemi. Stránky ÚCL uvádějí pouze informaci, že je zde vyžadována certifikace bezpilotního systému a osvědčení o způsobilosti dálkově řídicího pilota. Podmínkou má být i schválení provozovatele příslušným úřadem. [21]

3.4 Dělení dronů dle technických parametrů

Již zmíněné nařízení Evropské komise 2019/945 stanovilo dělení dronů do jednotlivých tříd dle jejich technických parametrů. Dělí se do tříd C0, C1, C2, C3 a C4 dle jejich hmotnosti a výbavy. Pro výrobce to znamená, že na evropském trhu musí být drony uváděny v podobě, ve které budou požadavky jednotlivých tříd plnit. Právě z tohoto důvodu bylo v nařízení stanoveno přechodné období do roku 2022, takže do té doby bylo možné drony prodávat v podobě, kdy nesplňovaly přesné požadavky dělení. V současné době ale již není možné prodávat drony v jiné než nařízením stanovené formě. Každý dron musí mít na obalu uvedeno přesně stanovené logo třídy, do které spadá.

3.4.1 Třída C0

Dron by měl být navržen tak, aby jeho ovládání bylo co možná nejsnadnější. Umístění vrtulí by mělo být takové, aby případně způsobilo co nejmenší zranění. Dron by také neměl mít ostré tvary a hrany. V této kategorii je povolený režim follow-me a to do vzdálenosti 50 m od pilota, který musí mít možnost kdykoli převzít řízení. Samozřejmostí je i přibalení návodu, technických parametrů a provozních omezení k dronu.

Technické údaje platící pro třídu C0

Maximální hmotnost:	250 g
Maximální rychlost:	19 m/s
Maximální dosažitelná výška nad terénem:	120 metrů
Maximální napětí:	24 V

3.4.2 Třída C1

Dron třídy C1 musí mít navíc jedinečné sériové číslo stanovené normou ANSI/CTA-2063. Musí být i vybaven systémem pro přímou identifikaci na dálku. Ten musí vysílat výrobní číslo, aktuální pozici, směr a výšku. Musí být vybaven systémem geo-awareness, který obsahuje informace o omezeních vzdušného prostoru. Též musí mít zabezpečující systém proti náhlému vybití baterie dronu a stanice. Díky němu pilot musí mít dostatek času na přistání, pokud jedna z variant nastane. V návodu musí být navíc uveden akustický výkon pokyny pro údržbu a odstraňování poruch.

Technické údaje platící pro třídu C1

Maximální hmotnost:	900 g
Maximální rychlost:	19 m/s
Maximální dosažitelná výška nad terénem:	120 metrů, případně hodnota zvolená pilotem
Maximální napětí:	24 V

3.4.3 Třída C2

Třída dronu C2 stanovuje navíc oproti C1 povinnost chráněného datového spoje proti neoprávněnému přístupu k funkcím řízení. Dron musí navíc vysílat i registrační číslo provozovatele v případě, že není upoután na lanko dlouhé maximálně 50 metrů. Další povinností je režim nízké rychlosti, dovolující dronu letět maximálně 3 m/s a nutnost osvětlení pro účely lepší orientace.

Technické údaje platící pro třídu C2

Maximální hmotnost:	4 kg
Maximální rychlost:	bez omezení
Maximální dosažitelná výška nad terénem:	120 metrů, případně hodnota zvolená pilotem
Maximální napětí:	48 V

3.4.4 Třída C3

Třída C3 sdílí s třídou C2 všechny parametry jen s rozdílem maximální vzletové hmotnosti.

Technické údaje platící pro třídu C3

Maximální hmotnost:	25 kg
Maximální rychlost:	bez omezení
Maximální dosažitelná výška nad terénem:	120 metrů, případně hodnota zvolená pilotem
Maximální napětí:	48 V

3.4.5 Třída C4

Ve třídě C4 jsou zařazeny modely bez možnosti automatického řízení. Výrobce do návodu musí uvést technické parametry, informace o vybavení a software, obecné vlastnosti užitečného zatížení, pokyny pro údržbu, popis chování v případě ztráty spoje a pokyny pro odstraňování poruch a provozní omezení.

Technické údaje platící pro třídu C4

Maximální hmotnost:	25 kg
Maximální rychlost:	bez omezení
Maximální dosažitelná výška nad terénem:	120 metrů, případně hodnota zvolená pilotem
Maximální napětí:	48 V

3.4.6 Třída C5

V této třídě drony nemusí mít funkci geo-awareness. Zároveň musí pilotovi poskytovat informace o výšce, systémových varování a kvalitě spojení. Dron může mít pevná křídla, pokud je upoután. Pokud upoután není, musí mít režim nízké rychlosti, omezující rychlost na 5 m/s.

Technické údaje platící pro třídu C5

Maximální hmotnost:	25 kg
Maximální rychlost:	bez omezení
Maximální dosažitelná výška nad terénem:	může přesáhnout 120 metrů
Maximální napětí:	48 V

3.4.7 Třída C6

Do této třídy spadají letouny s pevnými křídly, schopné automatických misí (např. mapovacích). V této třídě drony opět nemusí mít funkci geo-awareness. Musí ale mít prostředky pro programování dráhy letu. A právě během letu musí poskytovat dálkově řídicímu pilotovi informace o výšce, zeměpisné pozici, kvalitě spojení a systémová varování.

Technické údaje platící pro třídu C6

Maximální hmotnost:	25 kg
Maximální rychlost:	50 m/s
Maximální dosažitelná výška nad terénem:	může přesáhnout 120 metrů
Maximální napětí:	není stanoveno, nemusí využívat elektromotor

3.5 Dělení dronů dle konstrukce

Jak již bylo nastíněno v úvodu kapitoly 3.2, pod pojmem dron se mohou skrývat různá konstrukční řešení. V této kapitole budou tedy postupně představeny, budou nastíněny jejich silné a slabé stránky i vhodné oblasti užití.

3.5.1 Drony s pevným křídlem

Drony s pevným křídlem lze konstrukčně připodobnit k běžným letadlům. Využívají aerodynamiky křídla a tlačného či tažného motoru (viz. Obrázek 10). Ve chvíli, kdy přes křídlo proudí vzduch, začne generovat vztlak, který drží dron ve vzduchu. Je ale nutné, aby přes křídlo proudilo dostatečné množství vzduchu, aby síla vztlaku vyrovnala váhu dronu. Z tohoto faktu plynou výhody a nevýhody této konstrukce.



Obrázek 10: dron s pevným křídlem a tlačnou vrtulí, model Q200 od firmy QuestUAV [22]

Výhodou je, že váhu dronu nese vztlak křídla, nikoliv čistě motor. To má za následek lepší efektivitu, která se může promítnout například do delšího letového času, vyšší rychlosti. Díky tomu se hodí na pokrytí velkých oblastí. Nevýhodou řešení je, že dron, kvůli potřebě proudění vzduchu přes křídlo, musí být neustále v pohybu, nemůže se tedy vznášet na místě, což umožňují jiné koncepce. Ke vzletu a přistání je potřeba více prostoru s rovným povrchem a celkově je jejich ovládání včetně vzletu a přistání náročnější než například u multirotorových dronů. [23] Tyto fakty shrnuje Tabulka 1.

Drony s pevným křídlem		
Výhody	Nevýhody	Příklady užití
Delší letová doba	Horší ovladatelnost	Monitorování potrubí
Možnost vyšších rychlostí	Horší manévrovatelnost	Inspekce elektrických vedení
Schopnost pokrytí velkých ploch	Nemožnost kolmého startu	Mapování ze vzduchu

Tabulka 1: vlastnosti dronů s pevným křídlem

3.5.2 Multirotové drony

Konstrukce těchto dronů spočívá ve dvou a více rotorech (anglicky někdy označováno jako rotary wing, tedy rotující křídlo), které jsou umístěné kolem horizontální roviny. Vztlak je docílen rotováním vrtule, kdy proud vzduchu obtéká lopatku. Toto specifikum s sebou přináší své výhody a nevýhody. Je možné se často setkat s pojmenováním dronů v tomto segmentu, které odráží počet rotorů přímo v názvu, např. kvadrokoptéra (viz Obrázek 11), hexakoptéra atp.



Obrázek 11: kvadrokoptéra DJI Mavic 3 Enterprise s RTK modulem a multispektrální kamerou [24]

Jednoznačnou výhodou je možnost dronu stoupat v čistě vertikálním směru, případně se vznášet na místě. Ke startu a přistání dronu tedy stačí relativně malý prostor vůči jeho rozměrům, což umožňuje starty v místech, kde je třeba v okolí více překážek, jako například uprostřed zástavby. Protože dron nemusí být tak přísně aerodynamický, jako druh s pevnými křídly, je možné na něj snáze upevnit příslušenství. Výhoda je ale vykoupena tím, že celou váhu musí nést rotory, efektivita je tedy nižší než u dronů s pevnými křídly. Též čím více jich dron má, tím se spotřeba energie zvyšuje a ovladatelnost zhoršuje. [23]

Multirotorové drony		
Výhody	Nevýhody	Příklady užití
Snadné ovládaní	Horší omezený letový čas	Tvorba videa a fotografií
Vertikální start a schopnost vznášení se na místě	Nižší letová rychlost	Geodetické činnosti
Velký výběr modelů, lepší dostupnost	Menší stabilita za větru	Průzkum objektu ze vzduchu

Tabulka 2: vlastnosti multirotorových dronů

3.5.3 Jednorotorové drony

Jak název napovídá, jedná se o drony s jedním hlavním rotorem. Obvykle je osazen ještě menším vyrovnávacím rotorem, umístěným na ocasním nosníku. Ten slouží k vyrovnání točivého momentu, který vyvolává hlavní rotor. Jestli drony s pevným křídlem připomínaly vzhledem letadla, jednorotorové drony je možné obdobně připodobnit k helikoptérám.



Obrázek 12: jednorotorový vojenský Black Hornet Nano od společnosti Flir [25]

Co se týče letu, jsou jednorotorové drony efektivnější než drony multirotorové. Jsou schopnější nést i větší náklady, ale jejich nevýhodou je komplexnost celého řešení. Obvykle bývají spíše větších rozměrů, což má za následek vyšší nároky na pilota a vyšší pořizovací náklady. Armádní dron The Black Hornet, který ukazuje Obrázek 12, je v tomto směru spíše výjimkou. Pravděpodobně kvůli tomu nejsou jednorotorové drony tolik rozšířeným typem. [23]

Jednorotorové drony		
Výhody	Nevýhody	Příklady užití
Schopnost nést vyšší zatížení	Komplexnost řešení	Podobné možnosti, jako multirotorové drony
Vertikální start a schopnost vznášení se na místě	Menší nabídka na trhu	Zemědělství
Vyšší efektivita letu vůči multirotorovým	Potřeba zkušenějšího pilota	

Tabulka 3: vlastnosti jednorotorových dronů

3.5.4 Hybridní drony s pevným křídlem

Díky popsaným výhodám a omezeným předchozích řešení se v poslední době začíná upínat stále více pozornosti k hybridním dronům s pevným křídlem. Jsou kombinací obou konstrukcí, kdy disponují pevným křídlem, ale i rotory orientovanými v horizontální rovině (viz Obrázek 13). Nebo alespoň pohyblivými tak, že mohou při vzletu být rovině horizontální a při letu v rovině vertikální.



Obrázek 13, hybridní dron, model CW-15 od společnosti JOUAV [26]

Tato konstrukce dronu dovoluje dronu částečně kombinovat výhody multirotorových dronů a jednorotorových dronů. Mají schopnost kolmého startu, ale při letu využívají výhod pevného křídla, takže vyšší efektivity i potenciálně rychlosti. Zároveň si zachovávají schopnost letu na místě. Nevýhodou je, že tento typ dronu je relativně novou záležitostí, rozšíření zatím není velké. Také dron není tak efektivní jako protějšek s pevným křídlem, zároveň není tak dobrý v letu na místě jako multirotorový dron. Konstrukce je zatím tedy takovým kompromisem. [23]

Jednorotorové drony		
Výhody	Nevýhody	Příklady užití
Schopnost nést vyšší zatížení	Zatím méně dostupná technologie	Autonomní logistika
Vertikální start	Trh založen spíše na high-end řešeních	Záchranářské činnosti
Vyšší efektivita letu vůči multirotorovým	Potřeba zkušenějšího pilota	

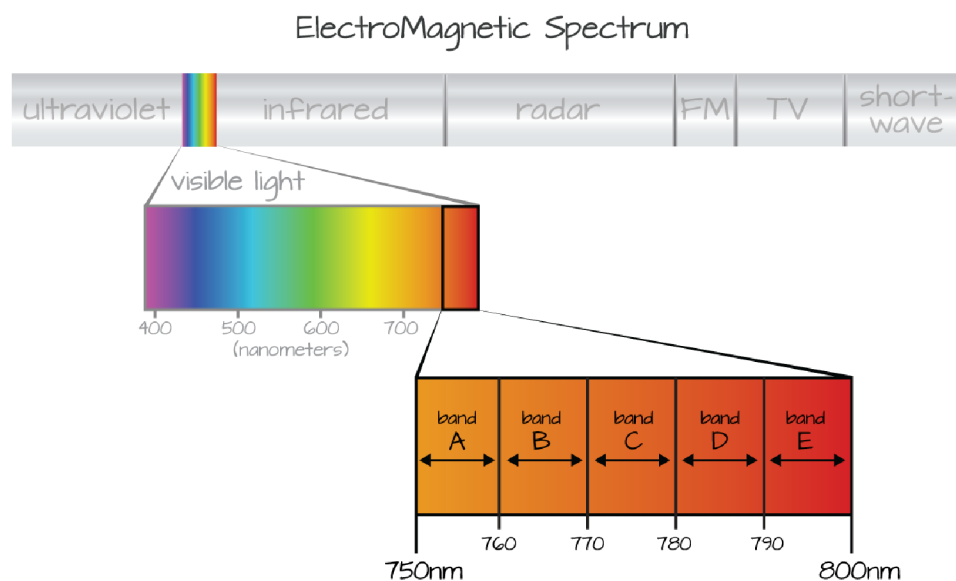
Tabulka 4: vlastnosti hybridních dronů s pevným křídlem

3.6 Multispektrální data

Snímání multispektrálních dat se řadí do kategorie pasivního typu snímání. Sleduje totiž energii odraženou sluncem (tedy cizím objektem) od sledovaného objektu. Celá tematika multispektrálních dat je velice úzce spjata s elektromagnetickým spektrem. Samotné elektromagnetické spektrum rozděluje záření podle vlnových délek. Lidské oko se soustředí na vnímání viditelného světla, což je ale jen malá část celého elektromagnetického spektra (viz Obrázek 14). Multispektrální snímače se vždy orientují na určitý výsek elektromagnetického spektra, které je nazýváno pásmem. [27]

3.6.1 Elektromagnetické spektrum a pásma

Jak již bylo řečeno, pásmo reprezentuje určitý segment elektromagnetického spektra. Je možné si ho představit jako druh vlnění, na který se radiospektrometr zaměřuje. Například se může jednat o vlnění s vlnovou délkou v rozmezí 800 nanometrů až 850 nanometrů. Radiospektrometr bude zaznamenávat informace o vlnění v tomto pásmu, ale i v možných dalších požadovaných pásmech. Údaje se zaznamenávají zvláště pro každý pixel. Dataset se tak může skládat z více zaznamenaných pásem. Informaci o měřených pásmech bývá předávána jako středová hodnota vlnových délek obsažených v daném pásmu. Pro uvedený příklad 800 nm - 850 nm by tedy byla 825 nm.

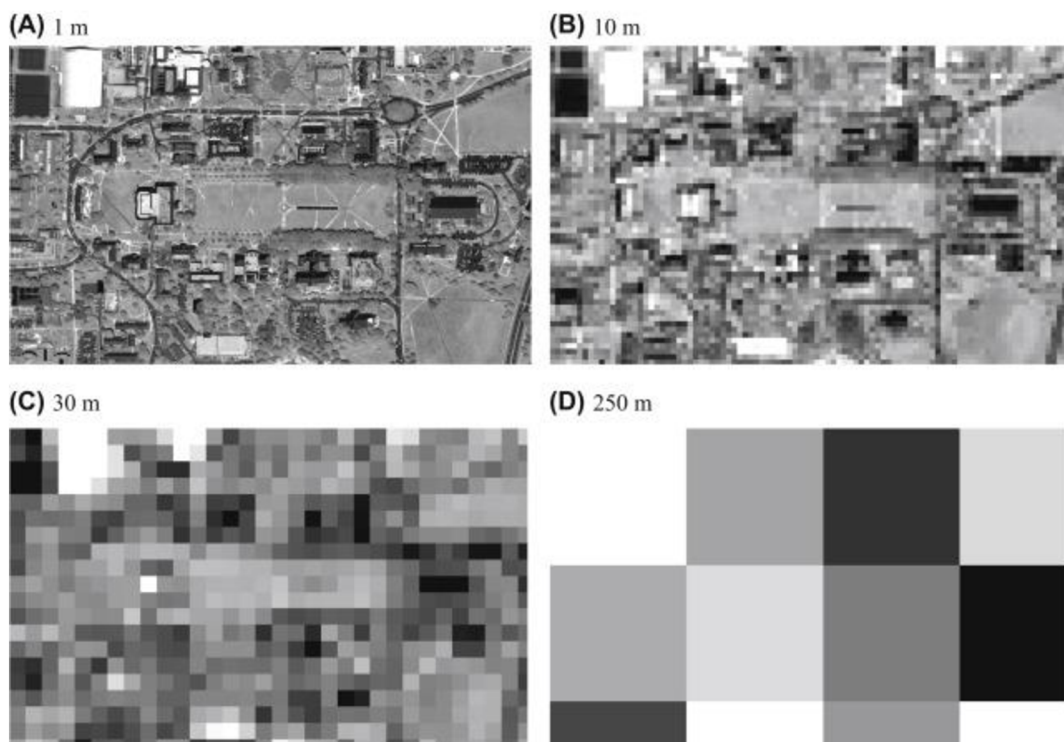


Obrázek 14: dělení elektromagnetického spektra na pásma [27]

S šířkou pásem úzce souvisí pojem spektrální rozlišení. Spektrální rozlišení udává, šířku měřených pásem. Obrázek 14 ukazuje dělení na pásma A – E. Spektrální rozlišení těchto pásem je 10 nm. Spektrální rozlišení se udává jako technický údaj u senzorů pro snímání spektrálních dat. Je ovšem realitou, že ne všechny senzory mají na všech snímaných pásmech stejné rozlišení.

3.6.2 Prostorové rozlišení

Protože je snímání multispektrálních dat obvykle spjato s rastrem, je vhodné vydefinovat i termín prostorového rozlišení. Prostorové rozlišení udává délku hrany čtverce na zemi, který je na snímku reprezentován jedním pixelem. Rastr s rozlišením jeden metr tedy znamená, že jeden pixel na snímku odpovídá oblasti 1 m x 1 m na Zemi. Mezi prostorovým rozlišením a plochou, kterou jeden pixel pokrývá, panuje nepřímá úměra. Čím větší je prostorové rozlišení, tím menší plochu jeden pixel pokrývá a naopak, což má přímý vliv na kvalitu snímku (viz Obrázek 15).



Obrázek 15: příklad území o stejné rozloze zaznamenaného v různých prostorových rozlišeních [28]

Z obrázku se může zdát, že je vhodné zvolit data vždy v nejvyšším možném prostorovém rozlišení. To ale nemusí být vždy pravdou. Vysoké prostorové rozlišení přináší jistě celou řadu výhod. Mezi ně patří například detailnost, ze které plyne i lepší identifikace objektů. Z velkého rozlišení jde teoreticky získat kdykoli malé rozlišení, ale opačným způsobem to nejde. Na druhou stranu se zvyšujícím se rozlišením se zvyšuje i velikost souborů. Také je obtížnější pokrýt velké oblasti, protože právě jeden pixel odpovídá malé oblasti, což může znamenat potřebu více snímků. V neposlední řadě je snímkování ve vysokém rozlišení nákladnější.

Snímkování v nižším prostorovém rozlišení naproti tomu může lépe obsáhnout velké oblasti a generuje menší soubory při zachování plochy, což zjednodušuje jejich zpracování, manipulaci a ukládání. Též bývá méně nákladné. Na stranu druhou ale není tolik detailní, což může snížit vypovídající hodnotu snímků pro některé analýzy, či je z nich vyřadit úplně. Je nutné předem zvážit účel sběru dat, jakým způsobem budou zpracována a analyzována. Na základě toho poté stanovit, jaké rozlišení je pro danou situaci dostačující. [28]

Podle kritéria prostorového rozlišení můžeme data i dělit. Za **nízké prostorové rozlišení** se označuje takové, které má hodnotu 1000 m až 100 m. To se využívá při snímání stejného území několikrát za den, např. v meteorologii, měření stavu ovzduší, sledování vývoje planktonu v oceánech či ozonové vrstvy. Družicová data tohoto typu poskytuje například družice MODIS.

Data ve **středním až vysokém rozlišení** dosahují hodnot prostorového rozlišení v rozmezí desítek až jednotek metru. Výhodou je, že u těchto dat existuje velký archiv, který sahá až do 70. let 20. století. Díky tomu je možné dobře sledovat různé historické vývoje změn v krajině. Dále se data hodí na regionální mapování, klasifikaci land-use a monitoring zemědělských ploch. Družicová data tohoto typu poskytuje např. Landsat, SPOT či Hyperion.

Poslední skupinou jsou data ve velmi vysokém rozlišení, která mají prostorové rozlišení 1 m a méně. Jsou využitelné pro tvorbu mapových podkladů v měřítku 1: 25 000 – 5 000, je možné díky nim monitorovat doly či skládky a jsou využitelná i v precizním zemědělství. Družicová data tohoto rozlišení poskytují například družice QuicBird, Geoeye-1, WorldView-2.

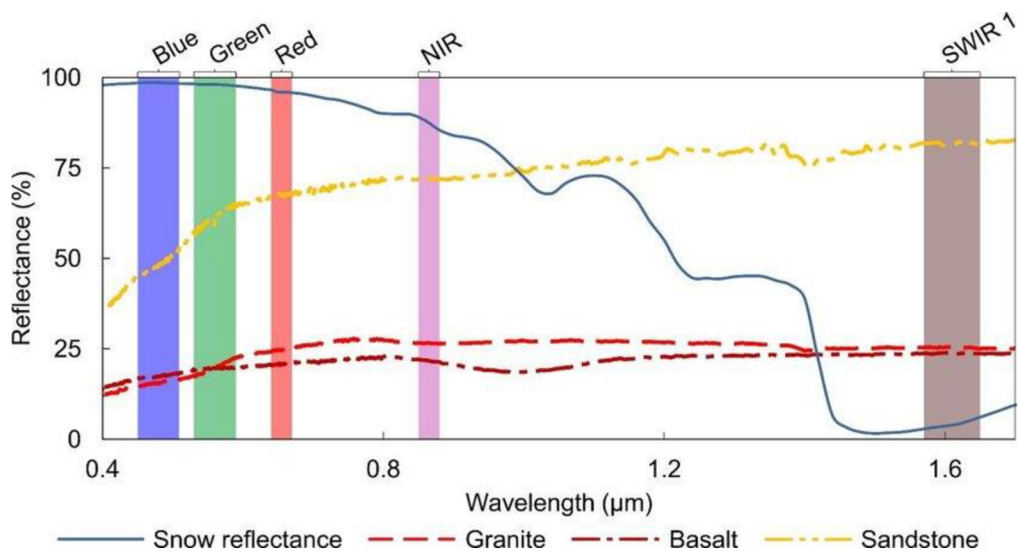
V kontextu této práce budou zpracovávána data v kategorii velmi vysokého rozlišení, kam multispektrální data sbíraná dronem patří. Jejich konkrétní rozlišení ale není možné pevně stanovit jako u družic. Zatímco družice mají přesně stanovenou výšku orbity, výška dronu se může i za letu oproti zemskému povrchu výrazně lišit. Rozlišení multispektrálního snímače je pevně dané, ale když se mění jeho výška vůči snímané rovině, je nemožné přesně stanovit jeho prostorové rozlišení. Čím výš bude dron, tím nižší bude prostorové rozlišení výsledného snímku a naopak. Pro kontext se ale u moderních dronů bude jednat o řády jednotek centimetrů až milimetrů. [29]

3.6.3 Spektrální signatura a její praktické využití

Spektrální signatura je charakteristickým vzorem absorpce a odrazu elektromagnetického záření zkoumaného materiálu, povrchu či objektu. Každý objekt materiál či povrch má svou vlastní spektrální signaturu, která je závislá na jeho chemickém složení, struktuře a fyzikálních vlastnostech. Této vlastnosti je poté využito při identifikaci jednotlivých objektů v rámci stanovených pásem. Je důležité uvést, že stejný objekt v různém stavu může mít jinou spektrální signaturu. Např. zdravý strom a strom napadený kůrovcem má vždy jinou spektrální signaturu, či tající a zmrzlý sníh má opět jinou spektrální signaturu. I možnost pozorovat takto drobné rozdíly na jednotlivých objektech zkoumání činí spektrální analýzu tak cenným nástrojem, jakým je. Pro různé účely jsou využívány odlišné kombinace spektrálních pásem. Jejich stanovení záleží na účelu snímkování a preferencích analytika. V následující kapitole budou uvedeny některá často užívaná pásma včetně jejich praktického využití při spektrální analýze.

Pásmo **pobřežního aerosolu** je definováno od 430 nm do 450 nm. Odráží modré a fialové odstíny a má méně ho pohlcuje voda, tudíž jí lépe proniká. Díky tomu bylo toto pásmo úspěšně využito k výzkumu počtů divoce žijících velryb. Pásmo je více citlivé na oblačnost, kouř a opar. Tuto vlastnost je možné využít při očišťování snímků z jiných pásem od oblačnosti.

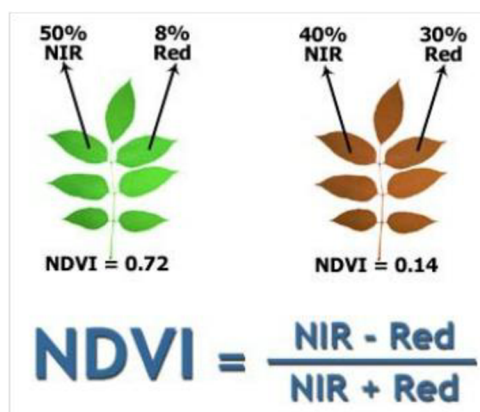
Spektrální pásmo **modré** je ohraničeno vlnovou délkou 450 nm – 510 nm. Odráží modré světlo a též má dobrou schopnost procházet vodou, a to až do hloubky 20–30 m. Tohoto faktu je využíváno při podvodním výzkumu, jako je např. monitoring podvodní vegetace či sedimentu. Používá se též v odlišení horniny, sněhu a mraku, protože spektrální podpis oparu a tenkých mraků se vyznačuje citlivostí na vlnové délky modrého a červeného světla. Obrázek 16 dokládá právě výraznou odlišnost v odrazivosti modrého pásma u různých druh hornin a sněhu. Žádná z běžných hornin, které jsou na obrázku v pásmu modrého světla neodráží více než 50% záření, naproti tomu sníh odráží téměř 100 %. Na záření v pásmu modrého světla jinak reagují listnaté a jehličnaté stromy.



Obrázek 16: údaje o spektrální odrazivosti pro sníh a horniny (žula, čedič a pískovec) [30]

Zelené spektrální pásmo nachází využití při výzkumu vegetace. To je způsobeno faktem, že chlorofyl, který je v rostlinách odpovědný za fotosyntézu, absorbuje světlo v modré a červené oblasti světla. A nejméně naopak pohlcuje záření v zelené části světla, proto se rostliny jeví zeleně. V pásmu zeleného světla je možné rozlišovat vitalitu rostlin vegetace, ale může rozlišovat i jednotlivé druhy rostlinného materiálu. Využití nachází i v monitoringu řas a sinic. Čistá voda se jeví průhledná, protože má nízkou odrazivost napříč celým spektrem, nejvíce ale odráží modrého světla. Pokud se ve vodě objeví sinice či řasy, voda začne odrážet nejvíce zeleného světla.

Spektrální pásmo **červeného** světla 640 nm – 670 nm nachází uplatnění například v normalizovaném diferenčním vegetačním indexu, který je metrikou pro kvantifikaci zdraví rostlin. Ten využívá faktu, že zdravé rostliny světlo z červeného pásma pohlcují, naopak rostliny v nepříznivém stavu začínají podstatnou část červeného světla odrážet, viz Obrázek 17. Půdy bohaté na oxid železitý také odráží více červeného světla, analýza tohoto spektra tedy nachází uplatnění při odhadech vlastností půdy. V kombinaci s analýzou zeleného pásma je užíváno v identifikaci zástavby a přírodního prostředí.



Obrázek 17: výpočet indexu NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) [31]

Pásmo **žlutého** světla 585 nm – 625 nm je k spektrální analýze využíváno relativně nedlouho. Používá se k diagnostikování konkrétních chorob rostlin, způsobených hmyzem. Dalším využitím je klasifikace druhů stromů a plodin podle jejich žloutnutí v průběhu ročních období.

Blízké infračervené (NIR – near infrared) pásmo se nachází v mezích od 760 nm – 1040 nm. Toto pásmo je silně pohlcováno vodou, na druhou stranu je silně odraženo zdravými rostlinami. To ho předurčuje jako dobrý prostředek pro rozpoznávání vodní hladiny a vegetace. Tento fakt zobrazuje Obrázek 18, kde je vidět velice tmavě voda naopak světle vegetace kolem bazénu. Je možno tento kontrast sledovat přímo na hladině, na které se nacházejí plovoucí listy. Na rozdíl od zdravých rostlin je toto spektrum pohlcováno odumřelými rostlinami. Z tohoto důvodu hraje roli při výpočtu NDVI indexu společně s červeným pásmem. Využití najde i při geologických průzkumech hornin a průzkumech půd. Blízké infračervené pásmo je možné rozdělit na dvě vzájemně se překrývající se pásma, NIR – 1 od 750 nm do 900 nm a NIR – 2 od 860 nm až do 1040 nm. NIR – 2 má oproti NIR – 1 výhodu v lepší prostupnosti atmosférou.



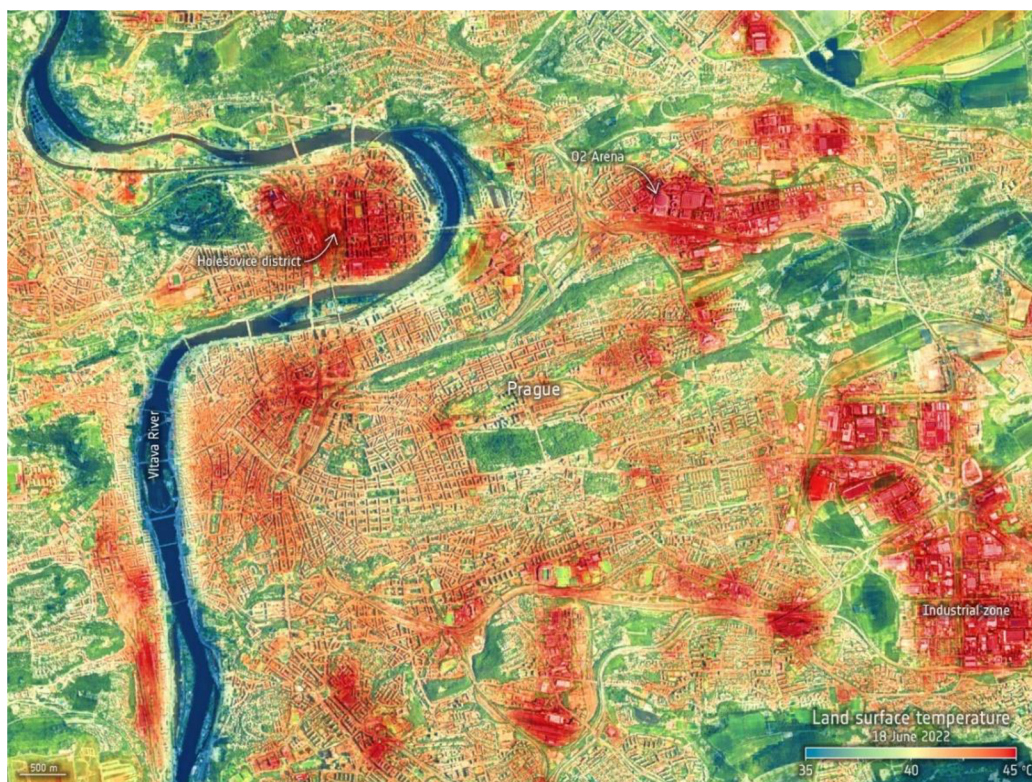
Obrázek 18: Bazén a vegetace vyfocená v pásmu NIR [32]

Krátkovlnné infračervené pásmo 1, neboli **SWIR – 1** (Short-wave infrared) je definováno od 1.57 do 1.65 μ m a uplatňuje se při výzkumu půdní vlhkosti. Odrazivost půdy se snižuje se zvyšujícím se obsahem vody. Toto pásmo má také dobrou schopnost procházet kouřem, což z něj dělá ideální prostředek průzkumu pro hasičské týmy při rozlehlých lesních požárech.

Na SWIR – 1 navazuje **SWIR – 2** s rozsahem 2.08-2.35 μ m. Ten rozšiřuje možnost o zkoumání obsahu vody v rostlinách. Pomáhá ve specifitějším určení druhu geologických prvků a minerálů, jako jsou měď a sulfáty. Také při geologickém průzkumu umožňuje diverzifikovat jednotlivé druhy jílu.

Panchromatické pásmo, které se nachází mezi 500 nm – 680 nm funguje na podobném principu, jako černobílé filmy. Shromažďuje informace o veškerém světle v jednom kanálu. Protože vidí více světla najednou, prostorové rozlišení je ostřejší v porovnání s tím, kdyby se odražené světlo sbíralo zvlášť v červeném, modrém a zeleném kanálu. Poskytuje tedy ostřejší obraz území, ale neposkytuje informace o barvách. Používá se k tzv. pansharpeningu, procesu, který kombinuje informace o barvě s panchromatickým zobrazením a zlepšuje ostrost snímků.

Posledním představeným pásmem je **termální infračervené**. Nachází se mezi 10.60 – 12.51 μm a využívá emitované záření, namísto odraženého. Sledováním množství vyzářeného záření v tomto pásmu umožňuje stanovovat teploty zkoumaných objektů. Informace o teplotě objektu může být užitečná v mnoha případech. Sledování vulkanické činnosti je například jeden z nich. Je možné na základě získaných dat stanovovat tepelné ostrovy v zastavěných územích, zejména v metropolitních oblastech. [33] K tomu slouží například přístroj ECOSTRESS, který je umístěn na mezinárodní vesmírné stanici. Za jeho pomoci byl pořízen termální snímek Prahy (viz. Obrázek 19), kde jsou dobře vidět pozitivní vlivy městské zeleně a vodních ploch na teplotu ve městě, a naopak negativní vlivy na přehřívání velkých zastavěných oblastí. [34]



Obrázek 19: termální snímek Prahy ze dne 18.6.2022 [34]

3.7 Programovací jazyk Python

Python je programovací jazyk založený v roce 1989 nizozemským programátorem Guidem van Rossum, který se v současné době těší značné oblibě. V roce 2023 proběhl na StackOverflow, populární platformě sdružující programátory, výzkum, který mezi téměř 90 000 respondenty z řad programátorů identifikoval Python jako třetí nejpopulárnější technologii. Popularita dosáhla 49,28 % což dle výzkumu lze interpretovat tak, že téměř každý druhý programátor (profesionál i amatér) se ho buď učí, nebo ho aktivně využívá. Před Pythonem se umístily technologie pro webový vývoj JavaScript a HTML/CSS. Lze konstatovat, že na poli práce s daty/datové analýzy se jedná v současnosti o nejpopulárnější volbu. [35]

3.7.1 Interpreter

Python je dynamický, interpretovaný (bytecode-kompilovaný) jazyk. Využívá interpreteru CPython, který je napsaný v jazyce C a chová do jisté míry jako unixový shell. Když je spuštěn se standardním vstupem, interaktivně čte po řádcích a vykonává příkazy; když je spuštěn s argumentem názvu souboru nebo se souborem jako standardním vstupem, čte a vykonává skript z daného souboru.

Díky intepreteru v jazyce funguje tzv. dynamické typování. Ve zdrojovém kódu neexistují deklarace typů proměnných, parametrů, funkcí ani metod. To činí kód krátkým a lexibilním, ale je ztracena kontrola typů v době kompilace zdrojového kódu. Interpreter sleduje typy všech hodnot za běhu a označuje kód, který je nesprávný až ve chvíli, kdy je spuštěn. I kvůli tomu je běh pomalejší oproti kompilovaným jazykům.

Druhou skupinou programovacích jazyků z hlediska interpretace kód jsou jazyky kompilované. Ty jsou pomocí kompilery přeloženy do strojového kódu a až ten je spouštěn. Kompilací je ověřeno, že kód neobsahuje např. syntaktické chyby, zároveň samotný běh je rychlejší. K běhu programu není potřeba zdrojového kódu, což může být užitečné, pokud projekt není open-source. Na druhou stranu překlad zdržuje spuštění, takže u krátkých skriptů může být běh oproti interpretovým jazykům pomalejší. [36]

3.7.2 Základní datové struktury

Kromě základních typů proměnných (string, int, float, bool) je v jazyku implementováno několik dalších struktur pro uchování dat. Na příklad seznamy jsou definovány jako uspořádané kolekce prvků, které mohou být různých datových typů. Seznamy jsou dynamické, což znamená, že velikost seznamu může být v průběhu běhu programu měněna. K jednotlivým prvkům je možné přistupovat pomocí jejich indexů – lze využít rozsah indexů i záporné indexování pro počítání od konce. Prvky jsou psány do hranatých závorek, odděleny jsou čárkou,

Slovníky jsou implementovány jako neuspořádané kolekce položek, kde každá položka je pár klíč:hodnota. Oproti seznamům nemusí být klíč pouze celočíselný, může to být i např. string. Tato vlastnost činí slovníky ideálními pro situace, kde je potřeba efektivně vyhledávat, přidávat nebo upravovat data na základě unikátních identifikátorů. Prvky jsou psány do složených závorek, dvojice klíče a hodnoty je oddělena dvojtečkou.

N-tice jsou charakterizovány jako uspořádané kolekce prvků. Na rozdíl od seznamů, jejichž obsah může být během běhu programu modifikován, n-tice po svém vytvoření nelze změnit. V důsledku jejich neměnnosti jsou vhodné pro uložení dat, která nemají být během běhu programu modifikována. Prvky v n-tici jsou odděleny čárkami a typicky jsou uzavřeny v kulatých závorkách. [37]

3.7.3 Knihovny

V Pythonu je možné využít širokou škálu knihoven. Knihovny rozšiřují základní funkčnost Pythonu a poskytují nástroje a moduly pro různé účely, od vědeckého výpočtu, přes vývoj webu, až po strojové učení a umělou inteligenci. Pomocí knihoven mohou vývojáři rychle implementovat složité funkce bez nutnosti psát všechny detaily od základu. Mezi standardní knihovny patří například modul `datetime` umožňující manipulaci s daty a časy, nebo modul `collections` nabízející speciální datové struktury. Tyto standardní knihovny není třeba instalovat, stačí je pouze nainportovat.

Jak rostla popularita Pythonu, začaly vznikat i externí knihovny, které jsou v současné době velice důležitou součástí práce s Pythonem. Ty se instalovat musí, a to za nejčastěji pomocí některého ze správce balíčků (např. `conda`, `pip`). Mezi nejpopulárnější patří knihovna `Pandas`, která přidává datovou strukturu `DataFrame`. `DataFrame` reprezentuje tabulku, včetně indexů řádků a názvů sloupců. S ním jsou implementovány funkce na statistické souhrny dat a práci s nimi. Dále knihovna `NumPy`, která je využívána pro práci s vícedimenzionálními poli. [38]

3.8 Systém programů Esri

Následující kapitola bude popisovat stěžejní produkty firmy ESRI (Environmental Systems Research Institute) a jejich vzájemné propojení do celého ekosystému. Všechny systémy se týkají zpracování geografických dat a jejich analýzy. V rámci celého ekosystému ESRI kombinuje cloudové a on-premise přístupy.

3.8.1 ArcGIS Pro

ArcGIS Pro je hlavním programem pro přímou instalaci na koncové stanice a je celým jádrem systému. Poskytuje uživatelům nástroje potřebné pro sběr, analýzu, správu a vizualizaci geoprostorových dat. Data lze organizovat do prostorových databází, které je v programu možné spravovat. Výrobce dělí uživatelské funkcionality do několika rovin.

Zkoumání a vizualizace dat je prováděno za pomoci analytických a vizualizačních nástrojů implementovaných v programu. S geodaty je pracováno jako s vrstvami, které mohou mít různé druhy (např. body, linie, rastr, plochy). Kromě práce s jednotlivou vrstvou (tvorba nových/úprava stávajících prvků) program umožňuje vrstvy slučovat, dělat průniky a rozdíly. Obrazová data lze zpracovávat z různých zdrojů, jako jsou drony, družice, lidary a letecké snímky. Software nabízí i možnost provádět některé úlohy tzv. on-the-fly, tedy přímo v době, kdy probíhá jejich sběr bez nutnosti nové datové sady. Zpracovaná data lze uložit do lokální databáze, podnikového systému nebo cloudu. Propojením aplikace s ArcGIS Enterprise či ArcGIS Online vznikají další možnosti, jak data s ostatními uživateli sdílet.

V oblasti kartografie jsou poskytovány nástroje pro tvorbu tištěných map, 3D vizualizací a interaktivních grafů. Prvky datové vědy je možné využívat pro hledání vzorců v datech a predikci budoucích událostí. Pro tuto práci je podstatná oblast automatizace, kde je možné standardizované pracovní postupy automatizovat v jazyce Python. Práce v něm je možná více možnostmi a program nabízí funkci pro správu virtuálních prostředí, které jsou nezbytné pro práci s knihovnou ArcPy. Ta dává možnost provádět některé operace přímo pomocí Pythonu. [39]

3.8.2 ArcGIS Pro a analýza multispektrálních dat

Program nabízí v rámci rastrové analýzy několik nástrojů, které dokáží přímo pracovat s multispektrálními snímky. Prvním z nich je nástroj pro vizualizaci NDVI indexu, který byl zmíněn v kapitole 3.6.3. Je implementován ve dvou podobách NDVI a NDVI Colorised. Druhá podoba oproti té první nabízí možnost vykreslení indexu v několika předem definovaných barevných schématech, jakožto i možnost definice vlastního barevného schématu. Vstupem pro tuto funkci je multispektrální vrstva, konkrétně její červené a NIR spektrum.

Nástroj pro tvorbu kompozitních vrstev zase umí přiřadit „falešné“ barvy pro jednotlivá spektra a pak je složit, což může zvýraznit některé pozorované jevy. Další možností práce s multispektrálními daty v ArcGIS Pro je provedení segmentace a klasifikace s využitím strojového učení. Segmentace provádí seskupování pixelů na základě jejich spektrální podobnosti a tím tvoří homogenní oblasti pro další analýzu. Dále je možné natrénovat klasifikátory a s nimi provést klasifikační analýzu rastrové vrstvy. S její pomocí lze identifikovat např. stromy, vodní plochy, zemědělskou půdu, urbanizované oblasti atd.

Informací zahrnutých v multispektrálních snímcích využívá i nástroj na analýzu změn. Ten porovnává dva rastrové datasey a generuje nový rastrový dataset obsahující rozdíly mezi nimi. Nástroj nabízí výpočet diferencí různými metodami, např. matematickým rozdílem, relativním rozdílem nebo spektrální Euklidovskou vzdáleností. Výstup může být použit k zobrazení změn v pokryvu země vegetací, pro analýzu rozsahu požáru nebo pro sledování vývoje zdraví vegetace. [40]

3.8.3 ArcGIS Online

ArcGIS Online je software-as-a-service cloudová platforma pro tvorbu a sdílení interaktivních webových map. Do jisté míry se jedná o cloudovou verzi ArcGIS Pro, která postrádá některé funkcionality desktopové aplikace. Oproti ní ale podporuje škálování, spolupráci více uživatelů, a to i na úrovni přístupu k datům. K tomu je vázána i možnost administrace uživatelských přístupových práv skrze role a skupiny. Výsledky práce lze publikovat i veřejně tvorbou webové aplikace a jejím umístěním na libovolnou webovou stránku. Zároveň aplikace není vázána na platformu, stačí jakékoliv zařízení s přístupem k internetu a s webovým prohlížečem. [41]

3.8.4 ArcGIS Enterprise

ArcGIS Enterprise je jakýmsi jednotícím prvkem pro obě zde uvedená řešení. Jedná se o platformu, která má sjednotit přístup k celopodnikovým datům, umožňuje cloudovou verzi, ale i on-premise řešení na vlastní server. K platformě je možné připojit i existující podnikovou databázi a skrze platformu řídit přístup k datům jednotlivých uživatelů.

Pro přístup ke sdílenému obsahu se využívá tzv. portálu, kde je možné prohlížet obsah ostatních uživatelů a přidávat vlastní. Skrze portál se poté provádí integrace s desktopovou aplikací, která v sobě má několik možností, jak s Portálem spolupracovat. Přímou z aplikace lze procházet obsah na portálu, pracovat s ním a výsledek na portálu sdílet.

Mimo správy dat ale platforma nabízí i rozšířené možnosti analýzy, kdy podporuje webovou implementaci Jupyter notebooků, ve které lze spouštět Python skripty. Oproti ArcGIS Pro rozšiřuje paletu funkcí pro vývojáře. Nabízí možnosti využití několika API – pro Python, REST JS a RUST. Pro integraci do vlastních produktů je možné využít SDK (ang. Software developer kit – Systémový vývojový nástroj) v JavaScriptu, Kotlinu, .NET, Java a další. Pro herní vývojáře budou využitelné zejména integrace pro herní engine Unity a Unreal. [42]

4 Vlastní práce

V této části práce bude popsán vývoj a implementace metodiky pro automatizaci zpracování multispektrálních dat získaných z dronů v prostředí ArcGIS s využitím Python skriptů. Bude provedena je příprava, import, zpracování a vizualizace multispektrálních dat. Pro práci s virtuálními Python prostředími bude využito programu ArcGIS Pro, samotný kód bude tvořen v Jupyter noteboocích a zpracování dat bude prováděno pomocí ArcGIS Enterprise portálu. Výstupem bude skript pro tvorbu rastrové vrstvy. Celý proces vývoje bude ilustrován na RGB snímcích, protože umožňují lepší přehled o přesnosti korekcí a z hlediska vývoje se významně neliší od multispektrálních snímků. V závěru bude skript upraven pro práci s multispektrálními daty a bude ukázán příklad následného zpracování opět v ArcGIS Pro.

4.1 ArcGIS Pro

Z technického hlediska je ArcGIS Pro desktopovou aplikací s plným uživatelským rozhraním. Mimo práce s funkcemi a rozhraním, které program uživateli nabízí, je tu i možnost pracovat s některými funkcemi za pomoci programovacího jazyka Python. To je příležitost využít síly Pythonu v manipulaci s daty a automatizaci zpracování některých opakovaných úkonů.

ArcGIS Pro pracuje s knihovnou Arcpy, která jeho součástí. Zde je na místě upozornit, že na rozdíl od mnoha Python knihoven Arcpy není open-source, ani zdarma. Jedná se o proprietární knihovnu, jinými slovy uživatel, který nemá licenci na ArcGIS Pro, ArcMap či ArcGIS Enterprise nemá možnost ji využít. S tím jsou spjata i některá specifika, která se pojí s konfigurací vývojového prostředí a budou popsána dále v této práci.

4.1.1 Instalace

Česká zemědělská univerzita poskytuje studentům licenci na ArcGIS Pro a k tomu mají možnost využít ArcGIS Enterprise, zejména pak jeho součást ArcGIS Portal. Instalaci je nutné zahájit přihlášením na www.ArcGIS.com. Na přihlašovací obrazovce uživatel zvolí možnost „URL vaší organizace ArcGIS“. Ta je ve formátu fakulta-czu, v případě autora tedy pef-czu. Dále se uživatel přihlásí školním účtem a zobrazí se mu úvodní obrazovka, ke vstoupí do sekce „Moje nastavení“.

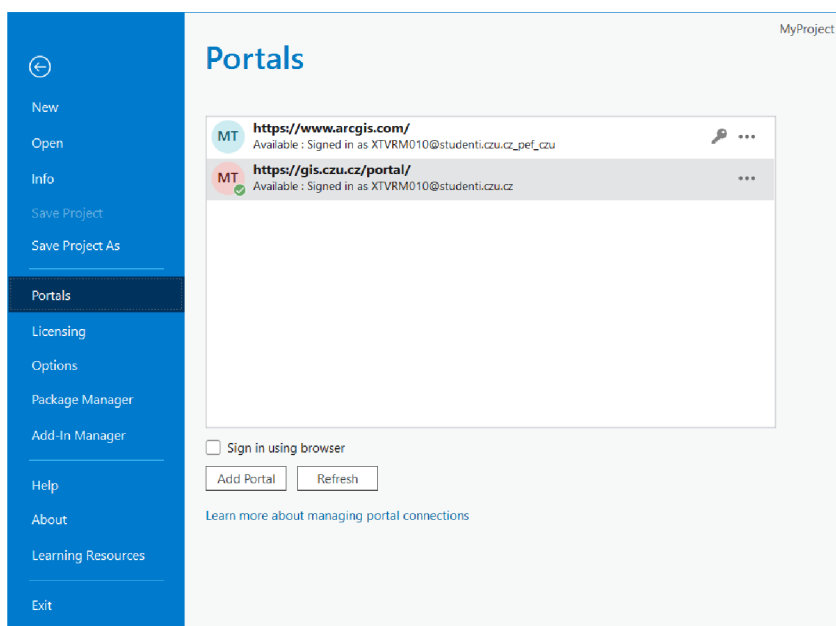
V něm je třeba vyhledat záložku licence, kde už je možné najít ArcGIS Pro a stáhnout instalační soubor. Samotná instalace na pak ničím nevybočuje a průměrný uživatel by ji měl bez asistence zvládnout. Po nainstalování aplikace vyzve uživatele k přihlášení – postup ovšem je obdobný tomu výše popsanému. Pro jakoukoli interakci s Pythonem je nutné vytvořit projekt, na výběr je z několika dostupných šablon nebo uživatel může zvolit projekt bez vybrané šablony. Celý výše zmíněný proces je uveden ve stručné podobě. Podrobný návod doprovázený obrázky, vypracovaný vedoucím této diplomové práce, je možné nalézt na stránkách ČZU Portálu [43].

4.1.2 Propojení ArcGIS Pro s portálem

Pokračování práce bude směřovat k propojení desktopové aplikace a online prostředí ArcGIS portálu. Je to nezbytný krok, pro použití rozšířených funkcí, které uživateli portál nabízí oproti desktopové aplikaci. V případě této práce se jedná zejména o rovinu funkcí rastrové analýzy. V produkčním prostředí portál slouží i jako místo pro sdílení výstupů mezi uživateli, kde výstup jednoho uživatele (případně skriptu) mohou použít jiní.

V záložce Project, podkategorii Portals uživatel po výše popsaném procesu uvidí výchozí připojení k portálu ArcGIS.com. Připojení k dalšímu portálu je provedeno pomocí tlačítka Add Portal. V případě Zemědělské univerzity se do dialogového okna vyplní následující adresa portálu: <https://gis.czu.cz/portal> a potvrdí jeho přidání. Následně se objeví v nabídce pod výchozím portálem.

Aby bylo přidáný portál možné použít, musí se k němu uživatel přihlásit a nastavit ho jako aktivní (neaktivní portál má šedivou ikonu). Vedle portálu je symbol tří teček, kde uživatel zvolí možnost Sign in. Opět projde proces přihlašování, i když zde by mělo stačit kliknutí na název organizace a přihlášení se provede automaticky. Kliknutím na tři tečky a volbou Set As Active Portal uživatel dokončí proces nastavení a aktivace portálu. U správně nastaveného aktivního portálu by měla být zelená ikona fajfky. Po úspěšné aktivaci by měla záložka Portals vypadat, jak ilustruje Obrázek 20.



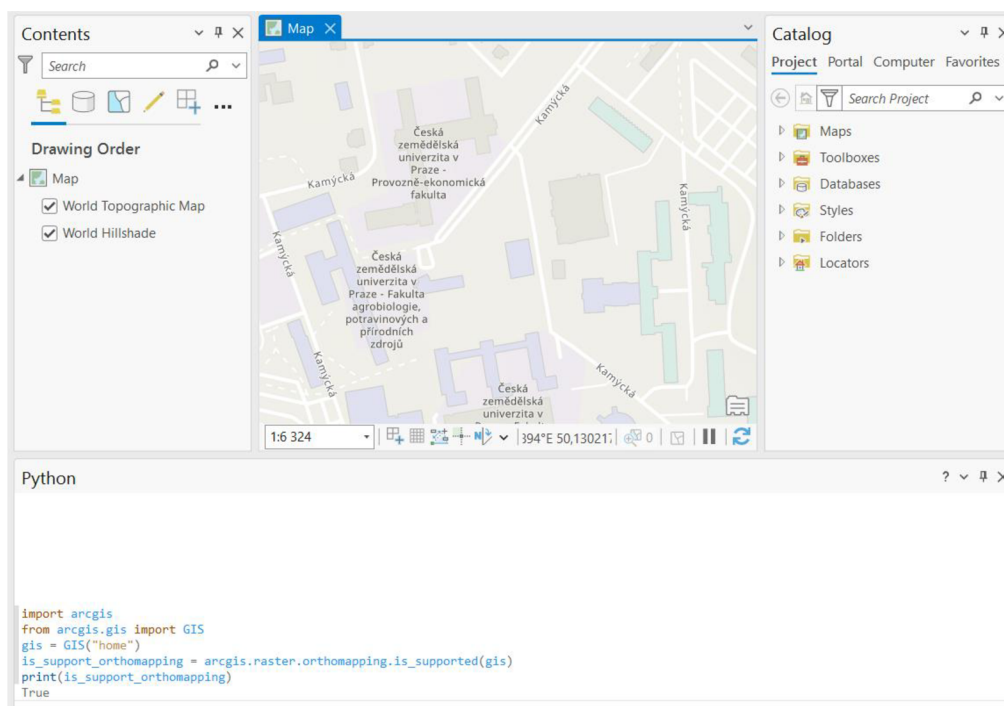
Obrázek 20: správné nastavení portálu v ArcGIS Pro, zdroj: ArcGIS Pro, vlastní vypracování autora

4.1.3 Python okno

Interakce s Pythonem v ArcGIS Pro je zajištěna pomocí dvou způsobů. Prvním způsobem Python Window. Tuto možnost uživatel musí nakonfigurovat v záložce View volbou Python Window. Po načtení se uživateli zobrazí konzole ve spodní části uživatelského rozhraní. V ní je již možné skriptovat v Pythonu, svou povahou se ale spíše hodí na jednodušší a kratší skripty. Hodí se ale k provedení ověření, jestli je připojení k portálu funkční.

To je možné provést pomocí skriptu, který je zobrazuje Obrázek 21. V něm je nejprve proveden import modulů pomocí `import ArcGIS`, který načte hlavní ArcGIS API pro Python, což je knihovna pro práci s ArcGIS REST API a dalšími ArcGIS službami. Část `from ArcGIS.gis import GIS` specificky načítá třídu GIS, která slouží jako hlavní bod pro autentizaci a práci s ArcGIS Online nebo ArcGIS Enterprise portály. Řádek `gis = GIS("home")` vytvoří instanci třídy GIS, která se připojí k domovské ArcGIS Online nebo ArcGIS Enterprise platformě. Použití "home" jako argumentu stanovuje, že bude použito připojení nakonfigurované v profilu uživatele ArcGIS.

Zmíněnou část kódu je teoreticky možno modifikovat pro přihlášení do jakéhokoliv portálu (nebyl by pak nutný krok s přidáním portálu v nastavení) při tvorbě třídy GIS se předají parametry url, usrename, password a mělo by dojít k připojení k portálu. Patrně ale kvůli specifickému přihlašování pomocí Microsoft účtu s dvoufaktorovým ověřením v prostředí zemědělské univerzity tato možnost nefungovala. Předposlední řádek zavolá funkci `is_supported` z modulu `orthomapping`, který ověří, zda připojená instance ArcGIS podporuje funkcionalitu ortomapy. Funkce bere jako argument objekt GIS, který reprezentuje připojení k ArcGIS platformě. Výsledek této kontroly je uložen do proměnné `is_support_orthomapping` hodnota boolean. Žádoucí je výsledek je `True`, jak ukazuje Obrázek 21. V opačném případě je nutné buď řešit samotné připojení k platformě a pokud je v pořádku, tak přidání těchto funkcí administrátorem dané platformy.



```
import arcgis
from arcgis.gis import GIS
gis = GIS("home")
is_support_orthomapping = arcgis.raster.orthomapping.is_supported(gis)
print(is_support_orthomapping)
True
```

Obrázek 21: python konzole v ArcGIS Pro, ověření připojení, zdroj: ArcGIS Pro, vlastní vypracování autora

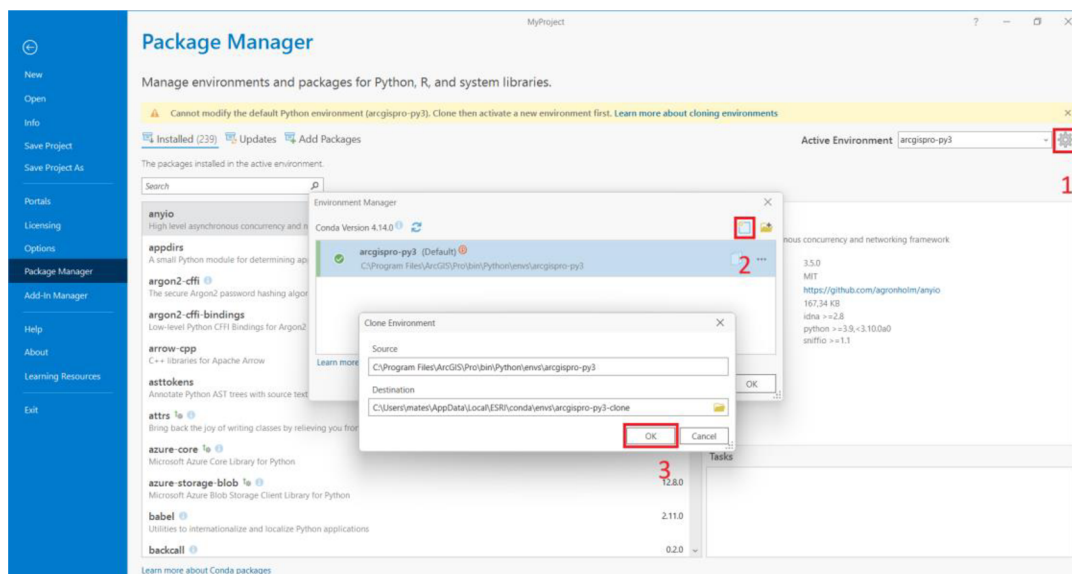
4.1.4 Python Notebook

Pro snazší práci s komplexnějšími skripty ArcGIS Pro nabízí implementaci Jupyter notebooků. Uživatel je nalezne na záložce Analysis/Python/Notebook. Na rozdíl od skriptování v Python okně je skript psaný v Notebooku ukládán jako soubor .ipynb v adresáři daného projektu. Při uložení a příštím spuštění programu uživatel tedy nepřijde o data. Integrace je implementována pomocí Conda. Conda je multiplatformní systém pro správu balíčků a prostředí, který umožňuje instalaci, spuštění a aktualizaci softwaru a jeho závislostí. Esri ho využívá i pro distribuci své knihovny ArcGIS.

4.1.5 Klonování Python prostředí

Pro nejnáročnější skriptovací úkony je možno provést klonování Python prostředí, které ArcGIS Pro využívá. Klon je dále možné použít jako jakékoli jiné virtuální prostředí, kterých se při práci s Pythonem hojně využívá. Standardní postup, kdy si uživatel vytvoří nové virtuální prostředí a do něj pomocí správce balíčků doinstaluje např. zmíněný balíček ArcGIS bohužel není možný, je třeba využít nejdříve klonování. Do naklonovaného prostředí je ale možné další balíčky importovat.

Klonování ArcGIS Python prostředí je tedy provedeno přímo v programu, v záložce Analysis/Package Manager. V pravém okraji je se vybere symbol nastavení, který zobrazí dialogové okno s přehledem dostupných prostředí. Uživatel provede výběr prostředí, které chce naklonovat a v dalším dialogovém okně vybere umístění, kam bude naklonované prostředí umístěno, viz Obrázek 22. Klonováním se vytvoří identické prostředí, jako je výchozí, včetně všech knihoven, které jsou v něm obsaženy. Klonování je nutným krokem, protože výchozí prostředí není možné použít jinde než přímo v programu. Naproti tomu naklonované lze použít jako běžné virtuální prostředí.



Obrázek 22: klonování Python prostředí, zdroj: ArcGIS Pro, vlastní práce autora

4.1.6 Anaconda Navigator

Pro využití plnohodnotného a odděleného vývojového prostředí Jupyter notebooků je vhodné nainstalovat Anaconda Navigator. To je open-source uživatelské rozhraní, které je součástí distribuce Anaconda. Navigator umožňuje uživatelům spravovat Python prostředí a balíčky, spouštět aplikace jako Jupyter notebooky, JupyterLab a další zaměřené zejména na datovou analýzu. Jeho součástí je i Anaconda Prompt pro práci s balíčky z příkazové řádky. Instalace není složitá a stažení instalátoru je možné z následujícího odkazu: <https://www.anaconda.com/download>.

Po instalaci bude postup pokračovat ve zmíněném Anaconda Prompt. Prvním příkazem je `conda activate [cesta k prostředí]`. Cesta k prostředí je ta, která byla zobrazena v posledním kroku klonování, viz Obrázek 22. Tím je aktivováno klonované prostředí a lze do něj nainstalovat balíček `ipykernel` pomocí příkazu `conda install ipykernel`. Ten umožňuje Jupyter Notebook nebo JupyterLab komunikovat s Pythonovým interpretem. Když je v Jupyteru spuštěna buňka s Pythonovým kódem, `ipykernel` zpracuje kód, spustí ho v Pythonovém interpretu a vrátí výsledky zpět do notebooku. Jádro také zajišťuje správu stavu výpočetního prostředí, takže lze definovat proměnné v jedné buňce a pak k nim přistupovat v dalších buňkách.

Nakonec se klonované prostředí přidá do seznamu dostupných Python kernelů, aby ho v notebooku bylo možné zvolit pomocí příkazu:

```
python -m ipykernel install --user --name ArcGISpro-py3-clone
--display-name "My Cloned Environment".
```

Zobrazovaný název je možné nastavit přepínačem `--display-name`, volba `-user` znamená instalaci pro aktuálního uživatele. Notebook lze spustit rovnou pomocí `jupyter notebook`, nebo pomocí GUI z Navigátoru. Jako alternativu je možnost použít JupyterLab, který nabízí trochu komplexnější prostředí a funkcionalitu, oproti klasickému notebooku. Při vytvoření notebooku je vhodné dbát na správnou volbu kernelu – musí být vybrán ten klonovaný. Tím je uzavřena kapitola přípravy prostředí a lze přistoupit k vývoji samotnému.

4.2 Převod souřadnic do S-JTSK

V České republice je v oblasti geodézie a katastru obecně používaným souřadnicovým systémem Jednotná trigonometrická síť katastrální, známá jako JTSK (S-JTSK). JTSK je systém, který je přizpůsoben pro geografické a geodetické podmínky České republiky, naproti tomu, většina dronů ukládá informace o poloze, kde byla fotografie pořízena, v souřadnicovém systému WGS-84. To protože WGS-84 bere v úvahu celosvětový tvar Země jako geoid, zatímco JTSK je založen na Besselově elipsoidu, který je lokalizovaný a transformovaný tak, aby odpovídal konkrétnímu území České republiky.

Protože převodem mezi zmíněnými systémy může vzniknout nepřesnost, část vlastní práce se bude zabírat přesností tohoto převodu. V prostředí Pythonu je hojně používanou knihovnou pro převod mezi souřadnicovými systémy `pyproj`. Těší se vysoké popularitě zejména pro její open-source zdroj. Naproti tomu, Český úřad zeměměřický a katastrální má vlastní aplikaci, která převod provádí. Protože je obecně známo, že jednotlivé způsoby převodu se mohou lišit, budou se následující kapitoly mimo nutné extrakce souřadnic z fotografií zabývat i porovnáním rozdílů zmíněných dvou metod. [44]

4.2.1 Seznam cest k souborům

Nejprve je ale nutné získat cesty k souborům, ze kterých bude skript data získávat. Tuto funkci plní kód, který zobrazuje Obrázek 23

```
import os
image_folder_path = r"D:\skola\diplomka\foto\RGB"
image_list = []
for filename in os.listdir(image_folder_path):
    if filename.endswith('.JPG'):
        full_path = os.path.join(image_folder_path, filename)
        image_list.append(full_path)
```

Obrázek 23: získání cest k jednotlivým souborům, zdroj: vlastní vypracování autora

Pro práci se souborovým systémem je možné využít modul `os`, který je nutné nejprve nainportovat. Následuje definice cesty k adresáři, kde jsou uloženy obrazové soubory, pomocí proměnné `image_folder_path`. Tato cesta je zadána jako surový řetězec (označený prefixem `r` – raw), což znamená, že speciální znaky v řetězci, jako jsou zpětná lomítka, jsou interpretovány doslova, a ne jako escape sekvence.

Následuje inicializace prázdného seznamu `image_list`, který bude použit k uložení úplných (absolutních) cest k souborům, které skript nalezne v zadaném adresáři. V definici iterace `for` cyklu je použita funkce `os.listdir()`, která vrací všechny objekty v zadaném adresáři v podobně seznamu (listu). Pro každou položku vráceného seznamu skript testuje, zda soubor má příponu `.JPG`. Tento test je proveden pomocí metody `endswith()`. Pokud skript detekuje soubor s příponou `.JPG`, použije funkci `os.path.join()` k sestavení úplné cesty k souboru spojením základní cesty adresáře a jména souboru. Výsledná úplná cesta je poté přidána do seznamu `image_list`. Na konci cyklu je tedy ve zmíněném seznamu seznam všech absolutních cest k souborům s příponou `.JPG` v zadané složce.

4.2.2 Extrakce a korekce souřadnic

Postup následuje definicí jednoduché funkce pro převod geografických souřadnic z formátu stupně, minuty a vteřiny (DMS) na desetinné stupně viz Obrázek 24. Tento převod je nutný, jelikož souřadnice jsou zaznamenávány ve formátu DMS, zatímco práce v ArcGIS Pro je jednodušší s formátem desetinných stupňů.

```
def convert_to_degrees(d,m,s):  
    return d+(m/60)+(s/3600)
```

Obrázek 24: převod formátu souřadnic, zdroj: vlastní vypracování autora

Funkce `find_lat_long_alt_ref(tag, tags, value)` určuje a koriguje referenční směr pro geografické souřadnice a nadmořskou výšku získané z EXIF dat, viz Obrázek 25. Řeší fakt, že WGS-84 používá pro jižní a západní polokouli záporné hodnoty. V rámci této funkce je proměnná `tags` slovník EXIF tagů, který obsahuje metadata přidružená k obrázkům. Funkce začíná získáním referenčního bodu pro zeměpisnou šířku (`GPS GPSPLatitudeRef`), který určuje, zda je zeměpisná šířka severní (N) nebo jižní (S). Pokud je hodnota referenčního bodu odlišná od N, hodnota zeměpisné šířky je negována.

Podobně je pro zeměpisnou délku získán referenční bod `GPS GPSPLongitudeRef`, který rozlišuje mezi východním (E) a západním (W) směrem. Pokud referenční hodnota není E, hodnota zeměpisné délky je opět negována, což signalizuje západní polohu. Posledním krokem je korekce nadmořské výšky, kde referenční hodnota `GPS GPSPAltitudeRef` může být 0 nebo 1, přičemž 0 značí nadmořskou výšku nad hladinou moře a 1 indikuje výšku pod hladinou moře. Je-li referenční hodnota 1, je hodnota nadmořské výšky negována. Tím by měly být pokryté všechny specifické případy, které by mohly nastat, i když v poměrech České republiky nejsou reálné.

```

def find_lat_long_alt_ref(tag, tags, value):
    latitude_ref = tags.get('GPS GPSLatitudeRef')
    if tag == "GPS GPSLatitude":
        if latitude_ref.values != 'N':
            value = -value
        return value
    longitude_ref = tags.get('GPS GPSLongitudeRef')
    if tag == "GPS GPSLongitude":
        if longitude_ref.values != 'E':
            value = -value
        return value
    altitude_ref = tags.get('GPS GPSAltitudeRef')
    if tag == "GPS GPSAltitude":
        if altitude_ref.values == 1:
            value = -value
        return value

```

Obrázek 25: funkce na korekci referenčního směru, zdroj: vlastní vypracování autora

Funkce, kterou ukazuje Obrázek 26 má sloužit k samotné práci se souřadnicemi. Využívá knihovnu `exifread`, která umožňuje načtení EXIF metadat v binárním režimu. Po otevření souboru `f` se načtou EXIF tagy pomocí metody `process_file()`, která zpracovává binární data a vrací slovník EXIF tagů přidružených k dané fotografii. Funkce poté iterativně prochází jednotlivé hodnoty a hledá konkrétní tagy odpovídající zeměpisné šířce, zeměpisné délce a nadmořské výšce.

Je-li požadovaný tag nalezen, extrahují se jeho hodnoty stupňů, minut a vteřin, které jsou následně převedeny na desetinné stupně pomocí funkce `convert_to_degrees(d, m, s)`, která byla popsána výše. Pro zeměpisnou šířku a délku jsou hodnoty stupňů upraveny s ohledem na referenční směr (sever/jih pro šířku a východ/západ pro délku). Funkce `find_lat_long_alt_ref(tag, tags, value)` je zde volána pro případné korekce hodnot, v závislosti na tom, zda byly snímky pořízeny na severní či jižní, respektive východní nebo západní polokouli. Pro nadmořskou výšku se hodnota upraví na metry, přičemž se zohlední, zda je výška nad nebo pod referenčním bodem.

```

import exifread
def find_lat_long_alt(image, tag_ref):
    f=[]
    tags=[]
    f = open(image, 'rb')
    tags = exifread.process_file(f)
    for tag in tags:
        if tag in ('GPS GPSLatitude') and tag_ref == tag:
            lat_degree = tags[tag]
            d = float(lat_degree.values[0].num) / float(lat_degree.values[0].den)
            m = float(lat_degree.values[1].num) / float(lat_degree.values[1].den)
            s = float(lat_degree.values[2].num) / float(lat_degree.values[2].den)
            lat_degrees = convert_to_degrees(d,m,s)
            lat_degrees = find_lat_long_alt_ref(tag, tags, lat_degrees)
            return lat_degrees
        if tag in ('GPS GPSTimeStamp') and tag_ref == tag:
            long_degree = tags[tag]
            d = float(long_degree.values[0].num) / float(long_degree.values[0].den)
            m = float(long_degree.values[1].num) / float(long_degree.values[1].den)
            s = float(long_degree.values[2].num) / float(long_degree.values[2].den)
            long_degrees = convert_to_degrees(d,m,s)
            long_degrees = find_lat_long_alt_ref(tag, tags, long_degrees)
            return long_degrees
        if tag in ('GPS GPSAltitude') and tag_ref == tag:
            altitude = tags[tag]
            altitude_meter = float(altitude.values[0].num) / float(altitude.values[0].den)
            altitude_meter = find_lat_long_alt_ref(tag, tags, altitude_meter)
            return altitude_meter

```

Obrázek 26: funkce pro extrahování souřadnic z fotografie, zdroj: vlastní vypracování autora

4.2.3 Tvorba DataFrame

DataFrame je základní datovou strukturou knihovny Pandas, která je základem pro datovou analýzu a zpracování dat. Jedná se o dvourozměrné pole, které ale může mít pojmenované osy, čímž se z něj stává datová struktura, která svým vzhledem vypadá jako tabulka. Práce se samotnou strukturou též připomíná operace s tabulkami, je k dispozici mnoho předem definovaných funkcionalit, které budou kontextu této práce užitečnými.

Po importu knihovny Pandas s běžně používaným aliasem `pd` je vytvořen DataFrame s názvem `ArcGISGPS`. Při jeho tvorbě jsou definovány názvy sloupců, sloupec `name` bude sloužit k uložení názvu fotografie, `lat` bude reprezentovat zeměpisnou šířku, `lon` délku a `alt` výšku. Je definován for cyklus procházející absolutní cesty k jednotlivým fotkám. V průchodu cyklem jsou do proměnných postupně ukládány hodnoty tagů. Metoda `loc()` je využita k přístupu k řádkům a sloupcům DataFrame pomocí labelů.

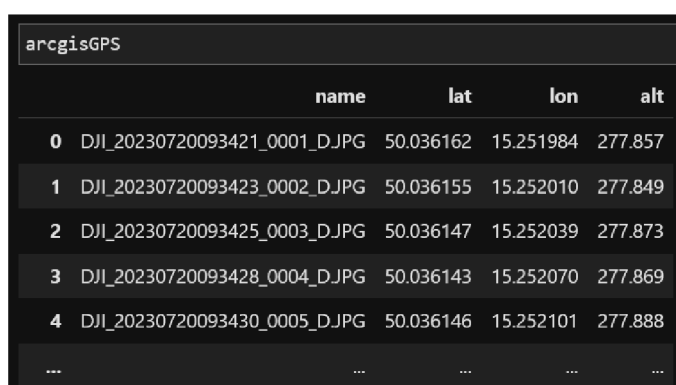
Metoda `len(ArcGISGPS.index)` vyhodnotí délku (počet řádků) v `DataFrame` a použije tuto hodnotu jako index pro nový řádek. Protože indexace v Pythonu začíná nulou, použití `len()` na index `DataFrame` znamená, že nový řádek bude přidán na konec. Tím je stanovena pozice, na kterou se budou hodnoty přidávat a na danou pozici je přiřazen list, který je vytvořen z proměnných reprezentující jednotlivé tagy.

```
import pandas as pd
arcgisGPS = pd.DataFrame(columns=['name', 'lat', 'lon', 'alt'])

for image in image_list:
    name = ntpath.split(image)[1]
    lat = find_lat_long_alt(image, 'GPS GPSLatitude')
    lon = find_lat_long_alt(image, 'GPS GPSLongitude')
    alt = find_lat_long_alt(image, 'GPS GPSAltitude')
    arcgisGPS.loc[len(arcgisGPS.index)] = [name, lat, lon, alt]
```

Obrázek 27: tvorba komparačního `DataFrame`, zdroj: vlastní vypracování autora

Po dokončení cyklu bude tedy vytvořen `DataFrame` obsahující název fotky, hodnoty souřadnic a výšky ve formátu WGS-84. Tyto hodnoty budou výchozími pro obě metody převodu do JTSK. Jupyter notebook nabízí možnost výpisu proměnné jejím prostým napsáním, a navíc pro `DataFrame` je implementováno zobrazení, které ho vykreslí jako tabulku. Z výsledku, který ukazuje Obrázek 28 je vidět, že byl vrácen očekávaný výsledek.



	name	lat	lon	alt
0	DJI_20230720093421_0001_DJPG	50.036162	15.251984	277.857
1	DJI_20230720093423_0002_DJPG	50.036155	15.252010	277.849
2	DJI_20230720093425_0003_DJPG	50.036147	15.252039	277.873
3	DJI_20230720093428_0004_DJPG	50.036143	15.252070	277.869
4	DJI_20230720093430_0005_DJPG	50.036146	15.252101	277.888
...

Obrázek 28: výstup pro iterování cyklu na tvorbu prvního `DataFrame`, zdroj: vlastní vypracování autora

4.2.4 Konverze souřadnic pomocí knihovny pyproj

Jak již bylo naznačeno pro porovnání bude jedna z konverzí provedena za pomoci volně dostupné knihovny `pyproj`. Protože tato knihovna není standardně obsažena ve výchozím prostředí ArcGISu, uživatel si ji do naklonovaného prostředí musí nainstalovat. To je možné buď pomocí terminálu (pozor, je potřeba v něm aktivovat klonované virtuální prostředí), nebo rovnou v Jupyter notebooku. Stačí do buňky typu code napsat následující příkaz: `conda install -c conda-forge pyproj` a poté spustit, tím se balíček nainstaluje z kanálu `conda-forge`, což je komunitou spravovaný kanál pro Conda balíčky. Je ale důležité, aby v buňce nebyl žádný jiný druh kódu, v případě je možné vynutit interpretaci příkazu shellem pomocí vykřičníku, který se umístí na začátek příkazu.

Následně je nutné z knihovny naimportovat potřebné třídy pro konverzi mezi souřadnicovými systémy, čímž začíná skript, který zobrazuje Obrázek 29. Jsou vytvořeny proměnné typu string vstupního a výstupního souřadnicového systému. V nich je využito kódu EPSG, ve kterém je WGS-84 označený kódem EPSG:4326 a S-JTSK East Noth je označený kódem EPSG:5514. Tyto proměnné byly použity k vytvoření instance transformátoru, který umožňuje převod souřadnic mezi definovanými souřadnicovými systémy.

```
from pyproj import CRS, Transformer

# Vytvoření instance projekce pro WGS-84 a JTSK
in_proj = "EPSG:4326"
out_proj = "EPSG:5514"

transformer = Transformer.from_crs(in_proj, out_proj)

for index, row in arcgisGPS.iterrows():
    x, y = transformer.transform(row['lat'], row['lon'])
    arcgisGPS.at[index, 'lon_jtsk'] = y
    arcgisGPS.at[index, 'lat_jtsk'] = x
```

Obrázek 29: transformace pomocí pyproj, zdroj: vlastní vypracování autora

Pomocí metody `iterrows()` je iterováno přes jednotlivé řádky `DataFrame`, kde `index` je číslo řádku a `row` je řádek samotný. V cyklu je volána metoda `transform()` instance `Transformer`, které jsou předány zeměpisné šířky a délky z daného řádku a nad nimi je provedena transformace. Transformovaná data jsou uložena do nových sloupců – `lon_jtsk` a `lat_jtsk`.

4.2.5 Export TXT souboru pro konverzi

Na geoportálu ČÚZK je webová aplikace, která slouží k převodu souřadnic mezi jednotlivými systémy [45]. Je do ní možná ručně zadat souřadnice, ale k hromadnému převodu existuje možnost nahrání TXT souboru, kde jsou jednotlivé body uvedeny na nových řádcích, odděleny mezerou. Z dokumentace k aplikaci je možné vyčíst požadovaný formát řádku textového souboru. Ten se skládá z minimálně 8 řetězců oddělených mezerami nebo tabulátory, podle následujícího schématu:

Číslo bodu / označení bodu – hodnoty souřadnic (dle SRS, stejně jako u vstupu do textového pole) – nepovinné popisy [46].

Protože jsou hodnoty jsou aktuálně uschovány jako `DataFrame`, stačí k tvorbě textového souboru jednoduchý cyklus, který bude procházet jednotlivé řádky a jejich hodnoty formátovat do řádků v textovém souboru dle daného schématu (viz Obrázek 30). Jako označení bodu bude využit název fotky, ze které byly souřadnice extrahovány. Tím se usnadní zpětné přidání konvertovaných souřadnic ke stávajícím. Výsledný soubor `exif_gps_wgs.txt` je uložen so složky se skriptem

```
output_file_wgs = 'exif_gps_wgs.txt'
with open(output_file_wgs, 'w') as output:
    for index, row in arcgisGPS.iterrows():
        output.write(f"{row['name']} {row['lat']} {row['lon']} {row['alt']}\n")
```

Obrázek 30: tvorba výstupního souboru pro konverzi, zdroj: vlastní vypracování autora

4.2.6 Import konvertovaných dat

Vzniklý soubor je možné nahrát na ČÚZK portál, jako vstupní formát zvolit WGS 84 (BLh/DEG), výstupním zvolit S-JTSK + Bpv (-Y-XH /east-north) a provést konverzi. Ta proběhne v řádu jednotek vteřin a po dokončení se začne automaticky stahovat soubor `TransformedTXT.txt`. V něm jsou obsáhnuty souřadnice v následujícím formátu:

```
DJI_20230720093421_0001_D.JPG -684590.186 -1056451.919 233.611
```

```
DJI_20230720093423_0002_D.JPG -684588.441 -1056452.893 233.603.
```

Pokud je část vložena do editoru, který zobrazí skryté znaky, je možné pozorovat, že mezi názvem a první souřadnicí je použit tabulátor a dále jsou jednotlivé hodnoty od sebe odděleny mezerami. Za poslední hodnotou výšky je ještě několik mezer, takže při dělení mezerami vzniknou dva další sloupce, ve kterých ale nebudou žádné hodnoty, ty budou muset být očištěny. Dělení hodnot je tedy potřeba udělat ve dvou fázích – řádek rozdělit dle tabulátoru a druhou část dělit dále pomocí mezery na jednotlivé hodnoty. Tím se zaobírá část skriptu, viz Obrázek 31. Na něm je skriptu, který se zaobírá tvoří nový DataFrame, využívá k tomu metodu `read_csv()`, které jsou jako parametry předány název souboru, separátor (první dělení pomocí tabulátoru) a názvy sloupců, které vzniknou při dělení. Protože se jedná o první dělení pomocí tabulátoru, vznikne sloupec se jménem fotografie a sloupec, který bude obsahovat zbytek hodnot řádku. Navíc vzniknou zmíněné dva prázdné sloupce.

V kroku následujícím jsou definovány další tři sloupce, které vzniknou rozdělením sloupce `lat_lon_alt` podle mezery. K popsanému dělení je využito metody `split()`, která je aplikována na souhrnný sloupec. Jejimi parametry je separátor (mezera) a parametr `n`, tento parametr omezuje počet rozdělení, které se mají provést, tedy dva. To znamená, že řetězec bude rozdělen na maximálně tři části: první část před první mezerou, druhá část mezi první a druhou mezerou a zbytek řetězce po druhé mezeře. Parametr `expand` nastaven na hodnotu `True` určuje, že výsledek rozdělení bude rozšířen do samostatných sloupců DataFrame, výsledek `split()` je DataFrame s každým podřetězcem v samostatném sloupci. V tomto případě bude výsledný DataFrame mít tři sloupce, protože `n = 2` a řetězec je rozdělen na tři části. V posledním kroku jsou odstraněny dva pomocné sloupce s prázdnými hodnotami pomocí metody `pop()`.


```
cuzkGPS = pd.read_csv("TransformedTXT.txt", sep="\t", names=['name_cuzk', 'lat_lon_alt', 'unnamed 1', 'unnamed 2'])
cuzkGPS[['lat_jtsk_cuzk', 'lon_jtsk_cuzk', 'alt_cuzk']] = cuzkGPS['lat_lon_alt'].str.split(' ', n=2, expand=True)
cuzkGPS.pop('unnamed 1')
cuzkGPS.pop('unnamed 2')
# display DataFrame
cuzkGPS
```

	name_cuzk	lat_lon_alt	lat_jtsk_cuzk	lon_jtsk_cuzk	alt_cuzk
0	DJI_20230720093421_0001_D.JPG	-684590.185 -1056451.919 233.611	-684590.185	-1056451.919	233.611
1	DJI_20230720093423_0002_D.JPG	-684588.441 -1056452.893 233.603	-684588.441	-1056452.893	233.603
2	DJI_20230720093425_0003_D.JPG	-684586.455 -1056453.982 233.627	-684586.455	-1056453.982	233.627
3	DJI_20230720093428_0004_D.JPG	-684584.343 -1056454.697 233.623	-684584.343	-1056454.697	233.623
4	DJI_20230720093430_0005_D.JPG	-684582.113 -1056454.714 233.642	-684582.113	-1056454.714	233.642

Obrázek 31: Dělení transformovaného souboru, zdroj: vlastní vypracování autora

4.2.7 Spojení obou zdrojů dat

Nyní jsou zpracovány data z obou zdrojů a je možné je spojit dohromady. Spojovacím prvkem budou názvy fotografií, které jsou společné pro oba DataFrames. Ke spojení přes společný klíč slouží metoda `merge()`. Ta je použita na existující DataFrame a jako argument je předán druhý existující DataFrame. Parametr `left_on = 'name'` specifikuje název sloupce v levém DataFrame (ArcGISGPS), který bude použit jako klíč pro sloučení. Analogicky parametr `right_on='name_cuzk'` určuje sloupec v pravém DataFrame (cuzkGPS), který slouží jako klíč z druhé strany.

Výsledný DataFrame `df_compare` tak obsahuje všechny řádky z ArcGISGPS, pro které byla nalezena odpovídající shoda v cuzkGPS, a sloučené řádky obsahují sloupce z obou původních DataFrame. Provedená operace je jistou analogií k SQL operaci INNER JOIN. Po jejím provedení jsou opět odebrány nepotřebné sloupce pomocí `pop()`. Operaci s výsledkem zobrazuje Obrázek 32.

```
df_compare = arcgisGPS.merge(cuzkGPS, left_on='name', right_on='name_cuzk')
df_compare.pop('lat_lon_alt')
df_compare.pop('name_cuzk')
df_compare
```

	name	lat	lon	alt	lon_jtsk	lat_jtsk	lat_jtsk_cuzk	lon_jtsk_cuzk	alt_cuzk
0	DJI_20230720093421_0001_D.JPG	50.036162	15.251984	277.857	-1.056451e+06	-684589.406916	-684590.185	-1056451.919	233.611
1	DJI_20230720093423_0002_D.JPG	50.036155	15.252010	277.849	-1.056452e+06	-684587.662642	-684588.441	-1056452.893	233.603
2	DJI_20230720093425_0003_D.JPG	50.036147	15.252039	277.873	-1.056454e+06	-684585.676125	-684586.455	-1056453.982	233.627
3	DJI_20230720093428_0004_D.JPG	50.036143	15.252070	277.869	-1.056454e+06	-684583.564207	-684584.343	-1056454.697	233.623
4	DJI_20230720093430_0005_D.JPG	50.036146	15.252101	277.888	-1.056454e+06	-684581.333999	-684582.113	-1056454.714	233.642

Obrázek 32: sloučení zdrojů dat, zdroj: vlastní vypracování autora

4.3 Porovnání metod převodů souřadnicových systémů

Protože byly již provedeny převody oběma metodami, je evidentní, že převod pomocí `pyproj` má na metodu ČÚZK výhodu v jednoduchosti celého procesu. Není potřeba kroků pro tvorbu TXT souboru, jeho nahrávání, stahování a zpětný převod dat pro další práci ve skriptu. Na stranu druhou tím, že oficiální nástroj od ČÚZK je poskytován státní autoritou, tak v případě odchylek těchto dvou metod budou mít jeho výsledky jistou vyšší právní a technickou preferenci oproti ostatním metodám. Pokud budou existovat významnější odchylky, bude preferována metoda ČÚZK, pokud se ukáže, že jsou výsledky shodné, bude pokračováno s metodou převodu pomocí knihovny `pyproj`.

4.3.1 Výpočet diferencí

Protože hodnoty diferencí jsou očekávány v centimetrech, maximálně v jednotkách metrů, bude pro jejich kvantifikaci využito vzorce pro výpočet euklidovské vzdálenosti dvou bodů. Jak již bylo zmíněno, S-JTSK využívá besselův geoid, takže pro výpočet větších vzdáleností by zmíněná metoda generovala nepřesnosti, ale při malých vzdálenostech je odchylka zanedbatelná. S-JTSK vychází z Křovákova zobrazení, kde souřadnice vyjadřují vzdálenost daného bodu v metrech od osy X (což je poledník na 24°50' východní délky) a osy Y (kolmo protínající osu X na 59°45' severní šířky) [47]. Výsledné difference bude tedy možno též interpretovat v metrech.

Pro jejich výpočet bude opět definován for cyklus s pomocí metody `iterrows()` (viz Obrázek 33) pro procházení `DataFrame` po řádcích. Při každém průchodu bude proveden výpočet euklidovské vzdálenosti pomocí $\sqrt{(\Delta x^2 + \Delta y^2)}$, kde:

- Δx je rozdíl mezi x souřadnicemi dvou bodů (v tomto případě rozdíl mezi zeměpisnými délkami, v kódu uloženo jako `delta_lon`),
- Δy je rozdíl mezi y souřadnicemi dvou bodů (v tomto případě rozdíl mezi zeměpisnými šířkami, v kódu uloženo jako `delta_lat`).

Výpočet samotný využívá metodu `sqrt()` z knihovny `math`, která obsahuje metody usnadňující matematické operace a je importována na začátku úryvku. Zmíněná metoda implementuje druhou odmocninu. Zápis do vypočtené hodnoty do sloupce `distance` opět využívá již v práci zmíněný přístup přes metodu `at()` a index získaný v daném průchodu cyklem.

```
import math

for index, row in df_compare.iterrows():

    # Výpočet rozdílu
    delta_lat = float(row['lat_jtsk']) - float(row['lat_jtsk_cuzk'])
    delta_lon = float(row['lon_jtsk']) - float(row['lon_jtsk_cuzk'])

    distance = math.sqrt(delta_lat**2 + delta_lon**2)
    df_compare.at[index, 'distance'] = distance

df_compare
```

	name	lat	lon	alt	lon_jtsk	lat_jtsk	lat_jtsk_cuzk	lon_jtsk_cuzk	alt_cuzk	distance
0	DJI_20230720093421_0001_D.JPG	50.036162	15.251984	277.857	-1.056451e+06	-684589.406916	-684590.185	-1056451.919	233.611	0.902919
1	DJI_20230720093423_0002_D.JPG	50.036155	15.252010	277.849	-1.056452e+06	-684587.662642	-684588.441	-1056452.893	233.603	0.903172
2	DJI_20230720093425_0003_D.JPG	50.036147	15.252039	277.873	-1.056454e+06	-684585.676125	-684586.455	-1056453.982	233.627	0.903795
3	DJI_20230720093428_0004_D.JPG	50.036143	15.252070	277.869	-1.056454e+06	-684583.564207	-684584.343	-1056454.697	233.623	0.903604
4	DJI_20230720093430_0005_D.JPG	50.036146	15.252101	277.888	-1.056454e+06	-684581.333999	-684582.113	-1056454.714	233.642	0.903749

Obrázek 33: výpočet rozdílů mezi metodami konverze, zdroj: vlastní vypracování autora

4.3.2 Rozbor výsledků

Pro uskutečnění objektivního srovnání se nabízí statistické metody pro popis diferencí. Protože Python ve spojení s Pandas se hojně v praxi využívá k datové analýze, má v sobě implementovány některé metody, které vyjadřují základní statistické metriky o souboru. Jednou z nich je metoda `describe()` vypisující výstup viz Obrázek 34. Z něho je evidentní, že průměrná vzdálenost mezi body generovanými `pyproj` a webovým převodníkem ČÚZK je 0,903438 m. To bylo spočteno na základě 694 záznamech. Co je pozoruhodné, je nízká variabilita, směrodatná odchylka je jen 0,00331 m, tedy 3,3 mm. Tomu odpovídá i dělení na kvartily a hodnoty minima a maxima, kdy jsou si tyto hodnoty relativně blízko.

```
print(df_compare.distance.describe())
```

count	694.000000
mean	0.903438
std	0.000331
min	0.902396
25%	0.903198
50%	0.903419
75%	0.903681
max	0.904357
Name: distance, dtype: float64	

Obrázek 34: statistický popis diferencí, zdroj: vlastní vypracování autora

Průměrná vzdálenost mezi body generovanými jednotlivými metodami 90cm je na tolik znatelná, že už dává smysl řešit složitější metodu převodu pomocí ČÚZK. Protože se difference zdají být sice relativně vysoké, ale zároveň s minimálním rozptylem, pro generování obrazové vrstvy by to nemusel být problém za předpokladu, že je vzájemný posun vždy jedním směrem. Problematické by ale bylo georeferencování takové vrstvy, protože by byla posunutá. To by možná bylo možné řešit posunem celé vrstvy o určitý vektor. Rozhodnutí řešit konverzi pomocí oficiálního nástroje ale přinese benefit využití oficiálního nástroje, vzniklý program tak bude moci být využit v oblasti geodézie k automatizaci hromadného převodu bodů získaných i jinými metodami sběru.

4.3.3 Automatizace procesu transformace

Jak již bylo zmíněno, sice provedený postup již automatizuje tvorbu souboru, který je konvertován, ale stále je nutná intervence uživatele, který je nucen soubor nahrát na server a po stažení soubor manuálně přesunout do složky s programem. Aby práce se skriptem byla uživatelsky přívětivější, následující část práce se zaměří na automatizaci uvedeného procesu. V ideální situaci by poskytoval ČÚZK nějakou formu aplikačního programového rozhraní (API), prostřednictvím kterého by byla data konvertována. Bohužel žádná taková využitelná forma není, a tak je nutné směřovat práci na automatizaci skrze ovládání webového prohlížeče.

K takovým účelům existuje knihovna Selenium. Instalace knihovny je opět možná zadáním příkazu do prázdné buňky v notebooku s využitím správce balíčků conda. Příkaz bude vypadat následovně: `conda install selenium`. Po vykonání instalace je možné provést importy jednotlivých metod, viz Obrázek 35. Selenium k práci s prohlížečem využívá ovladač tzv. WebDriver. Te umožňuje interakci s prohlížečem na stejné úrovni, jako by s ním pracoval uživatel. [48]

Pro každý prohlížeč je nutné stáhnout zvláštní verzi zmíněného ovladače. Aby byl skript dobře využitelný pro co nejvíce uživatelů, bude v rámci této práce využit ovladač pro prohlížeč Microsoft Edge, to proto, protože je předinstalovaný na mnoha počítačích, i když ho uživatelé nemusejí aktivně využívat. Ze stránek Microsoftu je dostupná poslední verze ovladače, která má podobu EXE souboru. Stažený soubor je vhodné umístit do systémové složky Windows, aby bylo možné se k ovladači dostat např. i z příkazové řádky. Cesta k ovladači je uložena do proměnné `driver_path`.

V následujícím kroku je vytvořena instance objektu `EdgeOptions`, který slouží k ukládání preferencí a nastavení. Pomocí metody `add_experimental_option()` jsou do `EdgeOptions` přidána specifická nastavení.

- `"download.default_directory": os.getcwd()`: nastaví výchozí adresář pro stahování souborů na aktuální pracovní adresář skriptu. Funkce `os.getcwd()` vrátí cestu aktuálního pracovního adresáře
- `"download.prompt_for_download": False`: zakáže dialog pro potvrzení stahování souboru, což zjednoduší automatizaci stahování konvertovaného souboru, jelikož uživatel nebude dotazován na potvrzení stažení.
- `"download.directory_upgrade": True`: umožňuje prohlížeči, aby automaticky přijímal změny ve výchozím adresáři pro stahování bez nutnosti manuálního potvrzení.

```
from selenium import webdriver
from selenium.webdriver.common.keys import Keys
from selenium.webdriver.common.by import By
from selenium.webdriver.support.ui import Select
import time
import os

# Nastavení cesty k driveru
driver_path = r"C:\Windows\msedgedriver.exe"

options = webdriver.EdgeOptions()

options.add_experimental_option("prefs", {
    "download.default_directory": os.getcwd(),
    "download.prompt_for_download": False,
    "download.directory_upgrade": True,})
```

Obrázek 35: import a konfigurace Selenia, zdroj: vlastní vypracování autora

Postup dále pokračuje tvorbou instance `WebDriver` s předem definovanými nastaveními (viz Obrázek 36), které byly specifikovány v předchozím kódu. Instanci je předána URL adresa webové aplikace pomocí metody `get()`. Následující část metodou `find_element()` najde HTML element ve struktuře stránky dle zadaného ID. Zde se jedná o `wcts_trans2_source`, což je rozbalovací seznam pro výběr vstupního souřadnicového systému (viz Obrázek 37).

```

# Otevření webové stránky
driver = webdriver.Edge(options=options)
driver.get("""https://geoportal.cuzk.cz/(S(u01aef2514zqqinmgqjs31zs))
           /Default.aspx?mode=TextMeta&text=wcts&menu=191""")

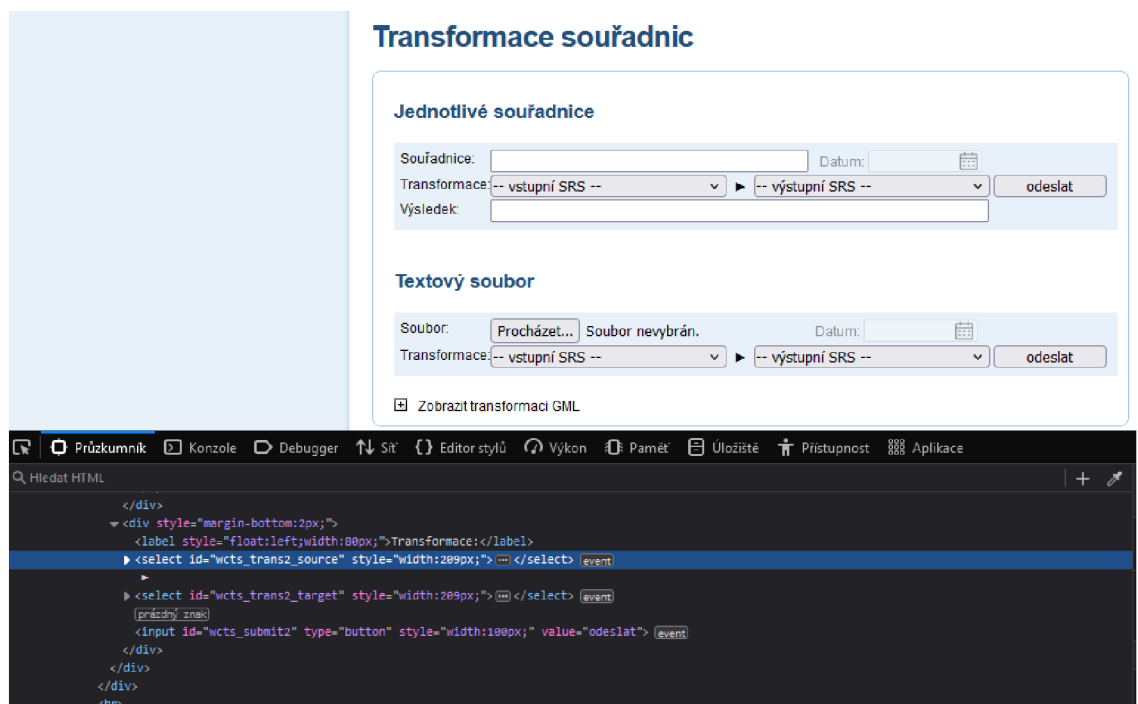
select_input = driver.find_element(By.ID, 'wcts_trans2_source')
drop_input = Select(select_input)
drop_input.select_by_visible_text("WGS 84 (BLh /DEG)")

select_output = driver.find_element(By.ID, 'wcts_trans2_target')
drop_output=Select(select_output)
drop_output.select_by_visible_text("S-JTSK + Bpv (YXH)")

```

Obrázek 36: otevření stránky a volba parametrů konverze, zdroj: vlastní vypracování autora

Na dalším řádku je využito metody `Select()`, která vybere daný element (což je vlastně ekvivalent uživatelskému kliknutí). Posledním krokem výběru je volba možnosti na rozbalovacím seznamu, zde je uplatněna metoda `select_by_visible_text()`, která zvolí možnost, jakou ji vidí uživatel, v tomto případě WGS 84 (BLh /DEG). Tím je končí sekvence výběru vstupního souřadnicového systému. Výběr výstupního souřadnicového systému probíhá obdobně, změněny jsou parametry ID elementu na stránce a hodnota, která se má ze seznamu zvolit.



Obrázek 37: webový formulář transformace souřadnic s úryvkem HTML [45]

Metoda `driver.find_element()` vyhledá dle ID elementu prvek `wcts_file1`, který slouží pro nahrání souboru (viz Obrázek 38). Tento prvek umožňuje uživatelům vybrat soubor z jejich lokálního systému, který má být nahrán na server. Metoda `send_keys()` vloží cestu k souboru do elementu pro nahrání souboru. Cesta je vytvořena metodou `path.join()`, která je součástí knihovny `os` a s jejíž pomocí se tvoří adresářová cesta ze zadaných argumentů. `getcwd()` vrátí aktuální pracovní adresář skriptu, `output_file_wgs` je název souboru, který má být nahrán (dříve definovaný `exif_gps_wgs.txt`). Tato kombinace vytváří úplnou cestu k souboru, který má být nahrán.

Metoda `implicitly_wait(10)` nastaví implicitní dobu čekání webdriveru na 10 sekund. Tím se zajistí, že WebDriver počká až 10 sekund na nalezení elementu na stránce před vyhozením výjimky o jeho nenalezení (např. při delším načítání stránky). Zde je použit pro zajištění, že prvek výběru souboru v pořádku přebere cestu k němu. Posledním krokem v práci s formulářem je vyhledání a aktivace tlačítka pro odeslání formuláře pomocí `find_element()`, které najde tlačítko dle jeho ID a následně `click()` simuluje kliknutí na tlačítko odeslání formuláře, čímž je formulář odeslán. I když na mnoha pokusech byla doba stahování souboru v řádu jednotek sekund, tak kvůli potenciálním problémům s připojením či různé rychlosti internetu je využito metody `sleep()` z knihovny `time`, která zastaví chod programu na 20 sekund, čímž dá větší prostor k dokončení stahování. Otevřené okno prohlížeče je nakonec uzavřeno metodou `quit()`.

```
# Nahrání souboru
file_input = driver.find_element(By.ID, 'wcts_file1')
file_input.send_keys(os.path.join(os.getcwd(), output_file_wgs))

# Čekání, aby se aktualizovalo pole výběru souboru
driver.implicitly_wait(10)

# Stisknutí tlačítka pro odeslání formuláře
submit_button = driver.find_element(By.ID, 'wcts_submit2')
submit_button.click()
time.sleep(20)

# Zavření prohlížeče
driver.quit()
```

Obrázek 38: nahrání vstupního souboru a stažení výstupu konverze, zdroj: vlastní vypracování autora

4.4 Zpracování dat ArcGIS portálem

Směřování práce se dále bude ubírat směrem k využití ArcGIS portálu, který bude sloužit k provedení úkonů na jejichž začátku bude vstup jednotlivých fotografií a výstupem bude jednodílná vrstva, připravená na import a práci v ArcGIS Pro. V tento moment je nutné propojit notebook s ArcGIS portálem. Postup byl představen v kapitole Python Notebook, jen pro práci v notebooku, který není integrován přímo v aplikaci, musí být provedena jedna úprava. Pokud by bylo propojení provedeno přesně dle uvedeného postupu (`from ArcGIS.gis import GIS`), uživatel by dostal následující chybu:

```
RuntimeError: OpenSSL 3.0's legacy provider failed to load.
This is a fatal error by default, but cryptography supports
running without legacy algorithms by setting the environment
variable CRYPTOGRAPHY_OPENSSL_NO_LEGACY. If you did not expect
this error, you have likely made a mistake with your OpenSSL
configuration.
```

Chyba poukazuje na problém s načítáním starších (legacy) algoritmů v OpenSSL 3.0. OpenSSL je otevřená implementace protokolů SSL a TLS, které zabezpečují komunikaci v síti. Verze 3.0 přinesla změny v podpoře těchto starších algoritmů. Při vývoji se chyba zprvu neprojevila, její výskyt přišel až po určité době, v níž nebyla měněna konfigurace OpenSSL. Autorovi se nepodařilo odhalit přímý důvod vzniku této chyby, nicméně byla nalezena metoda, která chybu odstraní. Ta spočívá v nastavení knihovny `cryptography` (na které ArcGIS API pro Python evidentně závisí v oblasti zabezpečeného spojení) tak, aby pokračovala bez načítání legacy algoritmů OpenSSL. To je řešeno přes knihovnu `os`, nastavením environmentální proměnné `CRYPTOGRAPHY_OPENSSL_NO_LEGACY` na hodnotu `yes`, jak zobrazuje Obrázek 39. Potom již může přijít na řadu samotný import knihovny, který by měl proběhnout již bez uvedené chyby a ověření vytvořené vazby s portálem stejným způsobem, jako byl popsán v kapitole 4.1.4.


```
import arcgis
os.environ["CRYPTOGRAPHY_OPENSSL_NO_LEGACY"] = "yes"
from arcgis.gis import GIS

gis = GIS("home")
is_support_orthomapping = arcgis.raster.orthomapping.is_supported()
is_support_orthomapping

True
```

Obrázek 39: tvorba propojení s ArcGIS portálem, zdroj: vlastní vypracování autora

Fotografie budou na portál v podobě kolekce snímků. K její tvorbě je určena metoda `create_image_collection()`, která má několik parametrů, které je nutné si před jejím voláním připravit. Jedním z takových parametrů je slovník `raster_type_params`. V rámci něho jsou metodě předány informace o zařízení, které snímky pořídilo a jeho sestavením se bude následující část práce zabírat [49]

4.4.1 Technické parametry snímače

Důležitým faktorem ohledně zpracování fotek do georeferencovaného podkladu je zjištění technických parametrů kamery, která fotky pořídila. Je to z důvodu deformací, které optika způsobuje. Také z technických parametrů, zejména rozlišení a výšky pořízení fotografie je dopočítáno prostorové rozlišení.

Hodnoty by měly být obsaženy v dokumentaci daného dronu, ale pomocí metody `query_camera_info()` lze zjistit technické parametry vybraných dronů a jejich kamer. Výrobce dronu by měl být známý a konkrétní model kamery lze najít v EXIF informacích fotografie. V případě této práce fotografie pořídil dron DJI Mavic 3 Multispectral Edition, který má dvě kamery s různými parametry. Fotografie, které jsou nyní zpracovávány jsou z klasické RGB kamery, v EXIF informacích je uveden model FC300S. Metodě je tedy předán výrobce a následně lze dohledat řádek patřící správnému modelu kamery a z něj vyčíst hodnoty potřebné v dalších krocích skriptu.

```
arcgis.raster.orthomapping.query_camera_info(camera_query="Make='DJI'")
```

	Make	Model	Focallength	Columns	Rows	PixelSize
0	DJI	Phantom 2 Vision	5.000000	4384	3288	0.001600
1	DJI	Phantom 2 Vision +	5.000000	4384	3288	0.001600
2	DJI	Phantom 3	4.000000	4000	3000	0.001550
3	DJI	Phantom 4	NaN	4000	3000	0.001550

Obrázek 40: metoda pro výpis technických parametrů kamer DJI, zdroj: vlastní vypracování autora

Z řádku, který reprezentuje technické parametry kamery FC300S (viz Obrázek 40) může být vytvořen tento slovník:

```
camera_properties = {"maker": "DJI", "model": "FC300S",  
"focallength": 4, "columns": 4000, "rows": 3000,  
"pixelsize": 0.00155}.
```

4.4.2 Seznam s polohami snímků

Další z částí slovníku `raster_type_params` bude dávat informace o místě pořízení jednotlivých snímků. Dle dokumentace má být hodnota klíče `gps` nastavena na dvourozměrný seznam, kde každý vnořený seznam bude reprezentovat jeden snímek. Hodnoty v něm musí být ve formátu: název fotografie, zeměpisná šířka, zeměpisná délka a výška. V tomto bodu je vhodné využít situace, kdy jsou požadované hodnoty již obsaženy v `DataFrame`, který byl vytvořen dříve. Z něho je totiž požadovaný vícerozměrný seznam možno vytvořit metodou `tolist()`. Ta je volána na jen na hodnoty sloupců, které se budou předávat, viz Obrázek 41. Tím nebudou ve výsledku obsaženy indexy řádků ani názvy sloupců.

```
gps_data = df_compare[['name', 'lat_jtsk_cuzk', 'lon_jtsk_cuzk', 'alt_cuzk']].values.tolist()  
gps = {'gps': gps_data}
```

Obrázek 41: tvorba dvourozměrného seznamu se souřadnicemi, zdroj: vlastní vypracování autora

4.4.3 Kompozice slovníku raster_type_params

Po předchozích krocích jsou připraveny části `camera_properties` a `gps`. Po nich dle dokumentace bude do slovníku přidán atribut `isAltitudeFlightHeight`. Ten při tvorbě kolekce udává, jestli hodnota nadmořské výšky, která je součástí geoprostorových dat, reprezentuje výšku letu nad zemí, či jestli se jedná o absolutní nadmořskou výšku bodu. Hodnota `False` naznačuje, že používaná výška není výška letu, což je případ zpracovávaných dat. V případě, že by hodnota byla `True`, indikovalo by to, že výška reprezentuje výšku, ve které se letoun (dron, letadlo atd.) nacházel nad terénem v okamžiku pořízení daného snímku.

Když je známým atributem nadmořská výška letu dronu, tak jeho letovou výšku by bylo možné dopočítat, pokud by byla známá nadmořská výška terénu v daném bodu. Proto bude využit atribut `averagezdem`. Tento parametr specifikuje zdroj informací o průměrné nadmořské výšce terénu pro oblast, která je zpracovávána. Hodnota obsahuje URL adresu služby poskytující data o nadmořské výšce. Služba poskytuje 3D model terénu, který lze použít pro získání průměrných výškových hodnot v rámci určité lokality.

Při tvoření slovníku `raster_type_params` z jeho částí je nutné dbát na jeho korektní zápis, ve množství závorek se může snadno některá opomenout. Kompozici ulehčuje dělba slovníku do jednotlivých proměnných, jako bylo provedeno v předchozích krocích. Kompletaci slovníku a jeho výpis ilustruje Obrázek 42.

```
raster_type_params = {
  "gps": gps, "cameraProperties": camera_properties, "isAltitudeFlightHeight": "False",
  "averagezdem": {
    "url": "https://elevation3d.arcgis.com/arcgis/rest/services/WorldElevation3D/Terrain3D/ImageServer"
  }
}

raster_type_params

{'gps': {'gps': [['DJI_20230720093421_0001_D.JPG',
'684590.186',
'1056451.919',
'233.611'],
['DJI_20230720093423_0002_D.JPG', '684588.442', '1056452.893', '233.603'],
['DJI_20230720093425_0003_D.JPG', '684586.455', '1056453.982', '233.627'],
['DJI_20230720093428_0004_D.JPG', '684584.343', '1056454.697', '233.623'],
['DJI_20230720093430_0005_D.JPG', '684582.113', '1056454.714', '233.642']]],
'cameraProperties': {'maker': 'DJI',
'model': 'FC300S ',
'focallength': 4,
'columns': 4000,
'rows': 3000,
'pixelsize': 0.00155},
'isAltitudeFlightHeight': 'False',
'averagezdem': {'url': 'https://elevation3d.arcgis.com/arcgis/rest/services/WorldElevation3D/Terrain3D/ImageServer'}}
```

Obrázek 42: slovník technických parametrů snímků, zdroj: vlastní vypracování autora

4.4.4 Tvorba kolekce snímků

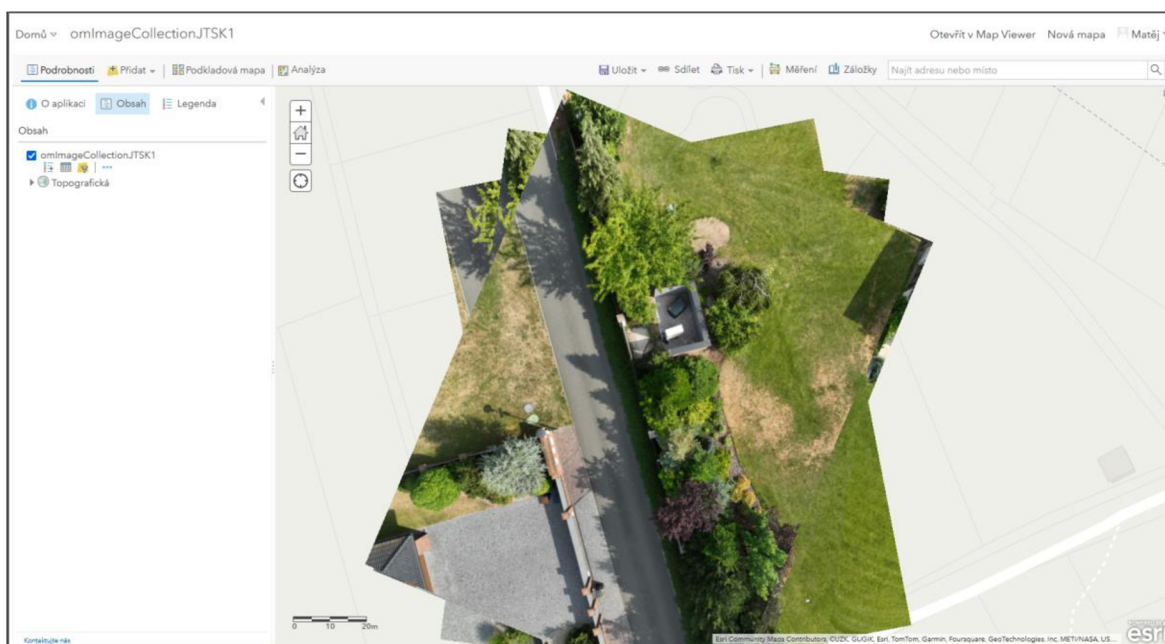
Všechny parametry metody `create_image_collection()` jsou předchozími kroky připraveny. Image collection (kolekce snímků) je soubor rastrových datasetů, které jsou logicky seskupeny do jedné entity pro snadnější správu, analýzu a sdílení. Tyto kolekce mohou zahrnovat satelitní snímky, letecké fotografie, digitální modely terénu (DMT), nebo jiné typy rastrových dat. Protože je využíváno přístupu na ArcGIS Enterprise Portál, bude na něm vytvořena složka, do které bude kolekce umístěna.

Požadované názvy kolekce snímků a složky, která bude vytvořena, jsou opět uloženy do příslušných proměnných. Tato praxe je velice vhodná v momentě, kdy bude skript upravován pro snazší použití (proměnné, které uživatel má nastavit lze přemístit na jedno místo v kódu kde se budou nastavovat všechny proměnné). Samotná metoda `create_image_collection()` musí být importována z knihovny ArcGIS API for Python. Předané parametry jsou již z větší části připravené, argument `raster_type_name` reprezentuje druh, jakým byla daná rastrová data získána a argument `outsr` reprezentuje výstupní souřadnicový systém. Je využito kódu pro S-JTSK, viz Obrázek 43.

```
prj_folder_name = "myOrthomappingProject"
from arcgis.raster.analytics import create_image_collection
image_collection_name = "omImageCollectionJTSK1"
image_collection_item = create_image_collection(image_collection=image_collection_name,
                                              input_rasters=image_list,
                                              raster_type_name="UAV/UAS",
                                              raster_type_params=raster_type_params,
                                              folder=prj_folder_name,
                                              outsr=5513)
```

Obrázek 43: tvorba složky a kolekce snímků, zdroj: vlastní vypracování autora

Po spuštění je vhodné se ujistit, zdali výstup odpovídá očekáváním. I to lze přímo v notebooku zadáním `image_collection_item.layers[0]`, ale výstup zobrazí jen jednotlivé snímky přes sebe bez podkladové mapy. Pokud je to tedy možné, tak pro lepší zobrazení autor doporučuje využít buď mapový prohlížeč na ArcGIS Portálu, nebo z něho importovat vrstvu do ArcGIS Pro. Jak v něm vzniklá vrstva bude vypadat ilustruje Obrázek 44.



Obrázek 44: kolekce snímků, zdroj: ArcGIS Portál, vlastní vypracování autora

Z výsledku je evidentní, že snímky jsou zasazeny do mapy a jejich umístění odpovídá místu pořízení. Co lze ale pozorovat např. na detailu silnice je, že jejich orientace není správná. Okraje silnice se na snímcích nepřekrývají, proto budou následovat kroky, které provedou korekci této nepřesnosti.

4.4.5 Korekce snímků sensorovým modelem

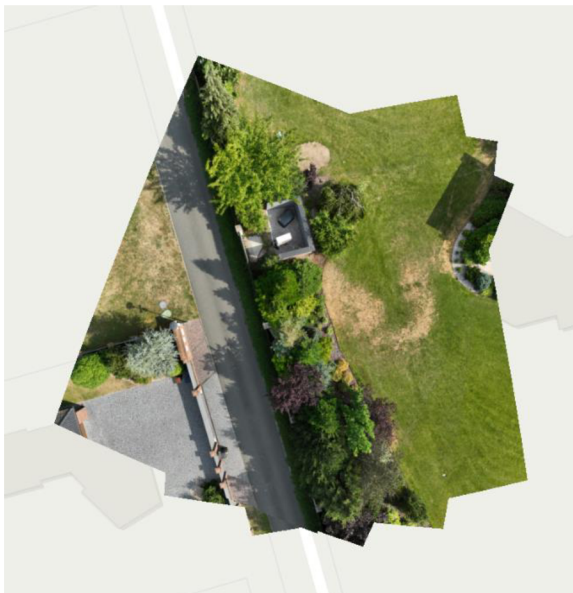
V návaznosti na předchozí kapitulu bude obsahem této koapitoly sjednocení jednotlivých snímků do jednodílné vrstvy. Jako první bude aplikována funkce sloužící k vytvoření a optimalizaci sensorového modelu `compute_sensor_model()`. Sensorový model je matematický model, který popisuje geometrický vztah mezi pozicí senzoru (např. kamerou na dronu) a snímanou scénou. Sensorový model zarovná všechny snímky v kolekci vzhledem k zemskému povrchu a vůči sobě navzájem.

Předané parametry (viz Obrázek 45) pro funkci budou udávat, na jaké kolekci snímků bude model generován a jakým způsobem. Protože účelem této práce není detailní analýza dat, ale spíše proces, jakým data zpracovat, budou parametry přesnosti a rychlosti nastaveny pro optimalizaci času a výpočetních prostředků. Hodnota parametru `mode` bude nastavena na `Quick`, což znamená výpočet spojovacích bodů (`tie points`) a úpravu blokového svazku na základě osminásobně redukováného rozlišení zdrojových rastrových dat. Pro optimalizaci přesnosti by byla vhodná volba hodnoty `Refine` případně `Full` pro maximální přesnost. Parametr `location_accuracy` bude volen na hodnotu `High`. Jeho výběr nástroj říká, s jakou přesností byla zaznamenána poloha snímků. Pokud je přesnost malá, nástroj bude pro vyhledávání spojovacích bodů sledovat vícero sousedních snímků. Protože dron měl zapnuto snímání polohy pomocí RTK, ve volba `High` na místě, v ní je tolerována přesnost až do 10 metrů a pro hledání spojovacích bodů využije oblast o velikosti 4 na 3 snímky. [49]

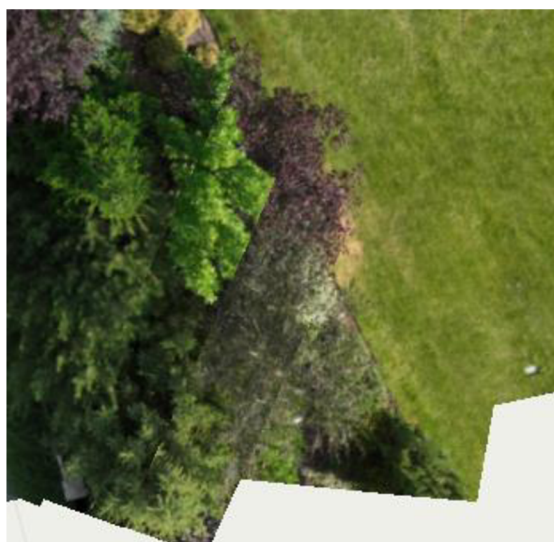
```
from arcgis.raster.orthomapping import compute_sensor_model
compute_sensor_model(image_collection=image_collection_item, mode='Quick', location_accuracy='High')
```

Obrázek 45: generování modelu senzoru, zdroj: vlastní vypracování autora

Po provedení bude na výstupu již patrná korekce v orientaci snímků, opět dobře patrná na detailu silnice. V porovnání s výstupem před použitím korekce se vrstva sjednotila a snímky jsou již ve správné orientaci, viz zarovnání Obrázek 46. Co ale ještě chybí je ona jednolitost vrstvy. Pokud je použito přiblížení na vrstvu, je možné si povšimnout detailu vegetace, kde jsou stále přítomné hrany jednotlivých snímků, jak ilustruje Obrázek 47.



Obrázek 46: výsledek první korekce, zdroj: ArcGIS Portál, vlastní vypracování autora



Obrázek 47: detailní zobrazení hran snímků, zdroj: ArcGIS Portál, vlastní vypracování autora

4.4.6 Zpracování švů mezi snímky

Sjednocení celé vrstvy a smazání hran mezi jednotlivými snímky má na starosti metoda `compute_seamlines()`. Ta nabízí několik metod generování švů, které překlenou rozdíly a opticky sjednotí celou vrstvu do jednolitého podkladu. Její konfigurace se provádí i pomocí parametrů ve slovníku `context`. Pokud je vzato v potaz množství kombinací jednotlivých metod a parametrů, tak správnou konfiguraci může být poměrně obtížné odladit. Pro data této práce bylo vyzkoušeno vícero nastavení a nejlepší výsledky generovalo to, které ukazuje Obrázek 48. Jako metoda tvorby švů byla zvolena `DISPARITY`, která je založená na rozdílech mezi obrazy získanými z různých úhlů nebo z různých časů a pomáhá identifikovat nejvhodnější místa pro spojení obrazů s ohledem na minimální vizuální rozdíly.

Parametry, které jsou nastavovány ve slovníku context:

- minRegionSize: minimální velikost oblasti v pixelech pro vytvoření švu,
- blendType: typ směšování použitý na švech,
- blendWidth: šířka oblasti směšování v pixelech,
- blendUnit: jednotka pro šířku směšování,
- requestSizeType a requestSize: velikost a jednotka zpracovávaných oblastí,
- minThinnessRatio: minimální poměr délky a šířky oblasti pro vytvoření švu,
- maxSilverSize: limit pro velikost chybějících oblastí, které lze ještě vyplnit.

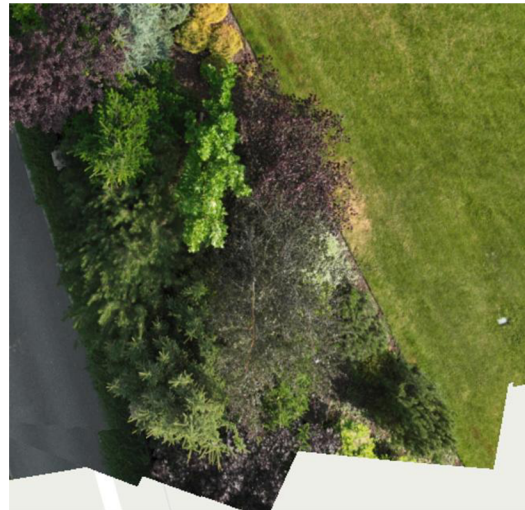
```
from arcgis.raster.orthomapping import compute_seamlines
compute_seamlines(image_collection=image_collection_item, seamlines_method="DISPARITY",
                  context={"minRegionSize":100, "blendType":"Both", "blendWidth":None, "blendUnit":"Pixels",
                           "requestSizeType":"Pixels", "requestSize":1000, "minThinnessRatio":0.07, "maxSilverSize":20})
```

Obrázek 48: nastavení compute_seamlines, zdroj: vlastní vypracování autora

Pro lepší zasazen výsledné vrstvy v reálném světě lze jako podkladovou mapu zvolit ortofotomapu, viz Obrázek 49. Po provedení výše uvedené procedury zpracovávaná vrstva vypadá jako jemný podklad bez viditelných švů jak ilustruje Obrázek 50.



Obrázek 49: výsledná vrstva, zdroj: vlastní vypracování autora



Obrázek 50: detail korigovaných hran, zdroj: vlastní vypracování autora

4.5 Finální úpravy skriptu

Co se skriptu samotného týče v současné podobě je funkční, ale je možné optimalizovat jak jeho chod, tak i uživatelskou přívětivost. Největším zásahem do skriptu bude odstranění částí, ve kterých probíhala konverze pomocí `pyproj` a výpočet diferencí. To znamená vynechání části, která byla popsána v kapitole 4.2.4. Výsledný běh programu touto částí bude tedy následovný: generování `exif_gps_wgs.txt` (kapitola 4.2.5), automatická konverze na geoportálu (kapitola 4.3.3).

Jednoduchým přemístěním některých proměnných, které byly definovány postupně u jednotlivých kroků, na začátek kódu lze zajistit, že při práci se skriptem uživatel bude moci nakonfigurovat vše z jednoho místa a nebude nutné zásahů na mnoha místech v kódu. Za zvýšení robustnosti lze považovat i úpravu části, kde byla vybírána přípona souboru (kapitola 4.2.1). Protože je python citlivý na malá a velká písmena, použitím `lower()` je převedeno vše na malá písmena a porovnání bude fungovat i pokud uživatel zadá příponu opačnou velikostí, než je napsána u souboru.

Zlepší lze i práci se soubory, v současné době se ve složce s programem vytvoří dva soubory. Při extrahování dat ze snímků `exif_gps_wgs.txt` a po konverzi `TransformedTXT.txt`. Aby se ve složce nemnožily s každým během, bylo by možné je přepisovat, ale může být výhodné si je uschovat pro případnou kontrolu práce skriptu. Proto budou oba uloženy do zdrojové složky se snímky. Doplněním cesty ke snímkům do kódu v kapitole 4.2.5 dojde rovnou ke tvorbě výstupního souboru před konverzí v patřičné složce. Na přesun druhého souboru je možné napsat jednoduchou část (viz Obrázek 51), která využije metody `move()` z knihovny `shutil`. Před přesunutím proběhne kontrola, jestli v cílové složce není soubor se stejným názvem a pokud ano, je nejprve smazán. Tím je zamezeno výjimce, která by zde mohla nastat.

```
import shutil
source = os.path.join(os.getcwd(), 'TransformedTXT.txt')
output_file_wgs = os.path.join(image_folder_path, 'TransformedTXT.txt')
if os.path.exists(output_file_wgs):
    os.remove(output_file_wgs)
shutil.move(source, image_folder_path)
```

Obrázek 51: kopírování staženého souboru, zdroj: vlastní vypracování autora

4.6 Využití výstupu

Pro ukázkou, co je možné s generovanými daty provádět, bude provedeno generování kompozitní vrstvy z vícero spekter a nad ní bude provedena NDVI analýza. Pro ní je třeba si připravit podklady. Využívá červeného spektra a NIR. Pomocí vytvořeného skriptu jsou vytvořeny vrstvy v těchto pásmech. Po úpravě skriptu v předchozí kapitole se změny parametrů ve skriptu udělají jen v úvodu skriptu. Multispektrální snímky jsou v jiné složce, mají jinou příponu a kamera, která je snímala, má jiné technické parametry. Parametry po úpravě ilustruje Obrázek 52. Spuštěním se vytvoří vrstva se zadaným názvem na ArcGIS Portálu.

```
#cesta ke složce se snímky
image_folder_path = r"D:\skola\diplomka\foto\R_5"

#přípona souboru, který bude skript načítat
file_type = '.tif'

#název složky, do které bude vrstva nahrána
prj_folder_name = "myOrthomappingProject"

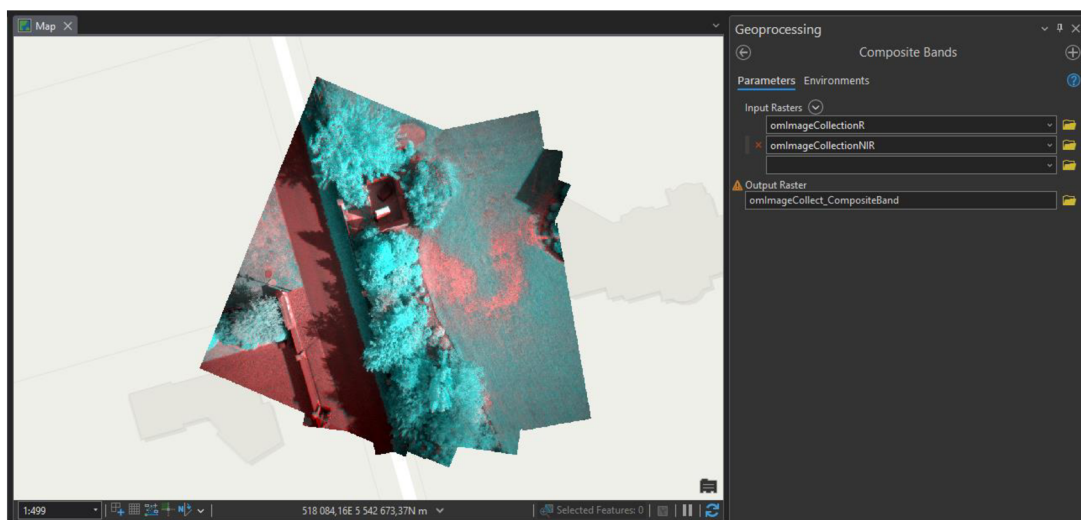
#název finální vrstvy
image_collection_name = "omImageCollectionR"

#slovník s parametry kamery
rcamera_properties = {"maker": "DJI", "model": "FC300S ", "focalLength": 4, "columns": 4000, "rows": 3000, "pixelsize": 0.00155} # pro RGB snímky
camera_properties = {"maker": "DJI", "model": "M3M-MS ", "focalLength": 4.34, "columns": 2592, "rows": 1944, "pixelsize": 0.002320} # pro multispektrální snímky
```

Obrázek 52: úprava parametrů pro práci s multispektrálními daty, zdroj: vlastní vypracování autora

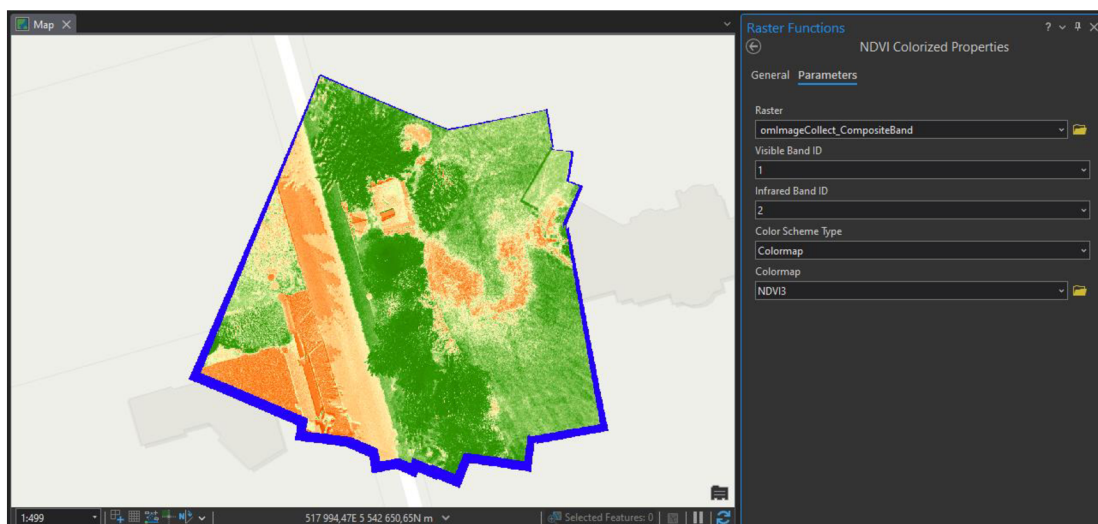
Pro další zpracování vrstvy bude využito ArcGIS Pro. Po založení nového projektu by již uživatel měl být rovnou přihlášen k patřičnému portálu. Pokud tomu tak není, postup osvětluje kapitola 4.1.2. Po načtení prostředí v záložce katalog bude ve sekci Portal vytvořena složka, která byla definována ve skriptu. V ní nalezneme vrstvy, které skript vytvořil. Drag and drop metodou je přemístíme do mapy – pro NDVI tedy vrstvy v červeném a NIR spektru.

Pro další analýzu se ze dvou oddělených vrstev se samotnými spektry musí vytvořit tzv. kompozitní vrstva, ve které budou zakomponovány obě spektra. Kompozitní vrstva je generována funkcí Composite Bands, tu lze vyhledat v panelu Analysis, záložce Tools. V části Input Rasters se zvolí obě vrstvy, co byly importovány z portálu. Výstup lze ponechat beze změny a spustit Run. V záložce Contents se objeví nová vrstva, která bude obsahovat dvě spektra. Vzhled a konfiguraci nástroje pro její tvorbu ilustruje Obrázek 53.



Obrázek 53: sloučení spekter pomocí Composite Bands. zdroj: ArcGIS Pro, vlastní vypracování autora

Na základě nové vrstvy lze již vytvořit vrstvu pro vizualizaci NDVI indexu pomocí nástroje NDVI Colorised. Nachází se v panelu Imagery, podsekcí Analysis, Raster Functions. Do pole Raster se zvolí kompozitní vrstva, do pole Visible Band ID 1 a do pole Infrared Band ID 2. 1 a 2 je výchozí pojmenování spekter v kompozitní vrstvě, pokud nedojde k přejmenování. Pokud náhodou výstup neodpovídá očekáváním, je vhodné zkusit opačnou kombinaci vrstev v této funkci. Zbytek parametrů lze ponechat na výchozích hodnotách. Nastavení a výstup této funkce zobrazuje Obrázek 54.



Obrázek 54: vizualizace NDVI indexu, zdroj: ArcGIS, vlastní vypracování autora

Na obrázku si lze povšimnout zelených a oranžových ploch. Syté odstíny zelené reprezentují části s vysokou vegetační aktivitou. Naopak části s oranžovými odstíny reprezentují oblasti s nízkou nebo nulovou vegetační aktivitou. Toho lze využít při analýze stavu vegetace, na tomto snímku je dobře patrná oranžová oblast na posekaném trávníku (vhodné porovnat s RGB snímek, též lze importovat z portálu, v práci se jedná Obrázek 49). V dané oblasti je parně trávník sušší než jeho okolí. Výstup je užitečný i pro klasifikaci zastavěného území, kde zastavěná plocha je dobře rozeznatelná od okolní vegetace, na snímku např. silnice, plot, dlažba. Vrstvy je možné si opět uložit na portál, v záložce Contents se pravým tlačítkem klikne na danou vrstvu, zvolí se možnost Sharing a volba Share as layer package. V poli Portal Folder je volena složka, do které se umístí výstupní vrstva.

4.7 Manuální tvorba rastrové vrstvy

Postup, který implementuje skript, je možné zopakovat samozřejmě i v samotném ArcGIS Pro, a to za pomoci funkcí na zpracování rastrových dat, které jsou v něm implementovány. Pro porovnání je nejprve nutné mít jednotný proces, který budou oba postupy provádět. Proces bude následující:

- vstupem budou jednotlivé snímky z dronu,
- výstupem bude rastrová vrstva, nahraná na Portálu,
- výsledná vrstva bude transformovaná do S-JTSK,
- výsledná vrstva bude korigována pomocí funkcí na korekci švů (bude jednolitá).

Sice skript využívá transformaci pomocí nástroje od ČÚZK, ale vyžadování stejného při manuálním postupu by ho na tolik prodloužilo, že by porovnání samotné pozbylo významu, proto bude konverze provedena transformací v programu. Dále do celkového času nebude započítán čas, po který budou probíhat výpočetní operace, protože postupy probíhají na rozličném hardwaru, což výrazně ovlivňuje délku celého procesu. Např. generování korekcí může být výrazně urychleno pomocí grafické karty, která sice je na testovacím počítači, ale nemusí být na serveru.

Postup tedy začíná založením projektu. Po jeho vytvoření je v něm nutné založit nový workspace (záložka Imagery/New Workspace). V prvním formuláři je třeba vyplnit název, zbytek je možné nechat ve výchozím stavu. V druhém formuláři se definuje zdroj dat, tedy složka, kde se nacházejí snímky. Po jejím zvolení by se měly načíst automaticky údaje o souřadnicovém systému a údaje o kameře. Je vhodné ale tyto údaje stejně překontrolovat, v případě dat použitých v této práci, byl chybně automaticky určený typ kamery (RGB místo multispektrální) a některé údaje bylo nutné upravit. Na následujícím formuláři je změněna volba u Elevation Source, čímž je vše připraveno a proces je dokončen tlačítkem Finish, čímž je vrstva vytvořena.

Korekce snímků je provedena na záložce Ortho Mapping volbou Adjust. Zde lze nechat vše ve výchozím nastavení a spustit stiskem Run. Konverze souřadnicového systému je prováděna pravým kliknutím na název vytvořené vrstvy, volbou Properties v záložce Transformation se vybírají parametry transformace. Jako zdrojový systém je zvolen WGS 1984 a jako výstupní systém je zvolen S-JTSK Krovak, transformace by měla být vybrána automaticky a vše je potvrzeno tlačítkem Apply.

Sdílení vrstvy se provede ze záložky Share/Web Layer/Publish Web Layer. Ve formuláři je vyplněn název vrstvy a její umístění. Z tohoto místa se zadá název nové složky, která bude vytvořena na portálu.

4.8 Měření časové náročnosti

V této kapitole bude provedeno porovnání čistě časové náročnosti obou metod. Aby byly podmínky pro skript pevně stanovené, jako jsou stanoveny pro manuální cestu (viz předchozí kapitola č.4.7), budou následující:

- nevyplněné hodnoty proměnných,
- nutnost zisku cesty ke snímkům z počítače,
- stažená technická dokumentace dronu.

Při měření časové náročnosti skriptu bylo tedy doplněno do proměnných vše kolem umístění a formátu snímků, názvu umístění na Portálu a technických parametrů snímače. Celá tato operace po spuštění skriptu zabrala 1:24. Když byl striktně následován postup měření popsany v kapitole Manuální tvorba rastrové vrstvy (čas, po který běžely importy a výpočty korekcí a nahrávání na server byl odečten) byla naměřena časová náročnost 2:57. Naměřené hodnoty a jejich význam bude diskutován v následující kapitole.

5 Výsledky a diskuse

Je legitimní otázkou, zdali se vyplatí vyvíjet skript kvůli časové úspoře jedné minuty a třiceti tří sekund (samozřejmě hodnoty se budou měnit dle toho, jak zručný uživatel za počítačem sedí). Pro porovnání, samotná doba vývoje autorem byla téměř 38 hodin práce. Je jisté, že do doby vývoje se velkou měrou promítají zkušenosti, které vývojář s prostředím má. Vývojář, pohybující se v oblasti celého ESRI ekosystému, by téměř určitě zvládl vývoj celého skriptu za zlomek času. Na druhou stranu, informace poskytnuté v kapitolách této práce by měly umožnit vývojářům, kteří nejsou obeznámeni s daným prostředím, zkrátit dobu potřebnou pro vývoj skriptu.

Je třeba ale zvážit i fakt, že skript provedl automatickou konverzi nástrojem oficiální státní autority. Jak bylo zjištěno, konverze souřadnic jednotlivými nástroji se může lišit, takže pokud by byl kladen důraz na přesnost a bylo by nutné provést konverzi souřadnic pomocí aplikace ČÚZK, proces by se značně prodloužil.

V předchozí kapitole byla tedy měřena jen přímá časová úspora, ta je ale z pohledu autora jen součástí výhod, které automatizace procesu přináší. Samotné zpracování snímků je totiž relativně výpočetně náročný proces, z čehož pramení i jeho časová náročnost. S parametry, které byly nastaveny v rámci této práce, zpracování 694 snímků na rastrovou vrstvu trvalo přibližně 26 minut bez nahrání na portál. Dron, využitý při sběru dat pro tuto práci, může při jednom průletu fotit v RGB a spektrech zelené, červené, red-edge a ve spektru NIR. To znamená, že při zachování stejného počtu snímků by vypracování pěti vrstev trvalo celkem dvě hodiny a deset minut za předpokladu, že se na sebe budou operace řetězit bez jakékoliv prodlevy. Dle názoru autora, zde automatizace nabývá na smyslu, protože lze poměrně jednoduše zajistit, že skript dostane na vstup seznam složek, které bude postupně procházet a tvořit jednotlivé vrstvy. Díky tomu je možné běh skriptu spustit třeba přes noc a tím rozložit zatížení výpočetních prostředků přes méně exponované časy.

Mimo to je možné skript vnímat jako modul, který lze aplikovat jako celek nebo část do jiných automatizací. Samotná část automatizace převodu souřadnic by mohla najít využití i mimo zpracování rastrových dat. Pro zpracování většího množství snímků by bylo na místě zaobírat se možnou paralelizací procesu, aby se zkrátila doba potřebná na zpracování všech vrstev. Jedna z cest dalšího rozvoje by mohla být automatizace celého procesu tvorby kompozitní vrstvy z jednotlivých vrstev po jejich vygenerování. Dále by pak bylo možné například využít v ArcGIS Pro podporu deep learningových modelů pro automatickou klasifikaci objektů ve vrstvě.

6 Závěr

Diplomová práce rozebírá tematiku sběru a automatizace zpracování rastrových dat získaných drony. Hlavním cílem bylo navrhnout a implementovat automatizovaný proces zpracování multispektrálních dat z dronu v programu ArcGIS s využitím Python skriptu.

V teoretických východiscích jsou popsány aktuální technologie v oblasti dronů. Zároveň je shrnuta legislativa spojená s jejich užíváním a také proces zisku pilotního oprávnění. Je představen programovací jazyk Python a stěžejní produkty ESRI relevantní pro vlastní práci a jejich možnosti v oblasti multispektrálních dat.

Ve vlastní práci je představena metodika konfigurace vývojového prostředí Python pro práci s knihovnou ArcPy a ArcGIS Portálem. Je vyvinut skript, který automatizuje proces převodu souřadnic snímků a následné tvorby rastrové vrstvy včetně její publikace na ArcGIS Portálu. Je demonstrována manuální obdoba celého procesu, se kterou je skript porovnán v oblasti časové úspory.

V poslední části je diskutována využitelnost samotného skriptu a v jakých podmínkách má smysl. Jsou rozebrány možnosti dalšího vývoje, ke kterým by mohl skript jako základ posloužit.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] M. LILLESAND, Thomas, Ralph W. KIEFER a Jonathan W. CHIPMAN. *Remote sensing and image interpretation*. Seventh edition. 111 River Street, Hoboken, New Jersey: JohnWiley & Sons, Inc, 2015. ISBN 978-1-118-34328-9.
- [2] KLIMEŠOVÁ, Dana. *Geografické informační systémy a zpracování obrazů*. Druhé. Praha: Credit, 2008. ISBN 978-80-213-0834-3.
- [3] *What is Remote Sensing?: Tutorial on remotely-sensed data, from sensor characteristics, to different types of resolution, to data processing and analysis*. [online]. USA: NASA, 2020 [cit. 2023-07-13]. Dostupné z: <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/remote-sensing>
- [4] *Remote Sensing- Components, Types, Applications, and Advantages* [online]. USA: NASA, 2020 [cit. 2023-07-13]. Dostupné z: <https://theconstructor.org/others/remote-sensing-applications/398/>
- [5] *Akademický slovník současné češtiny* [online]. Praha: Ústav pro jazyk český AV ČR, v. v. i., 2017–2023 [cit. 2023-07-18]. Dostupné z: <https://slovníkcestiny.cz/heslo/dron/0/26134>
- [6] MRÁZEK, Michal. *Návrh kolmo startujícího letounu*. Praha, 2021. Bakalářská práce. Fakulta strojní ČVUT v Praze, Ústav letadlové techniky. Vedoucí práce Ing. Hospodář Pavel.
- [7] SIMIC MILAS, Anita, Arthur CRACKNELL a Timothy WARNER. Drones – the third generation source of remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing* [online]. 2018, **39**(21), 7125-7137 [cit. 2023-07-15]. ISSN 0143-1161. Dostupné z: doi:10.1080/01431161.2018.1523832
- [8] ROL, Agence. File:Julius Neubronner with pigeon and camera 1914 cropped.jpg. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2023-07-15]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Julius_Neubronner_with_pigeon_and_camera_1914_cropped.jpg
- [9] DEUTSCHES BUNDESARCHIV. File:Bundesarchiv Bild 183-R01996, Brieftaube mit Fotokamera.jpg. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2023-07-15]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bundesarchiv_Bild_183-R01996,_Brieftaube_mit_Fotokamera.jpg
- [10] PENNANT-REA, Ned a Adam GREEN. Text by Ned Pennant-Rea and Adam Green. In: *Public domain review* [online]. [cit. 2023-07-15]. Dostupné z: <https://publicdomainreview.org/collection/dr-julius-neubronner-s-miniature-pigeon-camera/>

- [11] Airprox numbers - involving UA and Other. In: *Airprox board* [online]. Velká Británie [cit. 2023-07-15]. Dostupné z: <https://www.airproxboard.org.uk/reports-and-analysis/statistics/historical-trends/>
- [12] *Analysis of Airprox in UK Airspace* [online]. 2021, [cit. 2023-07-15]. ISSN 1479-2729. Dostupné z: <https://www.airproxboard.org.uk/media/lisbn3ze/book-37-ukab-annual-report-2021.pdf>
- [13] BISKUP, Patrik. Soud poprvé trestal za létání s dronem. Muž si natáčel nehodu a ohrozil helikoptéru. In: *Novinky.cz* [online]. [cit. 2023-07-15]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/clanek/krimi-prvni-trest-za-ohrozeni-letecke-dopravy-dronem-40430399>
- [14] *Bezpilotní letadla* [online]. [cit. 2023-07-15]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/>
- [15] *Provozovatelé dronů a piloti dronů* [online]. [cit. 2023-07-17]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/cs/light/topics/drone-operators-pilots>
- [16] *Základní informace k regulačnímu rámci EU pro bezpilotní systémy* [online]. [cit. 2023-07-17]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/zakladni-informace-k-regulacnimu-ramci-eu-pro-bezpilotni-systemy/>
- [17] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. Registrace bezpilotních systémů [online]. [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: <https://dron.caa.cz/>
- [18] *DroneView* [online]. [cit. 2023-07-17]. Dostupné z: <https://dronview.rlp.cz/>
- [19] *Provoz v rámci „Otevřená“ (Open) kategorie* [online]. [cit. 2023-07-17]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/otevrena-kategorie-open/provoz-v-ramci-otevrene-open-kategorie/>
- [20] *Postupy a formuláře dokumentů k agendě Oprávnění k provozu* [online]. [cit. 2023-07-17]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/specificka-kategorie-specific/postupy-a-formulare-dokumentu-k-agende-opravneni-k-provozu/>
- [21] *Certifikovaná kategorie (CERTIFIED)* [online]. [cit. 2023-07-18]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/certifikovana-kategorie-certified/>
- [22] Q200 Fixed-Wing UAV Drone [online]. QuestUAV [cit. 2023-07-19]. Dostupné z: <http://questuav.com/q200-fixed-wing-uav-drone>
- [23] CHAMOLA, Vinay, Pavan KOTESH, Aayush AGARWAL, NAREN, Navneet GUPTA a Mohsen GUIZANI. A Comprehensive Review of Unmanned Aerial Vehicle Attacks and Neutralization Techniques. *Ad Hoc Networks* [online]. 2021, **111**, 3-5 [cit. 2023-07-19]. ISSN 15708705. Dostupné z: [doi:10.1016/j.adhoc.2020.102324](https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2020.102324)

- [24] *DJI Mavic 3M* [online]. *djiTelink* [cit. 2023-07-19]. Dostupné z: <https://www.djitelink.cz/cs/mavic-3-enterprise/12640-dji-mavic-3m-1-rok-dji-care.html>
- [25] *The operator evaluates the Black Hornet* micro-drones used by the Armed Forces [online]. *Military* [cit. 2023-07-19]. Dostupné z: <https://mil.in.ua/en/news/the-operator-evaluates-the-black-hornet-micro-drones-used-by-the-armed-forces/>
- [26] CW-15 Multi-purpose and Intelligent VTOL Drone [online]. *JOUAV* [cit. 2023-07-19]. Dostupné z: <https://www.jouav.com/products/cw-15.html>
- [27] WASSER, Leah, Nathan KORINEK a Jenny PALOMINO. Use Data for Earth and Environmental Science in Open Source Python [online]. Zenodo [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: doi:10.5281/ZENODO.5571001
- [28] LIANG, Shunlin a WANG. *Advanced Remote Sensing* [online]. Academic Press, 2020 [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: doi:10.1016/C2017-0-03489-4
- [29] DR. JOYCE, Karen. What is the resolution of drone mapping?. In: *Geonadir* [online]. [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: <https://geonadir.com/drone-resolution/>
- [30] BALDRIDGE, A.M., S.J. HOOK, C.I. GROVE a G. RIVERA. The ASTER spectral library version 2.0. *Remote Sensing of Environment* [online]. 2009, 113(4) [cit. 2023-07-26]. ISSN 00344257. Dostupné z: doi:10.1016/j.rse.2008.11.007
- [31] Normalized Difference Vegetation Index. In: *Montana State University: Electrical & Computer Engineering Department* [online]. [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: <https://ece.montana.edu/seniordesign/archive/SP15/OpticalWeedMapping/ndvi.html>
- [32] NIR and water. In: *Public Lab* [online]. [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: <https://publiclab.org/notes/cfastie/10-06-2014/nir-and-water>
- [33] Spectral Signature Cheatsheet – Spectral Bands in Remote Sensing: Explore the Visible (and Invisible) with Spectral Bands. In: *GISGeography* [online]. [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: <https://gisgeography.com/spectral-signature/>
- [34] City heat extremes. In: *The European Space Agency* [online]. [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/City_heat_extremes
- [35] STACK OVERFLOW. 2023 Developer Survey [online]. 2023 [cit. 2024-03-26]. Dostupné z: <https://survey.stackoverflow.co/2023/#most-popular-technologies-language>
- [36] GOOGLE. *Python Introduction* [online]. [cit. 2024-03-26]. Dostupné z: <https://developers.google.com/edu/python/introduction>

- [37] GOOGLE. Data Structures [online]. [cit. 2024-03-26]. Dostupné z: <https://docs.python.org/3/tutorial/datastructures.html>
- [38] Applications for *Python* [online]. [cit. 2024-03-29]. Dostupné z: <https://www.python.org/about/apps/>
- [39] ARCDATA PRAHA, S.R.O. ArcGIS PRO [online]. [cit. 2024-03-29]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/cs-cz/produkty/arcgis/arcgis-pro/prehled>
- [40] ESRI. *An overview of the Image Analyst toolbox* [online]. [cit. 2024-03-29]. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/image-analyst/an-overview-of-the-image-analyst-toolbox.htm>
- [41] ARCDATA PRAHA, S.R.O. *ArcGIS Online* [online]. [cit. 2024-03-29]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/cs-cz/produkty/arcgis/arcgis-online/prehled>
- [42] ARCDATA PRAHA, S.R.O. ArcGIS Enterprise [online]. [cit. 2024-03-29]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/cs-cz/produkty/arcgis/arcgis-enterprise/prehled>
- [43] KONOPÁSEK, *Jakub*. *ArcGIS PRO - stažení / přihlášení* [online]. 2022 [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: <https://gis.czu.cz/portal/apps/storymaps/stories/2d8ba92885e84326b8674325d4dc6a27>
- [44] ČÚZK. *Souřadnicové systémy* [online]. [cit. 2024-03-16]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(ezd3pgmdghzzqeu33dmkk0y\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=sit.trans&text=souradsystemy](https://geoportal.cuzk.cz/(S(ezd3pgmdghzzqeu33dmkk0y))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=sit.trans&text=souradsystemy)
- [45] ČÚZK. *Transformace souřadnic* [online]. [cit. 2024-03-17]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(vlelimt10w0ephw4lctve2dj\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&text=wcts&menu=191](https://geoportal.cuzk.cz/(S(vlelimt10w0ephw4lctve2dj))/Default.aspx?mode=TextMeta&text=wcts&menu=191)
- [46] ČÚZK. *Nápověda transformace* [online]. [cit. 2024-03-17]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(vlelimt10w0ephw4lctve2dj\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&text=wcts&menu=191](https://geoportal.cuzk.cz/(S(vlelimt10w0ephw4lctve2dj))/Default.aspx?mode=TextMeta&text=wcts&menu=191)
- [47] ČADA, *Václav*. *ČZU. Souřadnicové systémy*, Kapitola 2. Tvar zemského tělesa a referenční plochy [online]. In: . [cit. 2024-03-19]. Dostupné z: <http://old.gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch02s03.html>
- [48] SELENIUM. *WebDriver* [online]. In: . [cit. 2024-03-19]. Dostupné z: <https://www.selenium.dev/documentation/webdriver/>
- [49] ESRI. *ArcGIS API for Python API Reference* [online]. In: . [cit. 2024-03-21]. Dostupné z: <https://developers.arcgis.com/python/api-reference/arcgis.raster.analytics.html>

8 Přílohy

8.1 Seznam obrázků

Obrázek 1: dělení metod dálkového průzkumu Země [3]	13
Obrázek 2: dr. Julius Neubronner [8]	16
Obrázek 3: holub s připevněným fotoaparátém [9]	16
Obrázek 4: ulice Frankfurtu nad Mohanem, fotografováno za pomoci holuba [10]	17
Obrázek 5: graf vývoje incidentů dle druhů zúčastněných objektů [11]	18
Obrázek 6: schéma dělení dronů do kategorií [14].....	20
Obrázek 7: ukázka online zkoušky pro drony podtřídy A1 a A3 [17].....	22
Obrázek 8: doklad o absolvování online kurzu [17].....	23
Obrázek 9: příklad omezené oblasti v aplikaci DroneView [18].....	24
Obrázek 10: dron s pevným křídlem a tlačnou vrtulí, model Q200 od firmy QuestUAV [22]	31
Obrázek 11: kvadrokoptéra DJI Macic 3 Enterprise s RTK modulem a multispektrální kamerou [24].....	33
Obrázek 12: jednorotorový vojenský Black Hornet Nano od společnosti Flir [25]	34
Obrázek 13, hybridní dron, model CW-15 od společnosti JOUAV [26]	35
Obrázek 14: dělení elektromagnetického spektra na pásma [27]	36
Obrázek 15: příklad území o stejné rozloze zaznamenaného v různých prostorových rozlišeních [28]	37
Obrázek 16: údaje o spektrální odrazivosti pro sníh a horniny (žula, čedič a pískovec) [30]	40
Obrázek 17: výpočet indexu NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) [31]	41
Obrázek 18: Bazén a vegetace vyfocená v pásmu NIR [32]	42
Obrázek 19: termální snímek Prahy ze dne 18.6.2022 [34].....	43
Obrázek 20: správné nastavení portálu v ArcGIS Pro, zdroj: ArcGIS Pro, vlastní vypracování autora	52
Obrázek 21: python konzole v ArcGIS Pro, ověření připojení, zdroj: ArcGIS Pro, vlastní vypracování autora.....	53
Obrázek 22: klonování Python prostředí, zdroj: ArcGIS Pro, vlastní práce autora.....	55
Obrázek 23: získání cest k jednotlivým souborům, zdroj: vlastní vypracování autora	57

Obrázek 24: převod formátu souřadnic, zdroj: vlastní vypracování autora.....	58
Obrázek 25: funkce na korekci referenčního směru, zdroj: vlastní vypracování autora	59
Obrázek 26: funkce pro extrahování souřadnic z fotografie, zdroj: vlastní vypracování autora	60
Obrázek 27: tvorba komparačního DataFrame, zdroj: vlastní vypracování autora	61
Obrázek 28: výstup pro iterování cyklu na tvorbu prvního DataFrame, zdroj: vlastní vypracování autora.....	61
Obrázek 29: transformace pomocí pyproj, zdroj: vlastní vypracování autora.....	62
Obrázek 30: tvorba výstupního souboru pro konverzi, zdroj: vlastní vypracování autora..	63
Obrázek 31: Dělení transformovaného souboru, zdroj: vlastní vypracování autora	65
Obrázek 32: sloučení zdrojů dat, zdroj: vlastní vypracování autora.....	65
Obrázek 33: výpočet rozdílů mezi metodami konverze, zdroj: vlastní vypracování autora	67
Obrázek 34: statistický popis diferencí, zdroj: vlastní vypracování autora	67
Obrázek 35: import a konfigurace Selenia, zdroj: vlastní vypracování autora.....	69
Obrázek 36: otevření stránky a volba parametrů konverze, zdroj: vlastní vypracování autora	70
Obrázek 37: webový formulář transformace souřadnic s úryvkem HTML [45].....	70
Obrázek 38: nahrání vstupního souboru a stažení výstupu konverze, zdroj: vlastní vypracování autora.....	71
Obrázek 39: tvorba propojení s ArcGIS portálem, zdroj: vlastní vypracování autora	73
Obrázek 40: metoda pro výpis technických parametrů kamer DJI, zdroj: vlastní vypracování autora	73
Obrázek 41: tvorba dvourozměrného seznamu se souřadnicemi, zdroj: vlastní vypracování autora	74
Obrázek 42: slovník technických parametrů snímků, zdroj: vlastní vypracování autora	75
Obrázek 43: tvorba složky a kolekce snímků, zdroj: vlastní vypracování autora	76
Obrázek 44: kolekce snímků, zdroj: ArcGIS Portál, vlastní vypracování autora.....	77
Obrázek 45: generování modelu senzoru, zdroj: vlastní vypracování autora.....	78
Obrázek 46: výsledek první korekce, zdroj: ArcGIS Portál, vlastní vypracování autora....	79
Obrázek 47: detailní zobrazení hran snímků, zdroj: ArcGIS Portál, vlastní vypracování autora	79
Obrázek 48: nastavení compute_seamlines, zdroj: vlastní vypracování autora	80
Obrázek 49: výsledná vrstva, zdroj: vlastní vypracování autora	80

Obrázek 50: detail korigovaných hran, zdroj: vlastní vypracování autora	80
Obrázek 51: kopírování staženého souboru, zdroj: vlastní vypracování autora	81
Obrázek 52: úprava parametrů pro práci s multispektrálními daty, zdroj: vlastní vypracování autora	82
Obrázek 53: sloučení spekter pomocí Composite Bands. zdroj: ArcGIS Pro, vlastní vypracování autora.....	83
Obrázek 54: vizualizace NDVI indexu, zdroj: ArcGIS, vlastní vypracování autora.....	84

8.2 Seznam tabulek

Tabulka 1: vlastnosti dronů s pevným křídlem	32
Tabulka 2: vlastnosti multirotorových dronů	33
Tabulka 3: vlastnosti jednorotorových dronů.....	34
Tabulka 4: vlastnosti hybridních dronů s pevným křídlem	35

8.3 Soubor ZIP se zdrojovým kódem

Přílohou této bakalářské práce je soubor ZIP se zdrojovým kódem skriptu, který byl vyvíjen ve vlastní části práce.