

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Studijní program Geodézie a kartografie

Studijní obor Geomatika



Diplomová práce

Využití cloudových a softwarových nástrojů pro zpracování dat DPZ

Autor: Bc. Svetlana Usik
Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Pacina, Ph.D.

Praha 2022

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Usik** Jméno: **Svetlana** Osobní číslo: **423591**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra geomatiky**
Studijní program: **Geodézie a kartografie**
Specializace: **Geomatika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Využití cloudových a softwarových nástrojů pro zpracování dat DPZ

Název diplomové práce anglicky:

Cloud and software tools for processing of remotely sensed data

Pokyny pro vypracování:

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Jan Pacina, Ph.D. Katedra geomatiky FSv

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

Datum zadání diplomové práce: **17.09.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **22.05.2022**

Platnost zadání diplomové práce: _____

doc. Ing. Jan Pacina, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

22.10.2021

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tuto diplomovou práci jsem vypracovala samostatně za použití zdrojů uvedených v seznamu literatury.

V Praze dne 22.5.2022

.....
Bc. Svetlana Usik

Poděkování

Ráda bych zde poděkovala vedoucímu mé diplomové práce, doc. Ing. Janu Pacinovi, Ph.D., za vstřícnost a užitečné rady, které mi během zpracování poskytoval. Také děkuji rodině a přátelům, kteří mi poskytovali podporu po celou dobu studia.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou zpracování dat DPZ v desktopovém a cloudovém softwaru. Práce popisuje teoretické základy DPZ, poskytuje přehled o datech a softwarech pro jejich zpracování. Pro práci byla použita scéna z družice Landsat 8. Samotné zpracování včetně dílčích úkonů bylo provedeno v desktopovém softwaru ArcGIS Pro a cloudovém prostředí Google Earth Engine. Postup zpracování dat je představen metodicky tak, aby bylo možné dané kroky aplikovat na další datové sady. Data byla zpracována metodou pixelové neřízené klasifikace. Kvalita výsledků byla ověřena odhadem přesnosti klasifikace a byl porovnán pracovní postup v jednotlivých softwarech. Na základě výsledků byla vyhotovena mapová kompozice.

Klíčová slova

Dálkový průzkum Země, GIS software, družice, ArcGIS Pro, Google Earth Engine, neřízená klasifikace, pixelově orientovaná klasifikace, metodika, K-mean, ISO cluster.

Abstract

The thesis deals with the issue of remote sensing data processing in desktop and cloud software. The thesis describes the theoretical foundations of remote sensing, provides an overview of data and software for its processing. For the thesis, the Landsat 8 scene was used. The processing itself, including subtasks, was performed in the desktop software ArcGIS Pro and the cloud environment Google Earth Engine. The data processing procedure is presented methodically so that the steps can be applied to other datasets. The data were processed using the pixel-based unsupervised classification method. The quality of the result was verified by estimating the accuracy of the classification and the workflow in each software was compared. Based on the results, a map composition was made.

Keywords

Remote sensing, GIS software, satellites, ArcGIS Pro, Google Earth Engine, unsupervised classification, pixel-based classification, methodology, K-mean, ISO cluster.

Obsah

1	Úvod a cíle práce	9
2	Rešerše	10
3	Dálkový průzkum Země	12
3.1	Definice	12
3.2	Princip	12
3.3	Metody	14
3.4	Data dálkového průzkumu Země	14
4	Družicové systémy pro DPZ.....	17
4.1	Družice poskytující otevřená data	20
4.2	Komerční družice	24
5	Digitální zpracování obrazových dat DPZ.....	27
5.1	Předzpracování	27
5.2	Zvýraznění	27
5.3	Klasifikace.....	28
5.4	Postklasifikační úpravy	32
5.5	Odhad přesnosti klasifikace	32
6	Nástroje pro zpracování dat DPZ.....	36
6.1	Komerční software	36
6.2	Software s otevřeným kódem	38
6.3	Cloudový software	39
7	Metodika	41
7.1	Volba SW	41
7.2	Úvod do Google Earth Engine	42
7.3	Oblast zájmu a získání dat.....	46
8	Příprava dat	50
8.1	Nahrání dat	50
8.2	Zvýraznění	55
9	Zpracování družicových dat.....	63
9.1	Neřízená klasifikace.....	63
9.2	Zhodnocení přesnosti	70
9.3	Filtrace obrazu	76

10	Export dat	79
11	Výsledky a diskuse	81
12	Závěr	87
	Seznam obrázků	88
	Seznam tabulek	91
	Seznam použité literatury	92

1 Úvod a cíle práce

Surová data dálkového průzkumu Země (DPZ), např. snímky z družic, sama o sobě nesdělují tolik informací o zemském povrchu a objektech nebo jevech na něm jako odborná interpretace. Informace získaná z dat DPZ je nezbytná pro kartografii při tvorbě map, pro sledování stavu krajiny a krizové řízení. Zpracováním dat DPZ se získávají klíčové informace pro celou řadu oborů – lesnictví, zemědělství, hydrologii, meteorologii, územní plánování, archeologii a další.

Existuje nespočet programů umožňujících zpracování dat DPZ. Během výuky v rámci bakalářského a navazujícího magisterského programu Geodézie a kartografie jsou studenti seznámeni jen s malou částí nástrojů pro práci s obrazovými daty. Cílem této práce je naučit se zpracovávat data v novém prostředí a porovnat postup a výsledky s daty, která budou zpracována v programu, který byl součástí běžné výuky. Cíleně bylo zvoleno prostředí Google Earth Engine, jelikož se jedná o volně dostupné cloudové prostředí pro zpracování a klasifikaci dat DPZ. Práce byla pojata metodicky – je tedy praktickým návodem na zpracování dat nejen v prostředí ArcGIS Pro, ale zejména v prostředí Google Earth Engine, jehož používání není v rámci geoinformatické komunity příliš rozšířené.

V první řadě si tato práce klade za cíl prozkoumat jaké nástroje jsou k dispozici uživatelům pro zpracování dat DPZ. Dalším úkolem je na základě rešerše vybrat vhodná data a dva softwarové nástroje pro jejich následné zpracování. Hlavním cílem této práce je vytvořit názorné postupy, podle kterých budou obrazová data zpracována a porovnat výsledky z obou nástrojů.

Tato práce je rozdělena do několika logických částí. V úvodu je kapitola věnovaná obecnému přehledu DPZ, datům DPZ a jejich zpracování. Dále jsou popsány některé družicové systémy a data, která poskytují. A v návaznosti na to je představena kapitola, která se zabývá přehledem softwaru pro zpracování dat DPZ. Metodika, podle které se provádí samotné zpracování dat, je pak představena formou diagramu. V druhé části práce jsou shrnuté výsledky práce, vizualizace výsledků a zhodnocení kvality výsledků klasifikace.

2 Rešerše

Problematice zpracování dat dálkového průzkumu Země se věnuje velké množství odborné literatury, vědeckých článků a absolventských prací. Tato kapitola je zaměřena na rozbor literárních a elektronických zdrojů, které posloužily jako inspirace dané práce a jsou zde citované.

Obecné základy dálkového průzkumu Země jsou přehledně vysvětleny ve skriptech *Dálkový průzkum Země* (1) a *Introduction to remote sensing* (2). Metody zpracování obrazových dat byly nalezeny zejména v publikacích *Zpracování obrazových dat* (3), *Dálkový průzkum Země, digitální zpracování obrazu* (4) a *Remote sensing and image interpretation* (5). Z výše uvedených zdrojů bylo především čerpáno v teoretické části této závěrečné práce.

Organizace UN-SPIDER (United Nations Platform for Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response) na svých webových stránkách poskytuje databázi, která obsahuje přehled softwaru pro účely DPZ (6). V databázi lze vyhledávat podle kritérií, jako jsou typ softwaru, formát dat, operační systém a mnoho dalších.

Z velké řady desktopového softwaru pro zpracování dat DPZ v teoretické části práce bylo cíleno na produkty, se kterými se během studia převážně setkávají studenti ČVUT FSv programu Geodézie a kartografie – ArcGIS Pro (ArcMap), QGIS, GRASS GIS. Pro zpracování dat bylo vybráno programové vybavení ArcGIS Pro zejména kvůli intuitivnímu grafickému rozhraní, díky kterému zpracování dat zvládne jak začátečník, tak i pokročilejší specialista v oboru. Dalšími výhodami jsou možnost tvorby přehledných mapových výstupů, školní licence a rovněž i možnost využít výukovou publikaci *Remote Sensing with ArcGIS Pro* (7) a lekce, poskytované společností ESRI (8).

Pro zpracování dat DPZ s využitím cloudových technologií (*cloud computing*) se nenabízí mnoho bezplatných možností. Lze například použít ArcGIS Online (SaaS), ArcGIS Enterprise (IaaS) nebo Google Earth Engine (PaaS). Jako inspirace pro využití cloudového softwaru Google Earth Engine posloužil článek *Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone* (9).

Článek byl publikován v roce 2017 v časopise *Remote Sensing of Environment* vývojáři platformy Google Earth Engine. Autoři příspěvku upozorňují na překážky spojené s používáním obrovského objemu dat DPZ např. pořízení a ukládání dat, analýza různorodých formátů souborů, správa databází a rozmanitost speciálního softwaru. Autoři prezentují GEE jako cloudovou platformu, která poskytuje přístup k obrovskému množství dat, shromážděných v katalogu GEE a umožňuje jejich zpracování pomocí vysokovýkonného počítačového systému pro paralelní výpočty. Článek dále obsahuje přehled platformy z hlediska jejích základních komponent – archiv dat, API, IDE. Publikace prezentuje katalog datových sad, který se aktualizuje rychlostí 6000 scén denně z aktivních družicových misí s prodlevou cca 24 hodin od doby pořízení scény, vysvětluje architekturu GEE a shrnuje funkce, pomocí kterých lze data zpracovávat. Na závěr autoři propagují GEE jako integrovanou platformu navrženou tak, aby umožnila práci s daty DPZ nejen odborníkům, ale i široké veřejnosti. Primárním zdrojem informací pro práci v prostředí GEE je oficiální dokumentace (10).

Na svých webových stránkách UN-SPIDER poskytuje mimo jiné přehled velkého množství zdrojů DPZ dat (družicové snímky, výškové modely, mapy využití půdy a krajinného pokryvu). V databázi lze vyhledávat podle typu dat, časového nebo prostorového pokrytí, satelitů nebo typů souborů (11). Webová stránka GEOSPATIAL WORLD zveřejnila článek, ve kterém uvádí pět online zdrojů volně dostupných dat DPZ (12). Mezi populární bezplatné zdroje patří hlavně EarthExplorer (13) a Copernicus Open Acces Hub (14).

Diplomová práce Klasifikace krajinného pokryvu ve vybraných územích Etiopie pomocí klasifikátoru strojového učení se zabývá klasifikací krajinného pokryvu s využitím družicových snímků vysokého rozlišení Sentinel-2 a velmi vysokého rozlišení PlanetScope v cloudovém prostředí Google Earth Engine. Jako klasifikační metodu autorka zvolila metodu Random Forest. Algoritmy vzniklé během práce jsou volně dostupné na platformě GEE (15).

3 Dálkový průzkum Země

3.1 Definice

Význam pojmu dálkový průzkum Země (DPZ) lze zjistit například na webových stránkách terminologického slovníku zeměměřičství a katastru nemovitostí (16). Obecně lze dálkový průzkum Země pojmut jako „způsob získávání dat o zemském povrchu bezkontaktním způsobem, např. z letadla nebo z družice“. Širší definice popisuje DPZ nejen jako proces sběru dat o území realizovaný z kosmického (kosmický průzkum) nebo letadlového nosiče (letecký průzkum), ale také do pojmu zahrnuje následné zpracování těchto dat k získání informací o poloze, stavu a druhu objektů a jevů zemského povrchu.

Lillesand a Kiefer (5) definují DPZ jako vědu a umění získávat užitečné informace o objektech, plochách či jevech prostřednictvím dat měřených na zařízeních, která s těmito zkoumanými objekty, plochami či jevy nejsou v přímém kontaktu. Sabins a Ellis (17) ve své knize definují DPZ jako vědu o získávání, zpracování a interpretaci obrazových a souvisejících dat získaných pomocí letadel nebo satelitů, které jsou vybaveny senzorovými systémy zaznamenávajícími interakci mezi elektromagnetickou energií a hmotou. Tso a Mather (18) prezentují DPZ jako proces použití senzorů instalovaných na letadlech nebo satelitech, které slouží k detekci elektromagnetické energie rozptýlené nebo vyzařované zemským povrchem. Campbell and Wynne (2) uvádí nejdříve přehled různých definic dálkového průzkumu Země, dále definují DPZ jako postup získávání informací o zemském povrchu a vodních plochách pomocí snímků pořízených z nadhledu pomocí elektromagnetického záření v jedné nebo více oblastech elektromagnetického spektra, odraženého nebo vyzařovaného zemským povrchem.

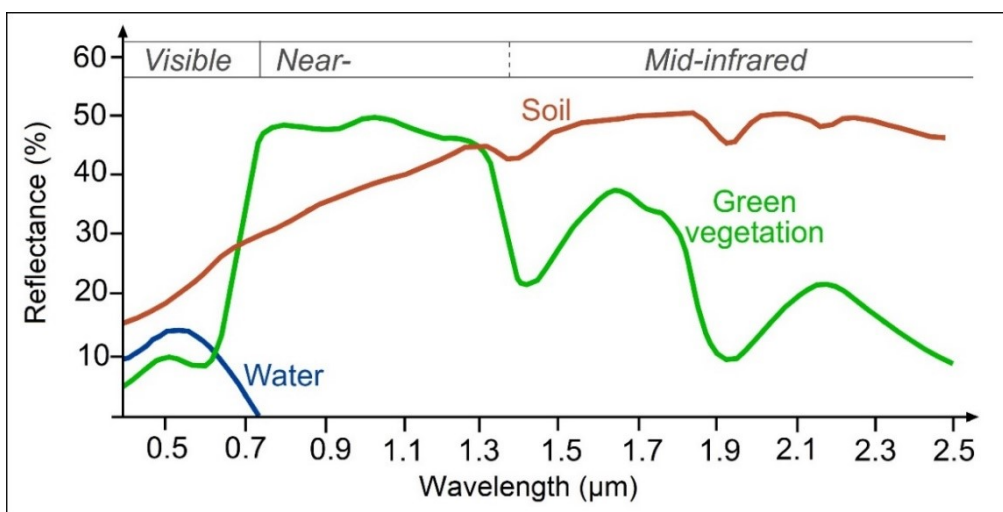
3.2 Princip

Dálkový průzkum Země je především geoinformační technologií. Zkoumá nejen zemský povrch, ale i vodu a dolní vrstvy atmosféry a také procesy, které v těchto vrstvách probíhají (4). Získávání informací o zemském povrchu pomocí DPZ je

založeno na principu spektrálního chování objektů. Každý objekt odráží a emituje záření různých vlnových délek odlišným způsobem. Intenzita odraženého a emitovaného záření závisí na elektromagnetických vlastnostech každé látky. Tyto vlastnosti jsou určeny druhem látky nebo objektu a jejich okamžitým fyzikálním stavem spolu se stavem jejich okolí. Každý objekt či látka odráží a vyzařuje záření různých vlnových délek svým typickým způsobem, na základě kterého jsme schopní určit, o který objekt nebo látku se jedná.

Pomocí DPZ lze zjistit druhový parametr látky (o co se konkrétně jedná) nebo stavový parametr (stav, ve kterém se daná látka nachází). Počet těchto parametrů není striktně stanovený. Spektrální chování objektu znázorňuje jeho spektrální charakteristika, která vyjadřuje průběh závislosti odrazivosti a emisivity dané látky na vlnové délce. Znalost spektrální charakteristiky a příslušných stavových parametrů určuje, jaká spektrální pásma použít pro spolehlivé určení typu látky (1).

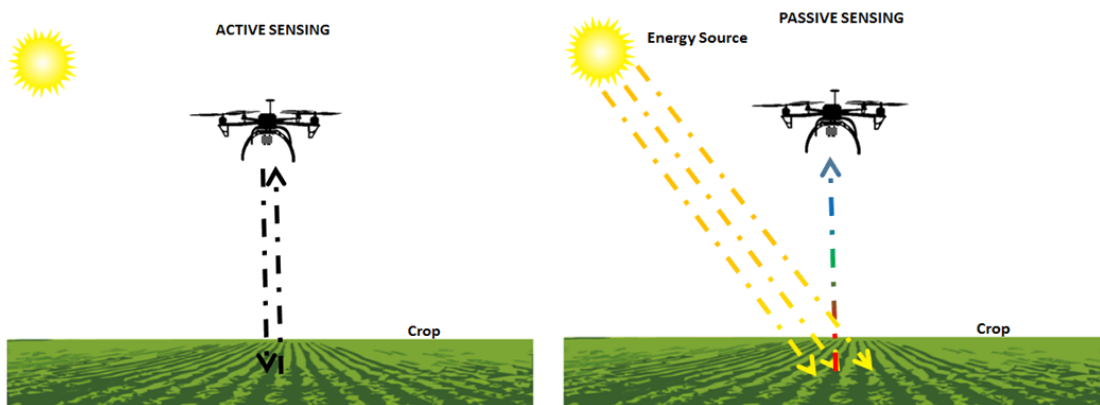
Pro každý objekt lze sestavit závislost mezi jeho odrazivostí a vlnovou délkou a průběh této závislosti bude pro tento objekt více méně typický. Tato charakteristika se označuje jako spektrální křivka odrazivosti (Obrázek 1). Křivka odrazivosti je projevem tzv. spektrálního chování objektů a její tvar má velký vliv na výběr vlnové délky, ve které je vhodné data o objektu získávat. Křivky spektrálního chování mají pro stejnou třídu objektů (vegetace, holá půda, voda) vždy typický průběh (4).



Obrázek 1 Spektrální křivky (zelená – vegetace, červená – holá půda, modrá – voda) (19)

3.3 Metody

Metody dálkového průzkumu Země se na základě zdroje elektromagnetického záření dělí na aktivní a pasivní. Při aktivním DPZ je záření vysílané z měřicí aparatury a měří se část jeho odraženého záření. V případě pasivního DPZ je zdrojem elektromagnetického záření Slunce a sama Země. Pasivní metody se dělí na přímé a nepřímé. U přímých metod se měří odražené sluneční záření a nepřímé metody se zabývají měřením záření emitovaného objekty (Obrázek 2).



Obrázek 2 Metody sběru dat pro DPZ (vlevo – aktivní, vpravo – pasivní) (20)

Dalším kritériem kategorizace metod DPZ je způsob pořizování dat. Konvenční DPZ využívá fotogrammetrické snímky, kde obraz vzniká v jednom okamžiku. V metodách nekonvenčních snímky vznikají postupně, tzv. řádkováním pomocí zařízení označovaných skenery. Obě metody využívají nosiče letecké i družicové. Výsledky nekonvenční metody tvoří velkou část obrazových dat (1).

3.4 Data dálkového průzkumu Země

Data, která jsou pořizovaná během měření, lze rozdělit podle několika hledisek. Data mohou být obrazová a neobrazová. Nosičem měřicí aparatury mohou být letadla nebo družice, pak se jedná o letecká nebo družicová data. Při pořizování záznamu se může používat buď filmový materiál, pak se jedná o data analogová, anebo se mohou data zaznamenávat v číselné podobě, pak jde o data digitální.

Analogová data jsou nejstaršími daty dálkového průzkumu Země. Pořizují se převážně pomocí leteckých nosičů. Pro vyhodnocení analogových dat se

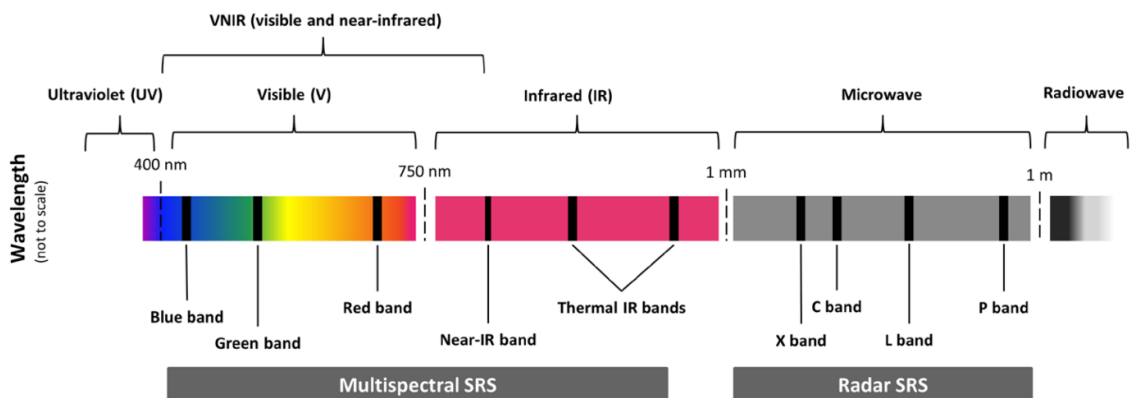
používají fotogrammetrické metody, speciální zařízení nebo metody vyhodnocování fotogrammetrických snímků.

Digitální obrazová data jsou tvořena pravidelnou maticí čísel, kterou lze zobrazit v obrazové podobě. V případě DPZ jsou zdrojem digitálních obrazových dat speciální zařízení (skenery, radary apod.), která se umísťují na letadla nebo družice. Analogová data lze do digitální podoby převést skenováním a naopak digitální data lze do analogové formy převést například tiskem z tiskárny (1).

Obor dálkový průzkum Země pracuje mimo jiné s tzv. obrazovými daty. Obrazová data obsahují dva druhy informací – prostorovou a obsahovou. Prostorová informace (také je možné se setkat s pojmem topografická či geometrická) je informace o vlastnostech objektů, například o jejich tvaru, velikosti, poloze, vzájemné vzdálenosti apod. Obsahová neboli tematická informace pak vyjadřuje, co který objekt ve skutečnosti znamená (chemické složení látek, teplota). Obsahová informace je přednostním zájmem DPZ, problematikou prostorové informace se zabývá fotogrammetrie. Hranice mezi těmito dvěma obory se však stírají, protože informaci tematickou je nutné zpracovávat s ohledem na prostorové vlastnosti.

Obrazový záznam charakterizují čtyři základní druhy rozlišovacích schopností – prostorové rozlišení, spektrální rozlišení, radiometrické rozlišení a časové rozlišení. Pixel je základní jednotkou každého digitálního obrazu. Běžně má pixel čtvercový tvar, případně obdélníkový. Prostorové rozlišení obrazového záznamu udává, kolik metrů na zemském povrchu představuje jeden pixel na snímku. Spektrální rozlišení stanovuje, ve kterých částech elektromagnetického spektra družice snímá. Jednoduše řečeno, spektrální rozlišení ovlivňuje množství a typ tematické informace, kterou je možné z družicového snímku získat (např. odlišení různých druhů vegetace a dalších typů zemského povrchu). Radiometrické rozlišení (hloubka pixelu) udává počet úrovní, do nichž je obraz zaznamenán. Radiometrické rozlišení se běžně udává pomocí n-té mocniny čísla 2, např. radiometrické rozlišení 2 bity znamená, že obraz byl zaznamenán do 4 úrovní, analogicky 8 bitů značí 256 úrovní. Časové rozlišení určuje, jak často je určitá oblast zemského povrchu opakovaně zaznamenávána. Například družicový systém Landsat pořizuje snímky stejného území každých 16 dní.

Jak již bylo zmíněno, obrazová data DPZ vznikají díky záznamu a měření vysílaného a odraženého elektromagnetického záření (Obrázek 3). V závislosti na počtu záznamů (pásmech) obrazových dat v různých vlnových délkách při jednom měření se obrazová data dělí na monochromatická, panchromatická (černobílá), multispektrální (barevná) a hyperspektrální. Monochromatická data jsou měřená v jednom pásmu. Panchromatická data se měří ve vlnovém rozsahu viditelné části spektra. Multispektrální data obsahují měření v několika spektrálních pásmech. Hyperspektrální data jsou tvořena měřeními ve velmi vysokém počtu spektrálních pásem. Data měřená ve viditelném, blízkém a středním infračerveném pásmu se nazývají optická data. Data měřená ve vlnových délkách tepelného záření se označují jako termální data (1). Specifickou kategorií dat jsou radarová data, která jsou pořízená v mikrovlnné části elektromagnetického spektra. Radarový senzor vysílá vlastní pulsy, jejichž záření odražené od zemského povrchu poté sám zachycuje, proto je možné snímat za tmy. Lze také snímat v nepříznivých atmosférických podmínkách, protože radarové záření projde i oblačností (21).



Obrázek 3 Spektrum elektromagnetického záření s pásmy používanými v DPZ (22)

4 Družicové systémy pro DPZ

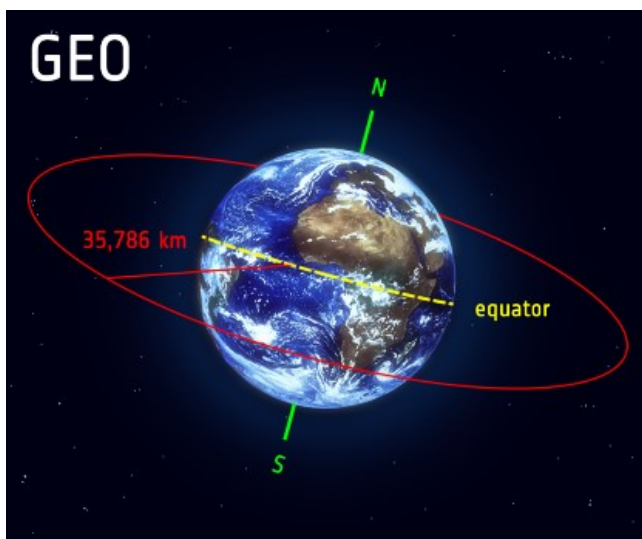
V roce 1957 v SSSR z kosmodromu Bajkonur byla vyslána první umělá družice Sputnik 1. Poté, v roce 1958, umělou družici Explorer 1 vyslaly Spojené státy americké. V současné době je celkový počet aktivních družic obíhajících Zemi 4550, z toho 2788 patří USA, Čína má 431 družic a 167 spadá pod Rusko. Tyto informace jsou aktuální ke dni 1. 9. 2021 dle satelitní databáze UCF (Union of Concerned Scientists), která je veřejným seznamem satelitů současně se nacházejících na oběžné dráze Země (23). Téměř polovina zemí na planetě má vlastní umělé družice na oběžné dráze, a tak se dálkový průzkum Země rychlým tempem stává běžnou činností po celém světě. Přehlednou vizualizací objektů na oběžné dráze Země v reálném čase umožňuje webová stránka Stuff in Space. Na webové stránce se denně aktualizují údaje o oběžné dráze z webu Space-Track.org a k výpočtu polohy satelitů se používají knihovny satellite.js (24).

Satelitní snímky jsou důležitým zdrojem informací pro hospodaření v krajině, pro monitorování životního prostředí a analýzu změn, pro řešení krizových situací a dalších důležitých činností. Žijeme v době, kdy satelitní data jsou snadno přístupná nejen odborníkům v oblasti geografických informačních systému (GIS), ale také široké veřejnosti. Družice jsou ideálními nosiči pro přístroje používané pro dálkový průzkum. Oproti letadlovým nosičům poskytují hned několik výhod:

1. Družice se pohybují na oběžných drahách ve výškách stovek až desítek tisíc kilometrů, což umožňuje během jednoho okamžiku zachytit území o rozloze mnoha kilometrů čtverečních. Tato skutečnost umožňuje pořizovat data při stejných meteorologických, světelných a tepelných podmínkách pro účely porovnání výsledků v různých částech měřeného území.
2. Schopnost provádět pravidelné a trvale opakované záznamy téhož území s příznivým časovým rozlišením.
3. Opakovaným družicovým měřením lze odstranit oblačnost. Žádná část území není permanentně pokryta oblačností, takže každý přelet družice nad stejným místem po několika dnech zvyšuje pravděpodobnost zachycení bezoblačného území.

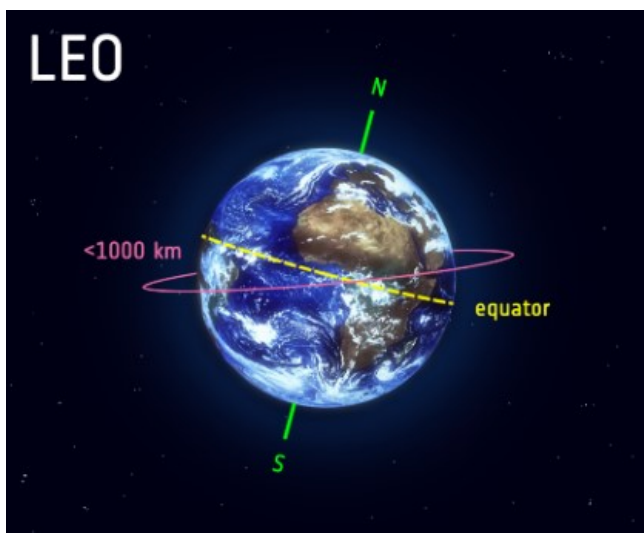
4. Přístup k naměřeným datům v reálném čase.
5. Lze volit oběžné dráhy dle požadavků a účelů zařízení, která družice nesou (1).

Družice používané pro DPZ obíhají Zemi po eliptických drahách v různých výškách. Dle polohy dráhy k rovině rovníku se rozlišují tři typy oběžných drah. Dráha rovníková neboli geostacionární (GEO) se nachází ve výšce 36 000 km nad zemským povrchem (Obrázek 4). Družice se pohybuje v rovině zemského rovníku od západu k východu (čili synchronně s rotací Země). Úhlová rychlost oběhu družice odpovídá úhlové rychlosti rotace Země, proto se pro pozorovatele na Zemi družice stále nachází na stejném místě. Geostacionární družice poskytují data s nejlepším časovým rozlišením pouhých 15 minut, avšak s poměrně malým prostorovým rozlišením. Družice na rovníkové dráze se používají především v meteorologii – monitorují synoptické procesy v atmosféře, umožňují ukazovat stav a pohyb oblačnosti a analyzovat a předpovídat počasí. Příkladem družice s geostacionární oběžnou dráhou je METEOSAT.



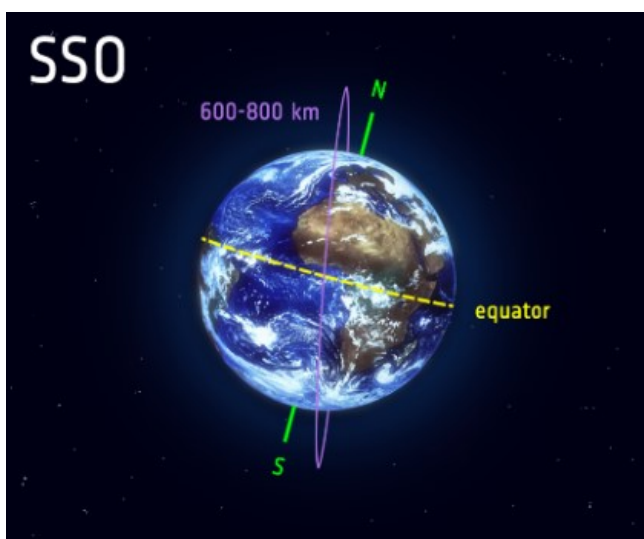
Obrázek 4 Geostacionární oběžná dráha (25)

Na nízké oběžné dráze (LEO) se nachází družice nebo kosmické lodi s lidskou posádkou (Obrázek 5). Výška oběhu je několik stovek kilometrů nad Zemí. Nízká oběžná dráha má relativně nízký sklon vzhledem k rovníku (30–60°), proto nelze snímat území ve větších zeměpisných šířkách. V české literatuře se objevuje pojem šikmá oběžná dráha. Na této oběžné dráze se nachází Mezinárodní vesmírná stanice (ISS).



Obrázek 5 Nízká oběžná dráha (25)

Většina družic se pohybuje na polární oběžné dráze neboli slunečně synchronní dráze (Obrázek 6). Jak název naznačuje, na této dráze se stejné území měří vždy za stejný místní čas. Takové dráhy se nachází 700–1000 km vysoko nad Zemí. Družice s velmi vysokým rozlišením (VHR) se nacházejí na cca 400 km vysoké oběžné dráze. Na polární oběžné dráze se nachází družice systému Landsat a Sentinel, družice SPOT a další (25).



Obrázek 6 Polární oběžná dráha (25)

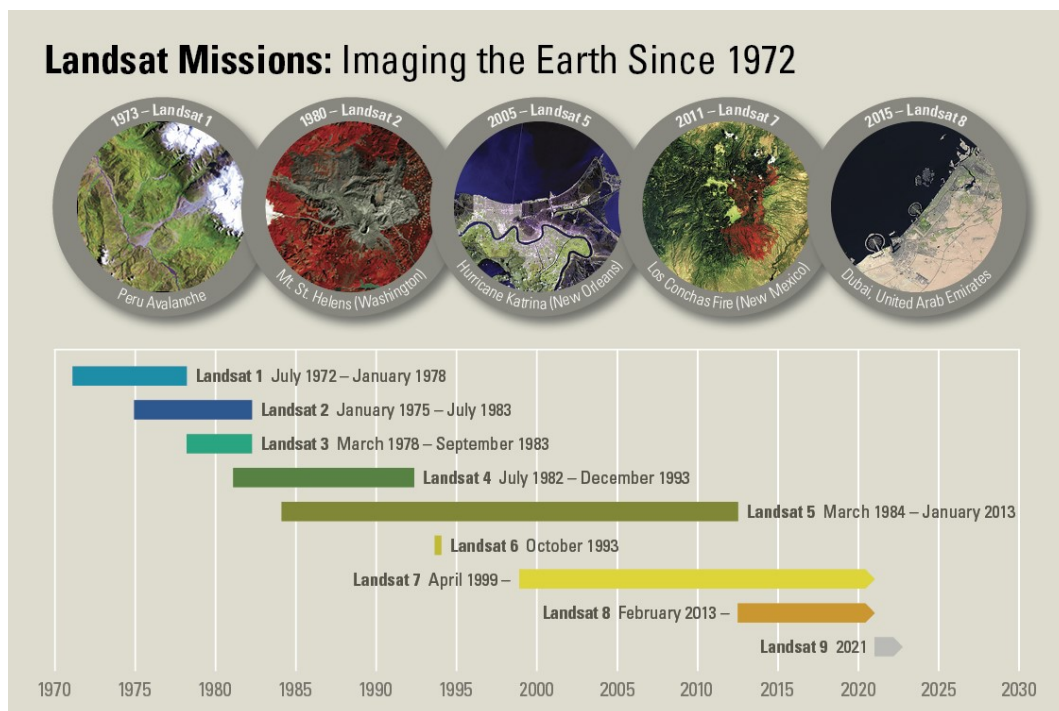
Obrazová a neobrazová data nejsou pořizována pouze jednotlivými družicemi, ale celými družicovými systémy. Za družicové systémy je označováno několik družic, které mají podobné parametry z hlediska kompatibility pořizovaných obrazových záznamů, z hlediska technických parametrů nosiče a z hlediska

parametrů snímacího zařízení (4). Družicové systémy často splňují více funkcí najednou, i přesto je lze dělit dle jejich primárního účelu (např. meteorologické, pro výzkum přírodních zdrojů aj.). Pro DPZ se využívají jak speciální družice, tak i pilotované lety, meteorologické družice a jiná kosmická zařízení prioritně určená k jiným účelům jako např. telekomunikační družice (26). Družicové systémy (a družice) lze rozdělit podle jejich převažujícího způsobu využití na 4 skupiny – meteorologické (např. METEOSAT, GEOS, NOAA, TIROS, CALIPSO), vojenské průzkumné (DISCOVEREVER, KOSMOS, HELIOS), družice pro DPZ (Landsat, Sentinel, EnViSAT, SPOT, IKONOS) a specializované pilotované kosmické lety se sběrem dat DPZ (Gemini 3 až 12, Apollo 9, SPACE SHUTTLE) (1). V článku aktualizovaném dne 14. června 2021 (27) je uveden seznam 50 satelitů s popisem jejich typů a způsobů použití. Podle dostupnosti dat lze družicové systémy rozdělit na družice, které poskytují otevřená data, a komerční satelity.

4.1 Družice poskytující otevřená data

4.1.1 Landsat

Landsat je společná mise NASA a US Geological Survey. Již od roku 1972 družice Landsat nepřetržitě pořizují vesmírné snímky zemského povrchu (Obrázek 7). Misi Landsat lze považovat za nejznámější a data pořizovaná jejími družicemi jsou nejčastěji používaná v DPZ. Jako první startovala družice označená Landsat 1, dále v letech 1975, 1978 a 1982 startovaly družice Landsat 2, Landsat 3 a Landsat 4. Družice Landsat 5, která startovala v roce 1984, poskytovala data o zemském povrchu po dobu skoro 29 let. Landsat 6 zhavaroval dříve, než dokázal dosáhnout oběžné dráhy v roce 1993. Landsat 7 byl úspěšně vypuštěn v roce 1999, Landsat 8 v roce 2013 a oba satelity jsou stále v provozu. Nejnovějším satelitem je Landsat 9, který startoval 27. září 2021 (28).



Obrázek 7 Časová osa misí Landsat (29)

Produkty Landsat jsou seřazeny do archivu tzv. kolekcí (Collection 1, Collection 2), kde se dále dělí na vrstvy (Tiers) podle míry předzpracování v rámci úrovní (Levels). Čerstvě získaná data jsou řazena do vrstvy Real-Time (RT) a jsou dostupná ke stažení do 12 hodin od pořízení. Po zpracování se data řadí do vrstvy Tier 1 (T1) nebo Tier 2 (T2). Vrstva T1 obsahuje data v nejvyšší dostupné kvalitě. Jsou to data, na která byly aplikovány radiometrické a geometrické korekce a jsou vhodná pro následné analýzy. Do vrstvy T2 se zařazují data, která nesplňují kritéria vrstvy T1 (např. data s výraznou oblačností). Označení vrstev (RT, T1, T2) se udává na konci názvu produktu Landsat (30).

Landsat Collection 1 zahrnuje data Level-1 z let 1972–2021 a je tvořena pomocí zařízení na družicích Landsat 8 (OLI/TIRS), Landsat 7 (ETM+), Landsat 4–5 (TM) a Landsat 1–5 (MSS). Data Landsat Level-1 jsou distribuována jako škálovaná a kalibrovaná digitální čísla (31). Landsat Collection 2 zahrnuje data úrovně 1 z Landsat 1–9, a vědecké produkty z Landsat 4–9. Collection 2 obsahuje produkty Level-2 povrchovou odrazivost a povrchovou teplotu (SR, ST), který jsou tvořeny pomocí Landsat 4–5 (TM), Landsat 7 (ETM+) a Landsat 8 (OLI/TIRS). Produkty úrovně 2 jsou generovány ze vstupů kolekce 2 úrovně 1. Kolekce 2 se liší od kolekce 1 lepší kvalitou zpracování dat. Konkrétně se jedná

o lepší geometrickou přesnost, vylepšené radiometrické korekce, aktualizaci digitálního modelu terénu a optimalizaci dat pro cloudová prostředí. Od 1. ledna 2022 se budou všechna nová data zpracovávat a následně ukládat pouze do kolekce 2 (32).

4.1.2 Sentinel

Družice Sentinel jsou družicemi celoevropského programu Copernicus, který se zaměřuje na pozorování Země (atmosféry, pevniny, moří a klimatu). Program poskytuje data založená na družicovém pozorování Země a také na měřeních z pozemních stanic, které disponují čidly umístěnými na zemi, ve vodě nebo ve vzduchu. Poskytované informační služby jsou uživatelům přístupné bezplatně a otevřeně. Celý program koordinuje a spravuje Evropská unie ve spolupráci s Evropskou kosmickou agenturou (ESA), Evropskou organizací pro využívání meteorologických družic (EUMETSAT), Evropským centrem pro střednědobé předpovědi počasí (ECMWF), dalšími agenturami EU a společností Mercator Ocean (33).

Současně má program Copernicus šest misí družic Sentinel. Každá z misí Sentinel 1 až 6 nese odlišný druh přístrojů na základě cílů konkrétní mise. Každá z misí je zpravidla tvořena dvěma samostatnými družicemi A a B, které nesou stejné přístroje, pohybují se na stejné oběžné dráze a jsou vůči sobě fázově posunuty o 180°. Díky tomu se snižuje interval snímání stejného území na polovinu.

Mise Sentinel-1 je tvořena dvěma satelity Sentinel-1A a Sentinel-1B. Družice této mise startovaly v letech 2014 a 2016. Satelitní konstelace je hlavním zdrojem informací o polárních oblastech. Mezi cíle mise patří například rutinní mapování mořského ledu, dohled nad mořským prostředím, včetně monitorování úniků ropy, detekce lodí pro námořní bezpečnost, mapování pro lesní, vodní a půdní hospodářství a monitorování klimatických změn. Po ukončení životnosti družic je v plánu vypustit náhradní satelity Sentinel-1C a Sentinel-1D (34).

Družice Sentinel-2 mají na své palubě senzor MSI (MultiSpectral Instrument), který navazuje na družice Landsat a SPOT. MSI funguje pasivně, prostřednictvím

sběru slunečního světla odraženého od Země, má šířku záběru 290 km a snímá celkem v 13 pásmech od viditelného po střední infračervené spektrum. Sentinel-2 poskytuje optické snímky s vysokým rozlišením pro pozemní služby, například snímky vegetace, půdy a vodního pokryvu, vnitrozemských vodních cest a pobřežních oblastí. Sentinel-2 také poskytuje informace pro záchranné služby. Dvojice satelitů Sentinel-2A a Sentinel-2B byla vypuštěna na oběžnou dráhu 22. června 2015 a 7. března 2017 (35).

Hlavním cílem mise Sentinel-3 je monitorování parametrů mořské hladiny a oceánů. Sentinel-3A byl vypuštěn na oběžnou dráhu v roce 2016 a Sentinel-3B v roce 2018 (36).

Mise Sentinel-4 má za úkol sledování složení zemské atmosféry. Primárním účelem je sledování hladiny stopových plynů a aerosolů ovlivňujících kvalitu ovzduší – ozonu (O_3), oxidu siřičitého (SO_2), oxidu dusičitého (NO_2), formaldehydu (HCHO) a dalších. Tyto informace mají sloužit příslušným oblastem politiky EU a ve prospěch evropských občanů. Přístroj Sentinel-4 bude umístěn jako Custom Furnished Item (CFI) na satelitu Meteosat Third Generation Sounder (MTG-S). Vypuštění MTG-S bylo naplánováno na rok 2023 (37).

Mise Sentinel-5 bude sloužit též k monitorování klimatu. Nepůjde o samostatnou družici, ale o přístroj, který bude umístěn na družici MetOp-SG (Meteorological Operational satellite programme – Second Generation). Vypuštění je plánováno na konec roku 2022. Sentinel-5 přispěje k nepřetržité a lepší dostupnosti meteorologických pozorování z polární oběžné dráhy a zvýší tak schopnost Evropy pro dlouhodobé monitorování klimatu (38). Mise Sentinel 5P je zaměřena primárně na monitorování atmosféry a sledování vývoje jejího chemického složení prostřednictvím monitoringu koncentrací plynů. P zde znamená Precursor, tedy „předchůdce“. Mise byla vyslána na oběžnou dráhu v roce 2017 jako náhrada za družici Envisat, a to do doby, než bude možné využívat data z budoucích misí Sentinel-4 a Sentinel-5 (39).

Mise satelitu Sentinel-6 Michael Freilich začala v roce 2020, kdy první ze dvojice satelitů Sentinel-6A byl vynesena na oběžnou dráhu raketou SpaceX Falcon 9. Jedná se o kolaborativní misi Copernicus a NASA ve spolupráci s Evropskou

komisí, ESA, EUMETSAT a Národním úřadem pro oceány a atmosféru (NOAA). Mise byla navržena, postavena a provozována evropskými organizacemi, zatímco NASA poskytla nosnou raketu a užitečné zatížení LRR, AMR-C a GNSS-RO. Primárním cílem mise je monitorování hladiny moří a oceánů. V plánu je vypustit na oběžnou dráhu identický satelit Sentinel-6B v roce 2025, aby bylo možné získávat stejná data až do roku 2030 (40, 41).

4.2 Komerční družice

4.2.1 SPOT

Družice řady SPOT (z francouzštiny „Satellite pour l'Observation de la Terre“ doslova – satelit pro pozorování Země) poskytují širokoúhlé optické snímky s vysokým rozlišením již od roku 1986. Družice má na starosti Francouzské národní středisko pro kosmická studia (CNES). Družice slouží primárně k monitorování vegetace, využití půdy a krajinného pokryvu a dopadů přírodních katastrof a nově také k pozorování humanitárních krizí. Družicový systém SPOT tvoří druhou nejdéle běžící kosmickou misi hned po Landsatu. Všechny družice SPOT poskytují snímky v panchromatických a multispektrálních pásmech se záběrem 60 km.

SPOT 1 byl vypuštěn na oběžnou dráhu Země 22. února 1986 a úspěšně fungoval až do listopadu 2003, kdy byl deorbitován. Družice dodávala širokoúhlé optické snímky s vysokým rozlišením, které byly použity pro monitorování zemských zdrojů, klimatologii, oceánografii, sledování lidských aktivit a přírodních jevů. SPOT 2 byl vypuštěn 22. ledna 1990 a úspěšně fungoval až do deorbitace v červenci 2009. Palubní přístroj HRV poskytoval širokoúhlé optické snímky s vysokým rozlišením. Družice SPOT 2, stejně jako všechny mise SPOT, se zaměřovala na poskytování širokoúhlých optických snímků s vysokým rozlišením. Satelit SPOT 3 byl vypuštěn 26. září 1993 a fungoval tři roky, než v listopadu 1996 zhavaroval. Družice SPOT 4 byla vypuštěna 24. března 1998 a fungovala až do vyřazení dne 29. června 2013. SPOT 5 byl vypuštěn 4. května 2002 a úspěšně fungoval až do března 2015. Družice nesla přístroje HRG a HRS, které pořizovaly stereopáry pro 3D modelování terénu. Satelit SPOT 5 měl za cíl zajistit zákazníkům kontinuitu služeb a zlepšit kvalitu dat poskytovaných předchozími misemi SPOT.

Družice SPOT 6 byla vypuštěna na oběžnou dráhu Země 9. září 2012 a později byla doplněná o družici SPOT 7. Družice jsou identické, nachází se ve stejné výšce na oběžné dráze Země a jsou vůči sobě fázově posunuty tak, aby kontinuálně poskytovaly data s vysokým rozlišením a širokým záběrem až do roku 2024. Družice snímají v panchromatickém pásmu s rozlišením 1,5 m, v multispektrálním pásmu s rozlišením 6 m. Všechny satelity SPOT mají dobu oběhu kolem země 26 dnů a poskytují snímky v panchromatických a multispektrálních pásmech s šířkou záběru 60 km.

Družice SPOT zaznamenaly největší světové záplavy, lesní požáry a jiné události způsobené člověkem. Například satelit SPOT 1 poskytl užitečné snímky vysoce kontaminované zóny již deset dní po jaderné katastrofě v Černobylu. V průběhu let rodina SPOT bedlivě dohlížela na novou infrastrukturu, dekontaminaci a znovuzalesňování uzavřené oblasti kolem Černobylské jaderné elektrárny (42, 43).

4.2.2 RADARSAT

Projekt RADARSAT je provozován Kanadskou vesmírnou agenturou (CSA). Program RADARSAT se skládá z dvojice družic DPZ RADARSAT-1 a RADARSAT-2. Družice RADARSAT-1 byla vypuštěná na oběžnou dráhu Země dne 4. listopadu 1995 a byla vyřazena z provozu dne 29. března 2013. Družice RADARSAT-2 byla vypuštěna 14. prosince 2007 a stále je v provozu.

Satelit RADARSAT-1 se stal prvním kanadským komerčním satelitem používaným k monitorování přírodních zdrojů Země a pozorování změn životního prostředí. Družice byla vybavena radarem se syntetickou aperturou (SAR), s jehož pomocí je možné pořizovat snímky Země ve vysokém rozlišení, ve dne i v noci, za jakýchkoliv atmosférických podmínek, jako je oblačnost, déšť, sníh, prach nebo mlha. Stejný radar je umístěn na palubě družice RADARSAT-2.

RADARSAT-2 poskytuje datovou kontinuitu s daty satelitu RADARSAT-1 a plní širokou škálu aplikací mezi které patří monitoring mořského ledu a trasování lodí, detekce ledovců, monitorování stavu půdy a zemědělských plodin, geologické mapování, topografické mapování. Cílem misí RADARSAT je poskytování užitečných informací komerčním i vědeckým uživatelům v oblastech jako je

krizového řízení, interferometrie, zemědělství, kartografie, hydrologie, lesnictví, oceánografie a další.

RADARSAT Constellation Mission (RCM) je nová generace kanadských družic pro DPZ navazující na svého předchůdce RADARSAT-2. Mise se skládá ze tří identických satelitů, které kromě SAR nesou také automatický identifikační systém (AIS) pro účely plavební správy. Tyto satelity, které obíhají Zemi po stejné oběžné dráze v intervalech přibližně 30 minut od sebe, zajistí úplné pokrytí Arktidy čtyřikrát až šestkrát denně a celé Kanady alespoň jednou denně. Družice mise RCM byly vyneseny na oběžnou dráhu na palubě rakety SpaceX Falcon 12. června 2019 (44, 45).

5 Digitální zpracování obrazových dat DPZ

Dříve převládaly konvenční metody DPZ. S rozvojem kosmického segmentu a počítačové techniky na významu nabývaly nekonvenční metody snímání zemského povrchu. Začaly se více uplatňovat digitální metody zpracování družicových záznamů (46). Proces digitálního zpracování obrazových dat zahrnuje čtyři základní operace – předzpracování (rektifikace a restaurace dat), zvýraznění obrazu, klasifikace a postklasifikační úpravy.

5.1 Předzpracování

Předzpracování se provádí na surových datech za účelem opravy chyb, které vznikly v procesu pořizování. Jde o geometrické zkreslení, radiometrické kalibrace a eliminaci šumu. Při rektifikaci dochází k opravám polohových chyb, tedy ke geometrickým korekcím a georeferencování. Zdrojem takového zkreslení je změna výšky, polohy a rychlosti nosiče, zakřivení Země a výškové změny reliéfu. Geometrické chyby lze rozdělit na předvídatelné (systematické) a nepředvídatelné (náhodné). Geometrické korekce slouží například k transformaci obrazových dat do určité mapové projekce.

Pomocí restaurace se opravují radiometrické chyby čili naměřené hodnoty. Pro výpočet radiometrické korekce neexistuje přesný výpočetní postup, protože během získávání dat se používají různá zařízení, která jsou neustále v pohybu, provádí se měření v různých vlnových délkách a také požadavky na přesnost jsou proměnlivé. Běžně radiometrická korekce zahrnuje opravy dané kalibrací přístrojů, opravy ze změny ozáření, opravy vyplývající z geometrie letu a opravy ze stavu atmosféry (3).

5.2 Zvýraznění

Zvýrazněním obrazu dojde k jeho vylepšení pro další vizuální interpretaci. Mezi používané metody patří manipulace s úrovní šedi, roztažení kontrastu, prostorové úpravy pomocí filtrů, výpočet vegetačního indexu, metoda hlavních komponent nebo transformace a jednoduché matematické operace (3).

Cílem zvýraznění obrazu je zvýšení množství informace, které lze ze snímku získat. Je to důležitý krok pro vizuální vyhodnocení snímku, protože lidské oko špatně rozlišuje nepatrné rozdíly v radiometrickém a spektrálním chování jevu. Digitální zvýraznění obrazu lze rozdělit na bodové zvýraznění (radiometrické), prostorové zvýraznění a spektrální zvýraznění (4).

5.3 Klasifikace

Klasifikace je proces, při němž je získán obrazový soubor, ve kterém je v každém pixelu uložená digitální hodnota udávající jeho zařazení do předem zvolené tematické třídy. Uživatel tak získává jednoznačnou informaci o tom, co plocha zobrazená daným pixelem představuje (3).

Vývoj způsobů klasifikace závisel na dostupných datech. Jako první ke klasifikaci rastrových dat získaných z družice Landsat byla použita neřízená klasifikace. Později byla vytvořena řízená klasifikace, která uživatelům umožnila větší kontrolu nad vytvořenými skupinami. Metody klasifikace se dělí na řízenou a neřízenou. Pro každou pak lze provést buď klasifikaci na základě pixelu nebo objektu (47).

5.3.1 Řízená klasifikace

Při tomto způsobu klasifikace uživatel sám zadává tzv. trénovací plochy pro jednotlivé třídy. Z toho vyplývá, že uživatel musí disponovat podkladovými informacemi, na základě kterých bude rozhodovat o třídách. Trénovací data musí být spektrálně čistá. Na základě definovaných trénovacích ploch se provede klasifikace. Trénovací soubor musí být oddělitelný, kompletní a reprezentativní. Oddělitelnost znamená, že definované třídy je možné od sebe separovat. Kompletnost znamená, že každá třída je reprezentovaná větším množstvím trénovacích ploch, které se nachází v různých částech snímku. Reprezentativnost znamená, že hledané třídy by měli být zastoupeny částmi obrazu, které jsou pro danou třídu typické. Obecně se doporučuje pro jednu třídu využít spíše menší plochy z různých míst než jednu velkou. Tím se právě získává reprezentativnější přehled. Spolehlivost volby trénovacích množin lze

zkontrolovat graficky (histogram, graf koincidence nebo rozptylogram) nebo numericky (výpočet míry statistické separability, kontingenční tabulka).

Mezi způsoby řízené klasifikace patří klasifikátor maximální pravděpodobnosti (*maximum likelihood classifier*), Bayesovo kritérium (*Bayesian's method*), klasifikátor minimální vzdálenosti (*minimum distance classifier*) a klasifikátor rovnoběžnosti (*parallelepiped classifier*) (3).

Celý proces řízené klasifikace lze shrnout do následujících kroků (4).

1. Definování tzv. trénovacích ploch
2. Výpočet statistických charakteristik (tzv. spektrálních příznaků) pro trénovací plochy popisující jednotlivé třídy, jejich editace a výběr vhodných pásem pro vlastní klasifikaci
3. Volba vhodného rozhodovacího pravidla (tzv. klasifikátoru) pro zařazení všech prvků obrazu (pixelů) do jednotlivých tříd
4. Zatřídění všech obrazových prvků do vymezených tříd
5. Úprava, hodnocení a prezentace výsledků klasifikace.

5.3.2 Neřízená klasifikace

Při neřízené klasifikaci nejsou vybírány trénovací plochy, ale jsou automaticky vytvářeny shluky pixelů na základě vzájemné podobnosti hodnot (spektrálních charakteristik). Tyto shluky pak tvoří konečné třídy. K běžně používaným metodám shlukové analýzy patří klasifikátory k-means a ISODATA (3).

Interpretovat, který krajinný pokryv popisuje shluky, lze prostřednictvím vizuálního hodnocení. Nicméně shluková analýza má jak výhody, tak i omezení. Mezi výhody patří, že uživatel nemusí specifikovat trénovací plochy, počet tříd je odvozen od spektrálních charakteristik vstupního rastru a vysoká rychlost zpracování. Na druhou stranu výsledek shlukové analýzy může být obtížně interpretovatelný a identifikace nalezených tříd vyžaduje ruční zpracování (48).

Princip neřízené klasifikace lze shrnout do následujících kroků dle Dobrovolného (4):

1. Definování počtu výsledných shluků (minimum – maximum)

2. Generování počáteční polohy centroidu pro každý shluk
3. Postupné přiřazení všech pixelů k tomu shluku, k němuž mají v příznakovém prostoru nejbližší
4. Výpočet nového centroidu pro každý shluk na základě všech přiřazených pixelů
5. Opakování kroku 3 a 4 do té doby, dokud se poloha shluku či počet pixelů zařazených do shluku výrazně nemění, případně je dosaženo maximálního počtu opakování
6. Přiřazení konkrétního významu každé spektrální třídě tzv. stabilnímu shluku
7. Vytvoření informačních tříd spojováním tříd spektrálních.

5.3.3 Hybridní klasifikace

Pojem hybridní klasifikace znamená, že výsledky neřízené klasifikace byly použity jako vstupní trénovací množina pro klasifikaci řízenou (3).

5.3.4 Pixelově orientovaná klasifikace

Tento tradiční typ klasifikace bere v úvahu každý pixel samostatně a nezohledňuje žádné sousední pixely. Metoda klasifikace na základě pixelů se používá jak u řízené, tak i u neřízené klasifikace obrazu. V případě řízené klasifikace data v trénovacích množinách budou obsahovat rozsahy hodnot pixelů, které se použijí při klasifikaci každého pixelu. V rámci klasifikace není zohledněna prostorová poloha pixelu. V případě řízené klasifikace by tréninkové vzorky měly být co nejvíc spektrálně čisté pro dosažení nejlepších výsledků klasifikace. Metody řízené a neřízené klasifikace fungují dobře s pixelově orientovaným typem klasifikace, za předpokladu, že existuje dostatek tréninkových tříd pro zohlednění všech spektrálních hodnot vyskytujících se v rastru.

5.3.5 Objektově orientovaná klasifikace

Na rozdíl od metody klasifikace na základě pixelů, která klasifikuje jednotlivé pixely přímo, klasifikace na základě objektů nejprve agreguje pixely obrázku do spektrálně homogenních objektů pomocí algoritmu segmentace obrázku a poté klasifikuje jednotlivé objekty. Na jedné straně má objektový přístup oproti

pixelovému přístupu výhody v tom, že za prvé, změna klasifikačních jednotek z pixelů na obrazové objekty snižuje spektrální variace v rámci třídy a obecně odstraňuje tzv. efekt „sůl a pepř“, který je typický pro klasifikaci založenou na pixelech. Za druhé, velký soubor znaků charakterizujících prostorové, texturní a kontextové vlastnosti objektů lze odvodit jako doplňkové informace k přímým spektrálním pozorováním, aby se potenciálně zlepšila přesnost klasifikace. Na druhou stranu má objektový přístup s ohledem na tyto dva aspekty svá vlastní omezení.

V segmentaci obrazu často existují dva typy chyb – nadměrná segmentace a podsegmentace. Podsegmentace vede k tomu, že objekty obrázku pokrývají více než jednu třídu, což způsobuje chyby klasifikace, protože všechny pixely v každém objektu smíšeného obrázku musí být přiřazeny stejné třídě. Nadměrná nebo nedostatečná segmentace nereprezentuje vlastnosti skutečných objektů na zemském povrchu (např. tvar a oblast), takže nemusí být užitečné a mohou dokonce snížit přesnost klasifikace, pokud není zvolena vhodně. Proto je konečný výkon klasifikace na základě objektů určován pozitivními i negativními vlivy v důsledku použití objektů obrazu jako klasifikačních jednotek a přidáním vlastností objektů do klasifikace (49).

Ke specifikaci objektů podle spektrálních a prostorových charakteristik je nutný vstup uživatele. Objektově orientovaná metoda je navržena pro práci s rastrovými daty s jemným rozlišením, proto tréninkové vzorky mohou využít všechny sousední pixelové hodnoty potřebné k identifikaci objektu (47).

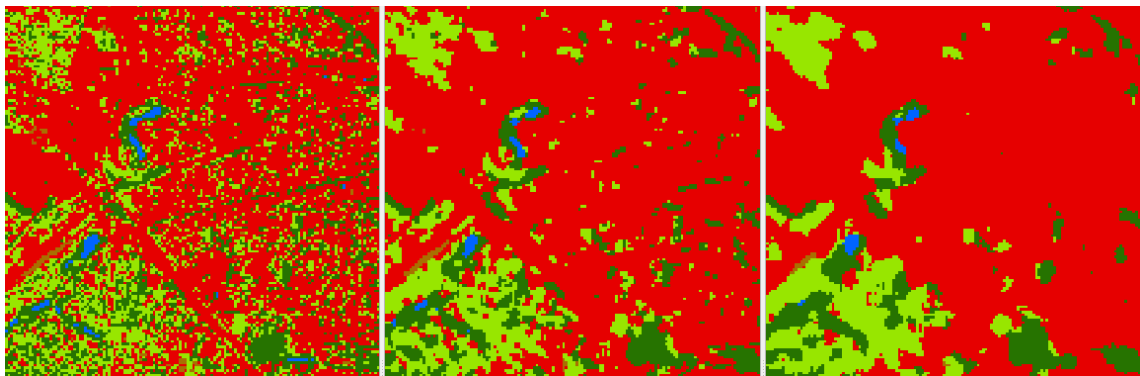
5.3.6 Strojové učení

Metoda „deep learning“, v překladu hluboké učení, je technika strojového učení, která učí počítače dělat to, co je pro lidi přirozené: učit se na příkladech. Při hlubokém učení se počítačový model učí provádět klasifikační úkoly přímo z obrázků (např. identifikace prvků a tříd krajinného pokryvu). Modely hlubokého učení mohou dosahovat nejmodernější přesnosti, někdy převyšující výkon na lidské úrovni. Modely jsou trénovány pomocí velké sady označených dat a architektur neuronových sítí, které obsahují mnoho vrstev (50). Hluboké učení je disciplína v rámci strojového učení, která je založená na algoritmech především neuronových sítí s velkým počtem vrstev reprezentujících data.

Hluboké učení může být řízené, částečně řízené nebo neřízené (51). Tato klasifikační technika je vhodná pro rastry s jemným rozlišením, kde prvky jsou vizuálně identifikovatelné (47).

5.4 Postklasifikační úpravy

Po klasifikaci data mají často vzhled tzv. „pepř a sůl“, který je důsledkem pixelově orientované klasifikace. Tento výsledek není vhodný z hlediska reprezentace výsledků. Klasifikace snímku může být považována za dokončenou, když jsou provedeny všechny postklasifikační úpravy. Cílem těchto úprav je především vyhlazení klasifikovaného obrazu. K tomu může sloužit např. nízkofrekvenční filtr založený na logickém operátoru. Mezi takové filtry patří například majoritní filtr (Obrázek 8) a síťový filtr (3).



Obrázek 8 Majoritní filtr (vlevo – původní klasifikace, uprostřed – filtrační okno 3×3 , vpravo – filtrační okno 5×5) (52)

Dále je vhodné zhodnotit přesnost klasifikace, tzn. porovnat klasifikovaný obraz s realitou (např. družicovým snímkem, ortofotem, GPS daty) pomocí statistického odhadu přesnosti klasifikace, např. prostřednictvím náhodně vygenerovaného vzorku pixelů.

5.5 Odhad přesnosti klasifikace

Porovnání celého klasifikovaného obrazu se skutečným územím je finančně a časově náročné, proto se používají statistické odhady přesnosti klasifikace, např. pomocí náhodně vygenerovaného vzorku pixelů. Náhodně vybrané testovací pixely musí být geograficky reprezentativní. Je nutné vybírat data z prostředku homogenních ploch, a ne okrajů (3).

5.5.1 Kontrolní body

Existuje několik způsobů, jak vygenerovat náhodné body pro zhodnocení výsledku klasifikace tzv. kontrolní body. Nejjednodušším způsobem je vygenerovat soubor náhodných bodů (*Simple random*) dle zadaného počtu v celé ploše klasifikovaného snímku. Nevýhodou je ovšem to, že některé části území mohou být pokryté body hustě a jiné pouze zřídka. Další možností je pokrýt celé území kontrolními body rovnoměrně (*Simple systematic*) v podobě pravidelné mřížky. I zde mohou nastávat stejné problémy jako u náhodného generování kontrolních bodů. Tento problém řeší stratifikovaný náhodný soubor bodů (*Stratified random*), kde body jsou generovány poměrově pro každou třídu podle toho, jak je třída zastoupena v daném území. V praxi se body generují nad výslednou klasifikací a následně se těmto bodům přiřazuje na základě terénního průzkumu nebo podkladových dat jejich reálná třída. Pro zhodnocení klasifikace rozlehlých nebo špatně dostupných území se používá dvoufázový shlukový soubor (*2-Stage Clustered*), ve kterém jsou vybrána menší území, pro která jsou dostupná další podkladová data a která pokrývají všechny zastoupené třídy. V rámci těchto menších ploch jsou pak body náhodně generovány s pomocí některé z výše zmíněných možností (5).

Počet kontrolních bodů by měl být minimálně 50 pro každou třídu krajinného pokryvu, avšak pro rozlehlější území (více než 100 km²) a pro území, ve kterém se vyskytuje více než 12 tříd krajinného pokryvu, by měl být počet těchto bodů pro každou třídu navýšen na 75 až 100. Počty bodů pro každou třídu lze však přizpůsobovat i podle důležitosti a četnosti výskytu těchto tříd v klasifikovaném území (5).

5.5.2 Chybová matice

Pro posouzení výsledků klasifikace se nejčastěji používá matice chyb, někdy také označovaná jako kontingenční tabulka, která udává vztah mezi počty pixelů, které jsou členy referenčních tříd, a pixelů klasifikovaných do těchto tříd (3).

Matice chyb je vždy čtvercová a obsahuje tolik řádků a tolik sloupců, kolik tříd obsahuje posuzovaná klasifikace. Řádky vždy tvořeny klasifikovanými daty a její sloupce daty, která odpovídají skutečnosti. Data správně klasifikovaná, odpovídající skutečnému zemskému pokryvu, se nachází na hlavní diagonále

jdoucí z levého horního rohu do rohu pravého dolního. Všechny ostatní hodnoty mimo hlavní diagonálu jsou chyby, a to buď chyby z opomenutí (omission) či chyby z nesprávného zařazení (commision). Chyby z opomenutí korespondují s hodnotami ve sloupcích mimo hlavní diagonálu – je to počet pixelů, které jsou ve skutečnosti určitou třídou, avšak v klasifikaci byly zařazeny do tříd jiných. Chyby z nesprávného zařazení korespondují s hodnotami v řádcích mimo hlavní diagonálu – je to počet pixelů, které byly zařazeny do určité třídy, ale ve skutečnosti reprezentují třídy jiné. V ideálním případě by diagonála měla být tvořena nejvyššími hodnotami v tabulce a hodnoty mimo ni by měly být nulové (5).

5.5.3 Uživatelská, zpracovatelská a celková přesnost

Dalšími kritérii přesnosti, které vychází z chybové matice, jsou uživatelská, zpracovatelská a celková přesnost.

Uživatelská přesnost (*User's Accuracy*) udává, s jakou pravděpodobností pixel zařazený do určité třídy tuto třídu doopravdy představuje. Počítá se pro každou třídu zvlášť, jako podíl správně klasifikovaných pixelů (hodnota na hlavní diagonále) ku počtu pixelů, které do této kategorie byly zařazeny (suma v řádku odpovídajícímu posuzované třídě). Zpracovatelská přesnost (*Producer's Accuracy*) je poměr mezi správně klasifikovanými pixely (opět hodnota na hlavní diagonále) a pixely použitými pro testování dané třídy (suma ve sloupci, tj. celkový počet pixelů trénovacích ploch dané třídy či počet bodů použitých pro testování dané třídy). Přesnost celková (*Overall Accuracy*) se udává pro celou klasifikaci. Počítá se jako podíl všech správně klasifikovaných pixelů (suma hodnot na hlavní diagonále) ku celkovému počtu klasifikovaných pixelů (5).

5.5.4 Kappa koeficient

Jinou míru přesnosti udává Cohenův koeficient kappa, označovaný také kappa index. Tento koeficient porovnává přesnost provedené klasifikace (určené z chybové matice) s přesností dosažitelnou čistě náhodným zařazením pixelů do jednotlivých tříd. Hodnota koeficientu Kappa se může pohybovat v rozmezí hodnot nula až jedna (**Tabulka 1**). Hodnota 0,75 by znamenala, že při dané klasifikaci bychom se vyhnuli 75 % chyb, které by vznikly při čistě náhodném zařazování pixelů do jednotlivých tříd (3).

Tabulka 1 Interpretace hodnot Kappa indexu (53)

Hodnota Kappa indexu	Míra shody
0–0,20	Žádná
0,21–0,39	Velmi nízká
0,40–0,59	Nízká
0,60–0,79	Mírná
0,80–0,90	Dobrá
Vyšší než 0,90	Téměř výborná

6 Nástroje pro zpracování dat DPZ

V současné době existuje pestrá škála softwarových produktů pro zpracování obrazových dat, konkrétně družicových snímků. Nejtypičtější formou softwaru je tzv. desktopový, kde aplikace musí být instalovaná na harddisk počítače. S nárůstem požadavků na výpočetní výkon se stále častěji objevuje pojem „cloudová služba“ či „cloudový software“. Samotný termín „cloud“ se používá zejména v posledních letech, a to nejčastěji v souvislosti s ukládáním dat nebo vzdáleným přístupem k výpočetnímu výkonu.

V této kapitole je uveden přehled některých softwarů vhodných pro zpracování a analýzu obrazových dat.

6.1 Komerční software

6.1.1 ArcGIS Desktop

ArcGIS Desktop je základní platformou v oblasti GIS, kterou nabízí společnost ESRI. Jedná se o největšího mezinárodního výrobce GIS softwaru se sídlem v Kalifornii. Společnost ESRI (Environmental Systems Research Institute) vznikla v roce 1969 a původně působila jako poradenská firma ve využívání půdy. V současné době se ESRI věnuje výhradně geografickým informačním systémům. ArcGIS Desktop obsahuje mimo jiné dva základní softwary pro mapování a vizualizaci – ArcMap a ArcGIS Pro (54).

ArcMap je primární aplikací používanou v ArcGIS Desktop pro mapování, editaci, analýzu a správu dat. Pomocí ArcMap lze zkoumat a vizualizovat geodata. Aplikace obsahuje řadu nástrojů pro tvorbu symbologií, umožňuje práci s kompozičními prvky mapy, a tak připravovat mapy pro tisk a publikaci (55).

ArcGIS Pro je jednou z nejmodernějších aplikací pro tvorbu a práci s prostorovými daty. Poskytuje nástroje pro vizualizaci, analýzu, kompilaci a sdílení dat ve 2D i 3D prostředí. Právě licenční úroveň Pro umožňuje uživatelům mimo jiné používat taková rozšíření, jako je 3D Analyst, Spatial Analyst a Geostatistical Analyst.

Oba softwary mají grafické uživatelské rozhraní a také umožňují používat tzv. ModelBuilder, který poskytuje grafické prostředí pro automatizaci úloh bez nutnosti programování. Programy lze instalovat primárně na počítače s operačním systémem Windows. Nicméně lze ArcGIS Pro spustit pomocí virtuálního stroje (*virtual machine*) i na jiných operačních systémech, např. Mac OS.

Mapové projekty vytvořené v ArcMap se ukládají jako soubory s příponou .mxd, tzv. mapový dokument. Uživatel musí dát pozor na to, že tento soubor ukládá pouze relativní názvy cest, a proto pro korektní práci musí data použitá v mapě zůstat na stejném místě jako při předchozím otevření. Na první pohled se to může zdát nepraktické, ale takový přístup umožňuje udržet malou velikost souboru a snižuje množství redundance při správě dat (56).

V ArcGIS Pro se veškerá práce (mapy, rozšíření, data, tabulky, nástroje a další) ukládá ve formě projektu do souboru s příponou .aprx. Projekt má také vlastní geodatabázi (soubor .gdb) a vlastní toolbox (soubor .tbx) (57).

Vzhledem k tomu, že společnost ESRI neplánuje dále vydávat nové verze ArcMap, poslední aktuální verzí je ArcMap 10.8.1. Software bude podporován do 1. března 2026. Veškerá úsilí společnost klade na vývoj ArcGIS Pro. Lze předpokládat, že v brzké budoucnosti bude program ArcGIS Pro středobodem produktové řady ESRI (58).

Oficiálním dodavatelem produktů firem ESRI a ENVI v ČR je společnost Arcdata Praha, která nabízí také profesionální školení, poskytuje geografická data a pořádá GIS konference pro uživatele (59). ČVUT vlastní licenci na software ArcGIS, proto je hojně používán během výuky.

6.1.2 ENVI

ENVI je dalším programovým prostředkem pro analýzu a zpracování dat DPZ. Tento software patří americké společnosti Harris Geospatial Solutions, Inc. ENVI podporuje velkou řadu dat včetně multispektrálních, hyperspektrálních, termálních, LiDAR či SAR a obsahuje automatizované pracovní postupy, které uživatelům pomáhají snadno a přesně získávat informace ze všech typů

geoprostorových dat. Během práce lze využívat tzv. Modeler, který je vizuálním programovacím nástrojem a umožňuje uživateli snadno vytvářet vlastní pracovní postupy zpracování obrazu. ENVI je těsně integrovaný s platformou ArcGIS společnosti Esri, například pracovní postupy vytvořené v ENVI Modeler lze spouštět v ArcGIS Pro. Pro zpracování dat souběžně nebo na pozadí lze využít ENVI Server, který je zdarma pro každého, kdo vlastní licenci na desktopový software ENVI. Také je tu možnost zpracování velkého množství dat v cloudu (60).

6.1.3 ERDAS IMAGINE

ERDAS IMAGINE je rastrový grafický editor a zároveň aplikace pro dálkový průzkum Země. Je to sada nástrojů, která uživateli umožňuje provádět četné operace s obrazovými daty a generovat odpovědi na konkrétní geografické otázky. Software umožňuje zpracovávat panchromatické, multispektrální a hyperspektrální snímky, radarová a LiDAR data. Původně ERDAS IMAGINE patřil americké společnosti Intergraph Corporation, kterou v roce 2010 zakoupila švédská firma Hexagon (61).

6.2 Software s otevřeným kódem

6.2.1 GRASS GIS

GRASS je označení (abreviatura) pro Geographic Resources Analysis Support System. GRASS GIS je geografický informační systém používaný pro správu a analýzu geoprostorových dat, zpracování obrazových dat, produkci mapových výstupů, prostorové modelování a vizualizaci dat. GRASS je v současnosti používán v akademickém i komerčním prostředí po celém světě, včetně vládních agentur a konzultačních společností v oboru životního prostředí. GRASS GIS je projektem Open Source Geospatial Foundation (62).

6.2.2 QGIS

QGIS (Quantum GIS) je open source GIS publikovaný pod všeobecnou licenci GNU GPL. Projekt QGIS vznikl v roce 2002. První verze vyšla v roce 2009. GNU GPL je licence založená na konceptu svobodného softwaru – umožňuje

modifikaci zdrojového kódu a jeho následné šíření, ale také nebrání použití softwaru pro komerční účely. QGIS se rychle a pravidelně vyvíjí, publikují se nové verze. QGIS je multiplatformní software, tzn. lze jej užívat na operačních systémech jako Linux, Unix, Mac OS X, MS Windows a Android. QGIS je mocným nástrojem, který umožňuje vizualizovat, editovat a analyzovat data a také obsahuje velké množství tzv. zásuvných modulů (pluginů), které rozšiřují funkcionalitu softwaru. V QGIS lze také vytvářet mapy se všemi kartografickými náležitostmi. Software podporuje řadu vektorových, rastrových a databázových formátů a funkcí. Díky volné dostupnosti, minimálním požadavkům na hardware a přátelskému (snadno použitelnému) GUI rozhraní je populárním softwarem mezi uživateli v oboru GIS. QGIS je dalším softwarem v řadě, který se hojně využívá během výuky na ČVUT FSv ve studijním oboru Geodézie a kartografie (63).

QGIS je sesterským projektem GRASS GIS. Zatímco GRASS GIS se zaměřuje více na zpracování a analýzu dat, QGIS se zaměřuje zejména na kartografii a tvorbu map. Vzájemně se dobře doplňují (64).

6.3 Cloudový software

6.3.1 ArcGIS Online

ArcGIS Online je cloudový software společnosti ESRI pro vytváření a sdílení interaktivních webových map. ArcGIS Online umožňuje kromě tvorby map také analyzovat data a pracovat s nimi. ArcGIS Online funguje na jakémkoliv zařízení s připojením k internetu díky modelu SaaS „software jako služba“ a také umožňuje spolupráci na projektu více uživatelům najednou (65).

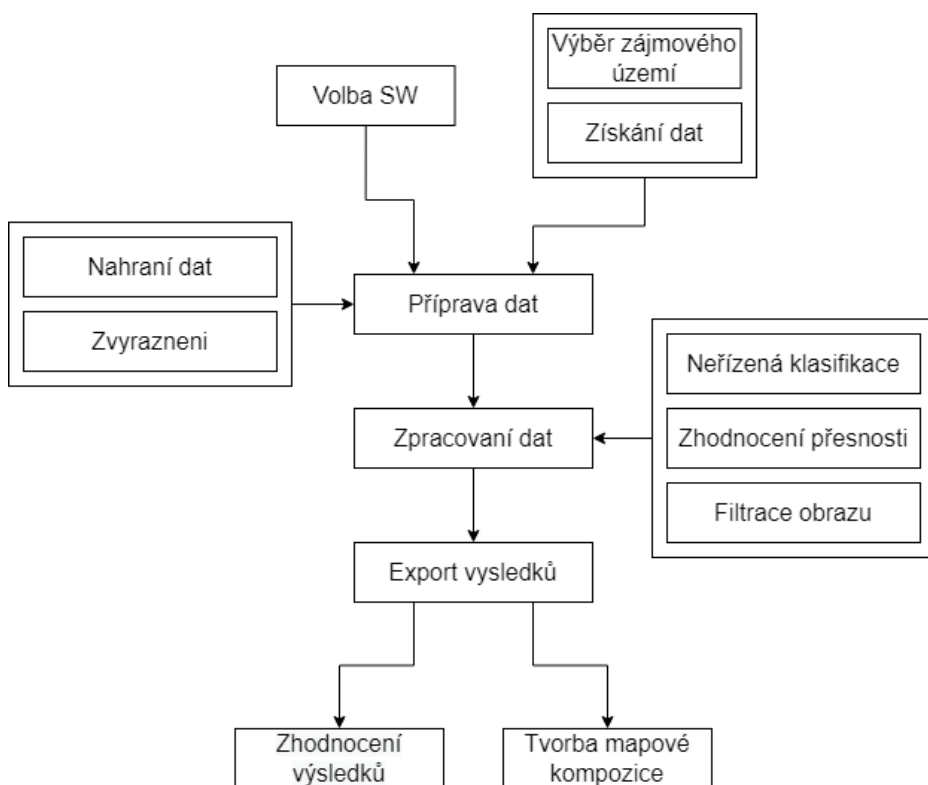
6.3.2 Google Earth Engine

Google Earth Engine (GEE) je cloudovou platformou pro analýzu a vizualizaci souborů geoprostorových dat a zároveň mnohopetabajtovým katalogem satelitních snímků a geoprostorových datových souborů. EE rozmisťuje satelitní snímky a ukládá je do veřejného archivu, kde je možné nalézt snímky staré více než 40 let. Analýza velkých datových sad je možná díky rozhraní API a dalším nástrojům umožňujícím analýzu velkých datových sad. EE je zdarma pro výzkum,

vzdělávání a neziskové použití. Produkt se nachází ve fázi vývoje pro komerční účely a nesmí být použit pro trvalé komerční účely bez komerční licence. V další kapitole bude podrobně popsán úvod do EE, uživatelské rozhraní datové sady a základní operace (66).

7 Metodika

Práce začíná výběrem dvojice softwarů, volbou zájmového území a sběrem dat. Dále proběhla příprava dat, která zahrnovala nahrání dat do programového prostředí, aplikaci barevných syntéz na data a zvýraznění obrazu pro lepší vizuální interpretaci. Pak následovalo samotné zpracování, v rámci kterého byla data zpracovaná metodou pixelově orientované neřízené klasifikace, vyhlazení obrazu pomocí filtrace a zhodnocení přesnosti. Nakonec proběhl export výsledků a byly vytvořeny mapové kompozice. Pracovní postupy byly porovnány napříč softwarovými produkty. Proběhlo zhodnocení výsledků (Obrázek 9).



Obrázek 9 Metodické pokyny pro práci s daty

7.1 Volba SW

Pro zpracování dat byla využita dvojice softwarových nástrojů – ArcGIS Pro a Google Earth Engine. Program ArcGIS Pro je zástupcem desktopového softwaru a prostředí, se kterým studenti příslušného oboru běžně přichází do styku. Fakulta na tento software vlastní licenci. Nástroj Google Earth Engine

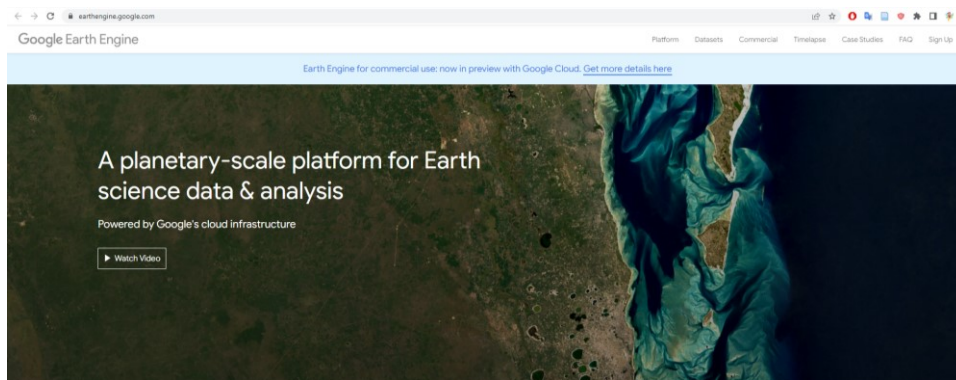
reprezentuje cloudový software a je zcela novým prostředím pro práci s obrazovými daty (Obrázek 10).



Obrázek 10 Loga (vlevo – Google Earth Engine, vpravo – ArcGis Pro) (67, 68)

7.2 Úvod do Google Earth Engine

Před zahájením práce je nutné se zaregistrovat na stránkách <https://earthengine.google.com/> (Obrázek 11). Tlačítko pro přihlášení se nachází v pravém horním rohu. Pro registraci není nutné mít uživatelský účet Google, lze se přihlásit pomocí jakékoliv e-mailové adresy, např. školní. Ve formuláři je potřeba vyplnit všechny povinné údaje. Schválení může trvat několik hodin až týden po odeslání formuláře.



Meet Earth Engine

Google Earth Engine combines a multi-petabyte catalog of satellite imagery and geospatial datasets with planetary-scale analysis capabilities. Scientists, researchers, and developers use Earth Engine to detect changes, map trends, and quantify differences on the Earth's surface. Earth Engine is now available for commercial use, and remains free for academic and research use.

Obrázek 11 Úvodní stránka GEE (69)

Po přihlášení uživatel získává přístup k uživatelskému rozhraní, stejně jako k uživatelské příručce, výukovým programům, příkladům, školicím videím, referenčním funkcím a vzdělávacím osnovám. Hotové výpočty a jakékoliv vstupy a výstupy lze stáhnout pro použití offline.

Práce v GEE probíhá prostřednictvím rozhraní pro programování aplikací (API) a souvisejícího vývojového prostředí (IDE) nazývaného editor kódu (*Code*

Editor), které umožňuje rychlou vizualizaci výsledků. Uživatel vytváří scénáře zpracování dat pomocí jazyka JavaScript. Stejně tak je možné použít Python API, např. na lokálním počítači, avšak pro začátečníky se to nedoporučuje. Výpočty v obou případech probíhají na serverech Google.

Katalog dat obsahuje velké úložiště veřejně přístupných souborů geoprostorových dat (družicové a letecké snímky pořízené v různých rozsazích elektromagnetického spektra, modely předpovědí počasí a klimatických změn, mapy krajinného pokryvu, topografické a socioekonomické datové sady, různé parametry prostředí, např. vlhkost půdy nebo tepelné záření které emituje Země) a zároveň nabízí možnost analyzovat svá vlastní data pomocí knihovny operátorů poskytované rozhraním Earth Engine API.

Ke spuštění skriptu není nutné instalovat žádný software, stačí webový prohlížeč a připojení k internetu. Princip práce je takový, že skripty vytvořené v editoru kódu se odesílají na server Googlu, kde se zpracovávají, následně pak vzniklé mapové dlaždice se odesílají zpět a zobrazují se uživateli v mapovém okně.

V okně **Code editor** se zadává kód v jazyce JavaScript. Vestavené pomocné funkce formátují a zvýrazňují kód během psaní. Podtrhávají chybný kód a nabízí opravy a další rady pro správnou syntaxi. Automaticky se doplňují dvojice uvozovek, hranatých a kulatých závorek. Na liště, která se nachází nad editorem kódu, jsou umístěna tlačítka pro spuštění skriptu **Run**, uložení skriptu **Save**, resetování výstupní mapy a konzoly **Reset** a získání odkazu na skript **Get Link**. Po stisknutí tlačítka Get Link v adresním řádku prohlížeče se objeví unikátní odkaz. Tlačítko **Apps** umožňuje publikaci aplikace z editoru kódu.

Na levé straně editoru kódu se nachází karta **Docs**, která obsahuje kompletní dokumentaci pro API JavaScript.

Karta **Scripts** umožňuje ukládat soukromé sdílené a vzorové skripty do Git repositářů hostovaných společností Google. Repositáře jsou uspořádány podle úrovně přístupu. Uživatelské skripty se ukládají do složky Owner do repositáře *users/username/default*. K obsahu této složky má přístup pouze uživatel. Ve složce Writer se nachází repositáře, ke kterým jejich vlastník udělil uživateli pravomoc pro zápis. Uživatel může přidávat nové skripty, upravovat

stávající skripty nebo měnit přístup k repositářům ve složce Writer, ale nesmí odstranit vlastníka. Do složky Reader patří repositáře, ke kterým jejich vlastníci udělil uživateli přístup pro čtení. Adresář Examples obsahuje repositáře spravované společnostmi Google, které obsahují ukázky kódu. Složka Archive obsahuje starší repositáře, ke kterým uživatel má přístup, ale ještě nebyly přesunuty ze starší verze Správce skriptů.

Pomocí karty **Assets** lze nahrávat a spravovat svá vlastní geoprostorová data. Pro vyhledávání ve skriptech lze použít vyhledávací lištu, která je umístěná v horní části karty Scripts.

K repositářům je možné přistupovat také pomocí Git – lze spravovat a upravovat skripty mimo editor kódu nebo synchronizovat je s externím systémem, jako je GitHub.

Záložka **Inspector** umožňuje interaktivní dotazování na mapu. Když je aktivována karta Inspektor, kurzor se změní na nitkový kříž, který po kliknutí na mapu zobrazí umístění a hodnoty vrstvy pod kurzorem.

Karta **Console** vrací zprávy při běhu skriptů a tisku informací o datech, meziproduktech a výsledcích. Zaznamenává také veškeré diagnostické zprávy, například informace o chybách běhu.

Karta **Tasks** obsahuje operace, které běží déle, než je standardní časový limit požadavku API. Tyto dlouhotrvající úlohy jsou jediným mechanismem pro vytváření trvalých artefaktů v GEE a přilehlých systémech (Google Cloud Storage, Google Drive atd.) a dělí se na dvě kategorie: import a export. Úlohy importu lze použít k nahrání obrázků nebo nahrání tabulek do Earth Engine (.csv, .tif atd.). Úlohy exportu lze použít k provádění a zápisu výsledků z výpočetního systému GEE.

Geometrické nástroje umožňují importovat do skriptu geometrii, která je kreslená uživatelem v mapovém okně.

Po kliknutí na tlačítko nápovědy v pravém horním rohu editoru kódu se zobrazí odkazy na příručku pro vývojáře, fórum s nápovědou, komentovanou prohlídku editoru kódu a seznam klávesových zkratk. (70) Výše popsané komponenty jsou ukázány na obrázku (Obrázek 12).

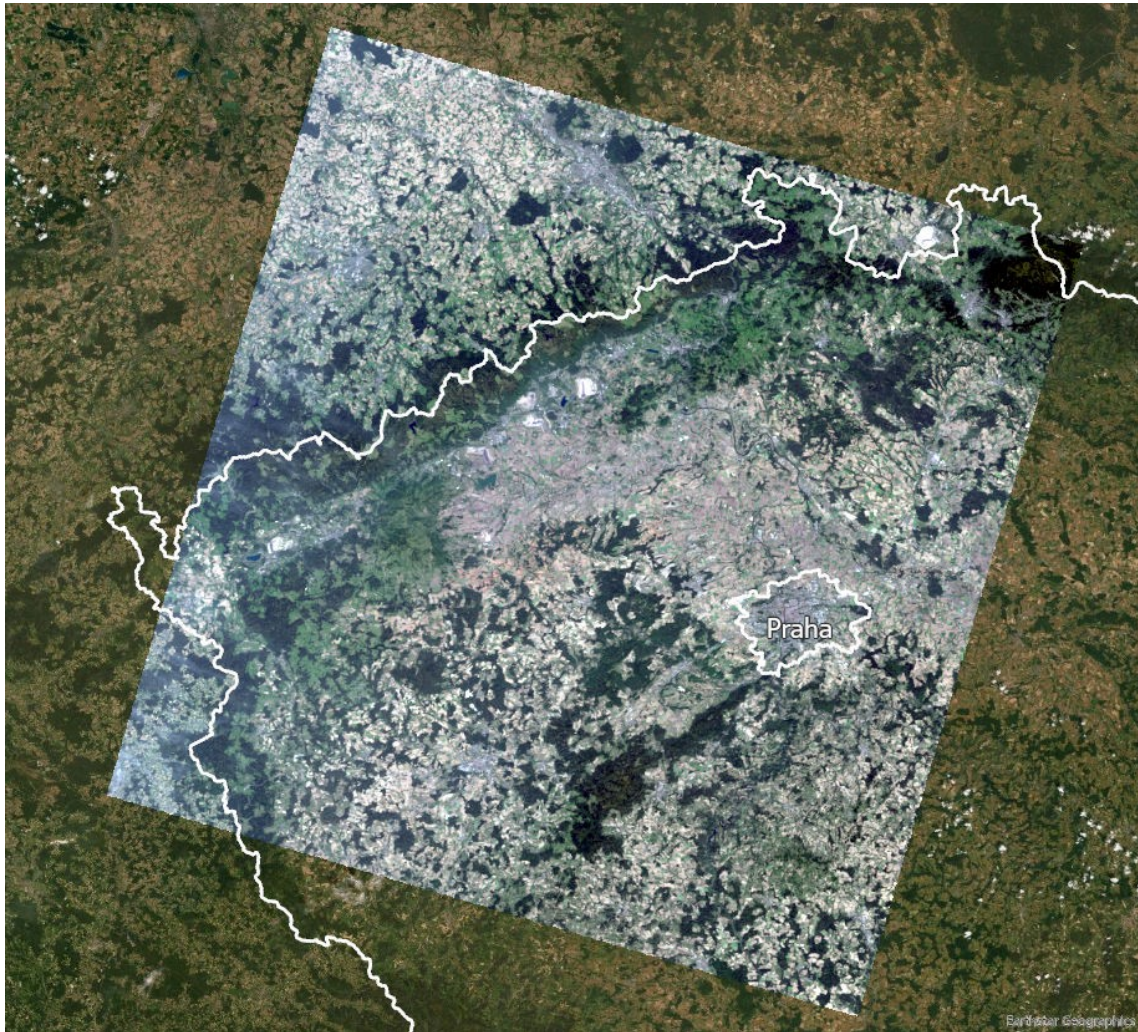


Obrázek 12 Vývojové prostředí Google Earth Engine

7.3 Oblast zájmu a získání dat

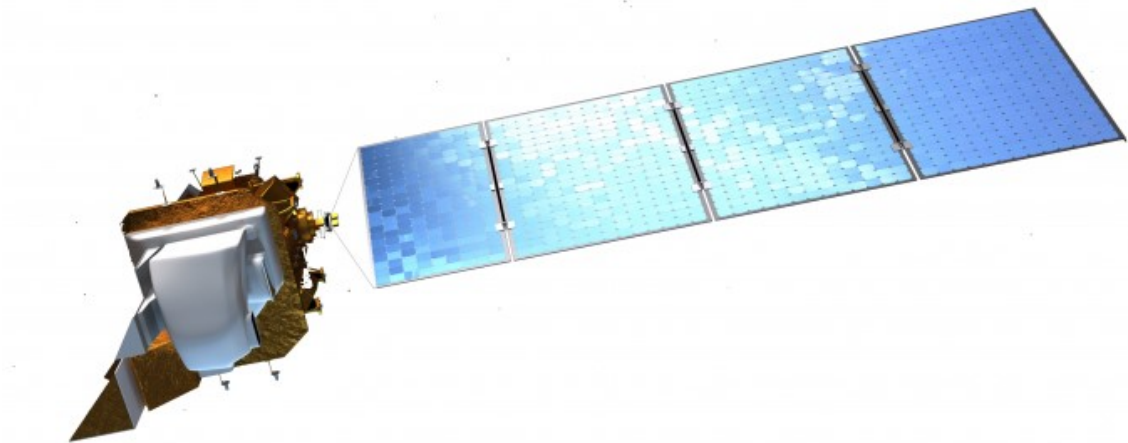
Předmětem pozorování v rámci této diplomové práce nejsou data, nýbrž programová prostředí pro jejich zpracování. Z tohoto důvodu byla data vybrána na základě fiktivních požadavků:

1. větší část plochy snímku pokrývá území České republiky
2. obsahuje celé území hlavního města Prahy a její okolí.



Obrázek 13 Oblast zájmu

Na základě přehledu družicových systémů pro následující práci byla použita data z družice Landsat 8 (Obrázek 13).



Obrázek 14 Družice Landsat 8 (71)

Data z družice Landsat 8 byla použita s ohledem k faktu, že jsou vhodná pro analýzu krajinného pokryvu, mají vhodné prostorové rozlišení, dostatečný počet spektrálních kanálů (Obrázek 15), jsou často aktualizovaná, což zvyšuje šanci vyhledat bezoblačnou scénu, a také jsou tato data dostupná zdarma na adrese <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

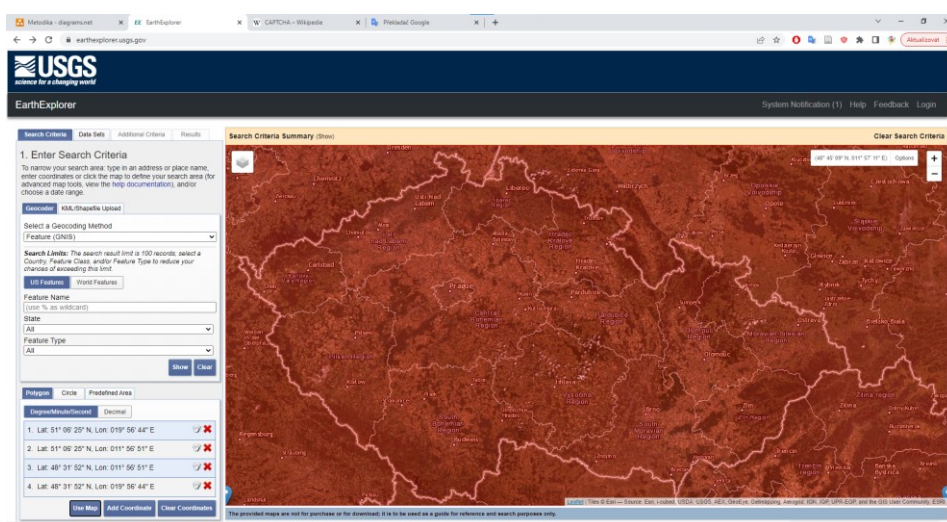
Landsat-8 OLI and TIRS Bands (μm)		
Band 1	30 m Coastal/Aerosol	0.435 - 0.451
Band 2	30 m Blue	0.452 - 0.512
Band 3	30 m Green	0.533 - 0.590
Band 4	30 m Red	0.636 - 0.673
Band 5	30 m NIR	0.851 - 0.879
Band 6	30 m SWIR-1	1.566 - 1.651
Band 10	100 m TIR-1	10.60 – 11.19
Band 11	100 m TIR-2	11.50 – 12.51
Band 7	30 m SWIR-2	2.107 - 2.294
Band 8	15 m Pan	0.503 - 0.676
Band 9	30 m Cirrus	1.363 - 1.384

Obrázek 15 Spektrální pásma družice Landsat 8 (72)

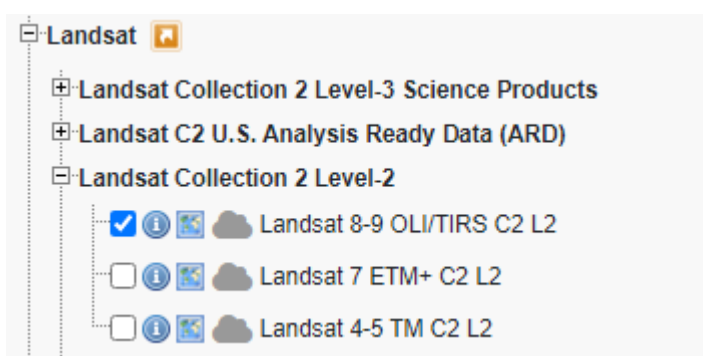
Pro přístup k funkcím systému a stahování dat je nutné se nejdříve zaregistrovat. Registrace vyžaduje tvorbu nového uživatelského jména a hesla, vyplnění

dotazníku pro statistické potřeby organizace USGS EROS a dotazníku, týkajícího se osobních informací o uživateli. Registrace se potvrdí prostřednictvím e-mailové adresy. Po dokončení procesu registrace je nutné se přihlásit pro následnou práci v prohlížeči.

V uživatelském prostředí je nejdříve nutné vyhledat zájmové území. Nejjednodušším způsobem je nejdříve na mapě vyhledat zájmovou oblast a pak použít tlačítko Use Map, které se nachází v záložce Polygon. Dále lze nastavit filtraci snímků podle data a oblačnosti. Při vyhledávání dat bylo vybráno období červen až srpen a oblačnost byla nastavena v rozmezí 0 až 10 %. Pomocí tlačítka Data Sets přejdeme do nabídky pro volbu datových sad (Obrázek 16).

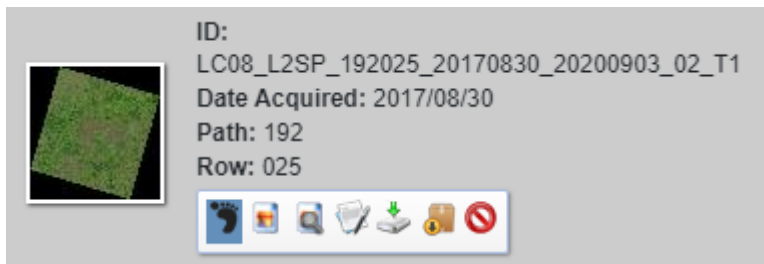


Obrázek 16 Stránky s daty Landsat 8

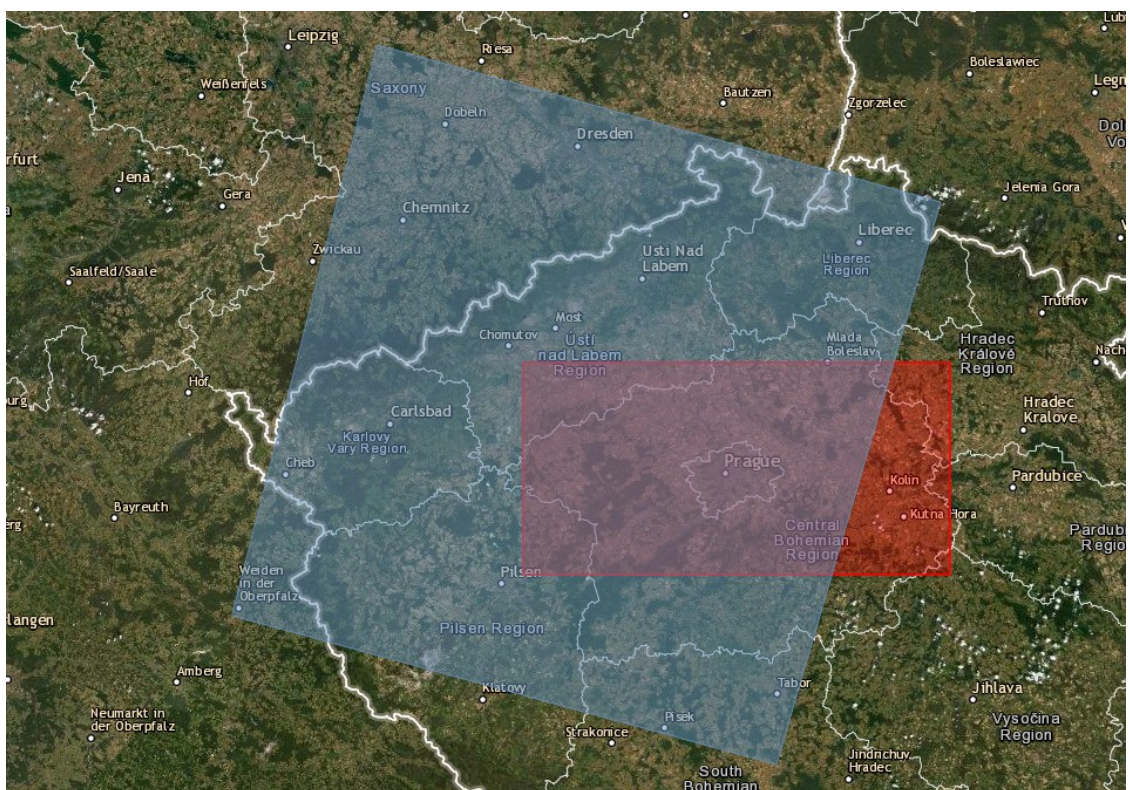


Obrázek 17 Kolekce 2 úroveň-1 Landsat 8

Byla zvolena datová sada Landsat Collection 2 Level-2 (Obrázek 17). Tato data jsou rovnou připravena pro zpracování. Každý snímek má svůj unikátní název, tzv. ID snímku (Obrázek 18).



Obrázek 18 Informace o scéně



Obrázek 19 Stopa letní scény zájmové oblasti

Vybraná scéna má oblačnost 0,04 %. Atmosférické, radiometrické a geometrické korekce jsou již provedeny poskytovatelem dat, proto lze na staženou scénu rovnou aplikovat analýzy (Obrázek 19).

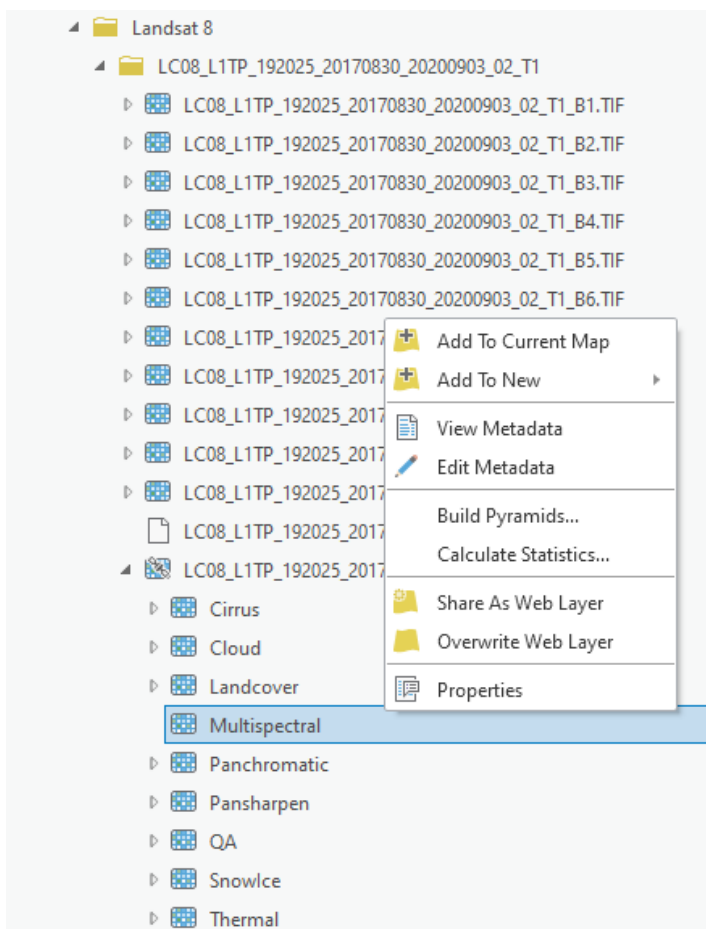
Data jsou archivovaná v souboru s příponou .tar a je nutné je rozbalit před následujícím použitím.

8 Příprava dat

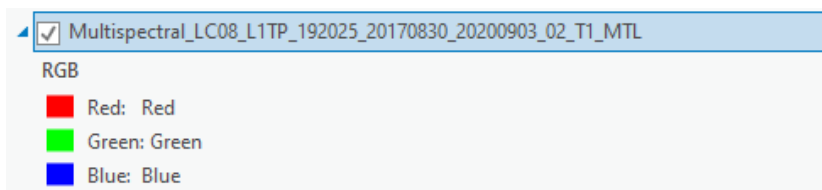
8.1 Nahrání dat

8.1.1 ArcGIS Pro

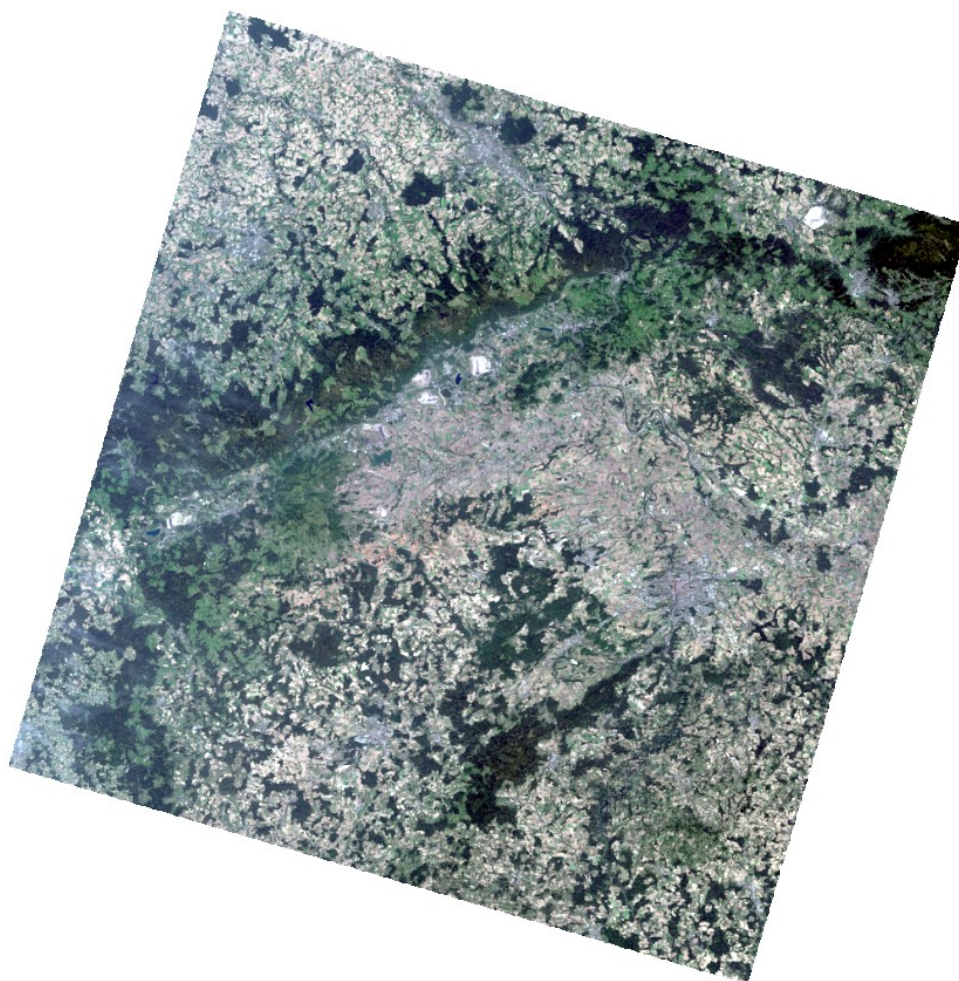
V rámci programu ArcGIS Pro nahrávání dat probíhá přes panel Catalog (**Obrázek 20**). Rozbalí se složka s názvem odpovídajícím ID vybraného snímku, dále se rozbalí soubor s příponou .txt. Pomocí pravého tlačítka a funkce Add To Current Map se soubor zobrazí v panelu Content (Obrázek 21) a v aktuálním mapovém okně (Obrázek 22).



Obrázek 20 Pracovní oblast Catalog

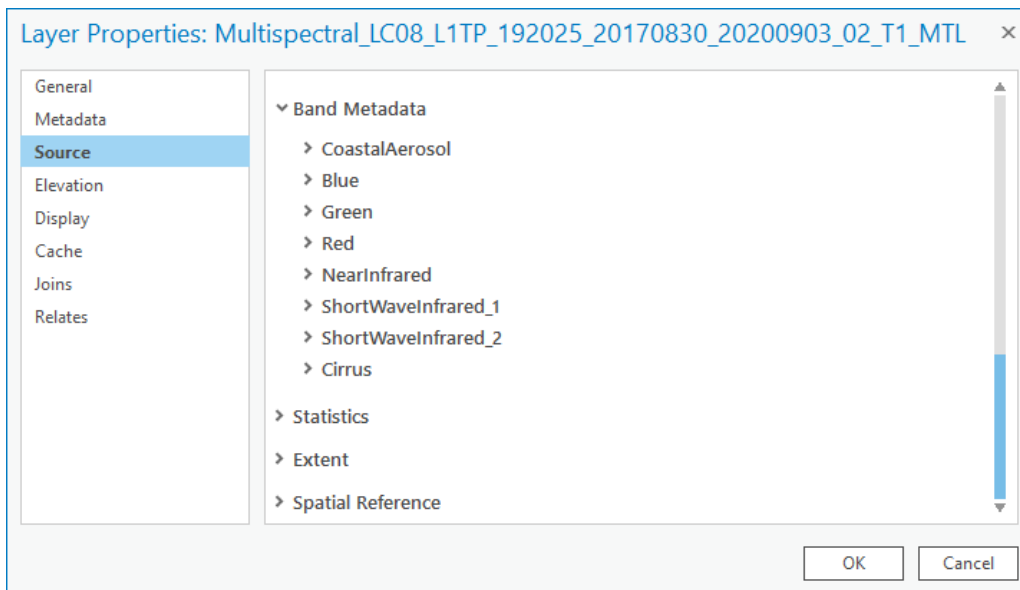


Obrázek 21 Zobrazení nahraného snímku v panelu Contents



Obrázek 22 Multispektrální rastr zájmové oblasti vizualizovaný v přirozených barvách

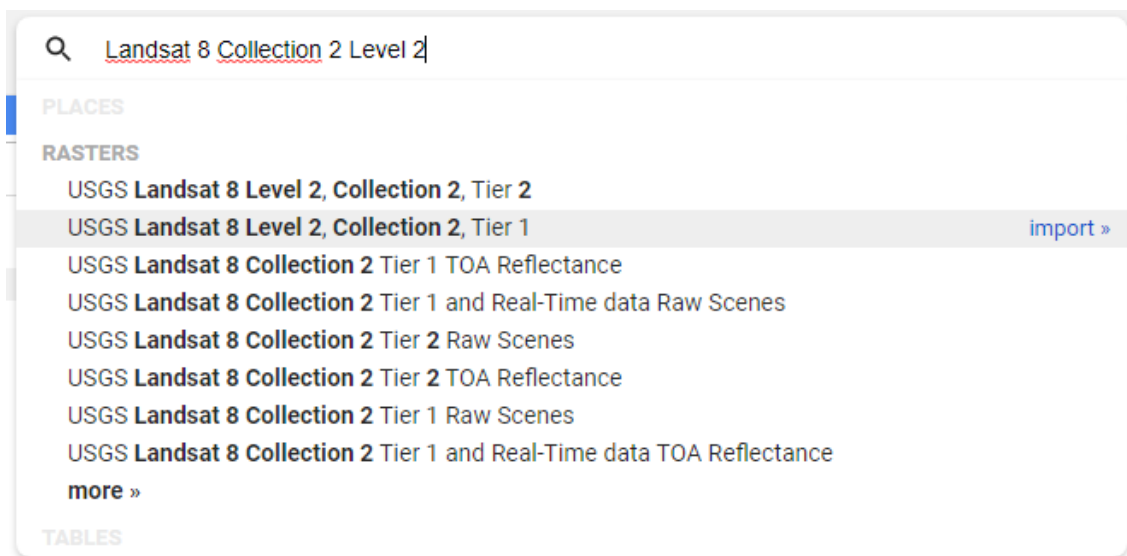
Zjistit, ze kterých spektrálních pásem je složena aktuální vrstva, lze pomocí nástroje Properties po kliknutí pravým tlačítkem na nahraný soubor v panelu Contents (Obrázek 23).



Obrázek 23 Spektrální pásma

8.1.2 Google Earth Engine

Načtení vhodné scény začíná načtením databáze, ve které se daný snímek nachází. Lze to udělat prostřednictvím vyhledávacího řádku (Obrázek 24) pomocí tlačítka **Import**.



Obrázek 24 Vyhledávání dat

Výsledky importu datových sad do skriptu jsou uspořádány v sekci **Imports** v horní části skriptu (Obrázek 25).


```
Imports (1 entry)
  var imageCollection: ImageCollection "USGS Landsat 8 Level 2, Collection 2, Tie...
    type: ImageCollection
    id: LANDSAT/LC08/C02/T1_L2
    version: 1652759018716221
    bands: []
    properties: Object (25 properties)
```

Obrázek 25 Imports

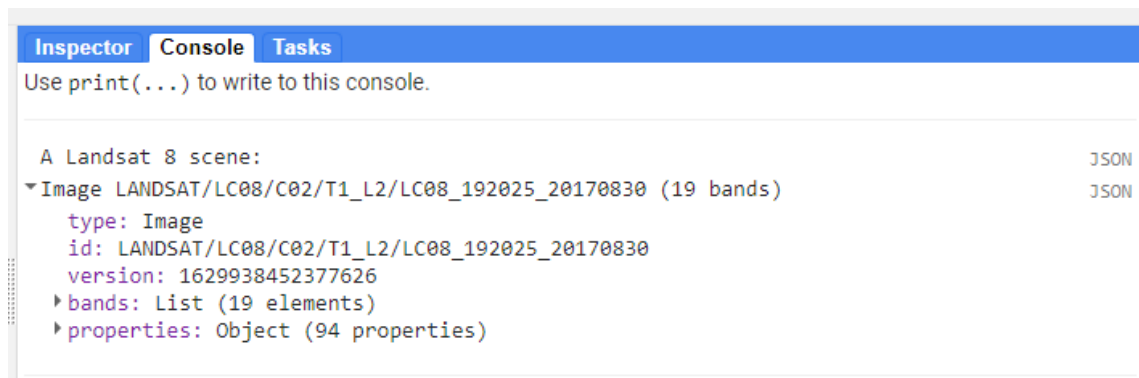
Další možností je vytvořit proměnnou samostatně v těle skriptu, do které se uloží metoda ee.ImageCollection, kde argument obsahuje cestu ke konkrétní kolekci.

```
var collection = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C02/T1');
```

Pro vyhledávání konkrétního snímku se používají filtry filter() např. třídění podle data pořízení snímku filterDate(), podle souřadnic oblasti zájmu filterBounds() a třídění sort().

Scéna Landsat 8 již byla vyhledána pro práci v ArcGIS Pro, proto lze rovnou načíst konkrétní snímek dle ID do skriptu. K tomu slouží metoda ee.Image(), kde argument je cesta ke konkrétnímu snímku v databázi ve speciálním formátu. Informaci o datech lze zobrazit v záložce Console pomocí print() (Obrázek 26). Pro zobrazení v mapovém okně se použije funkce Map.addLayer().

```
var image = ee.Image('LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_192025_20170830');
print('A Landsat 8 scene:', image);
Map.addLayer(image);
```



Obrázek 26 Výsledek funkce print

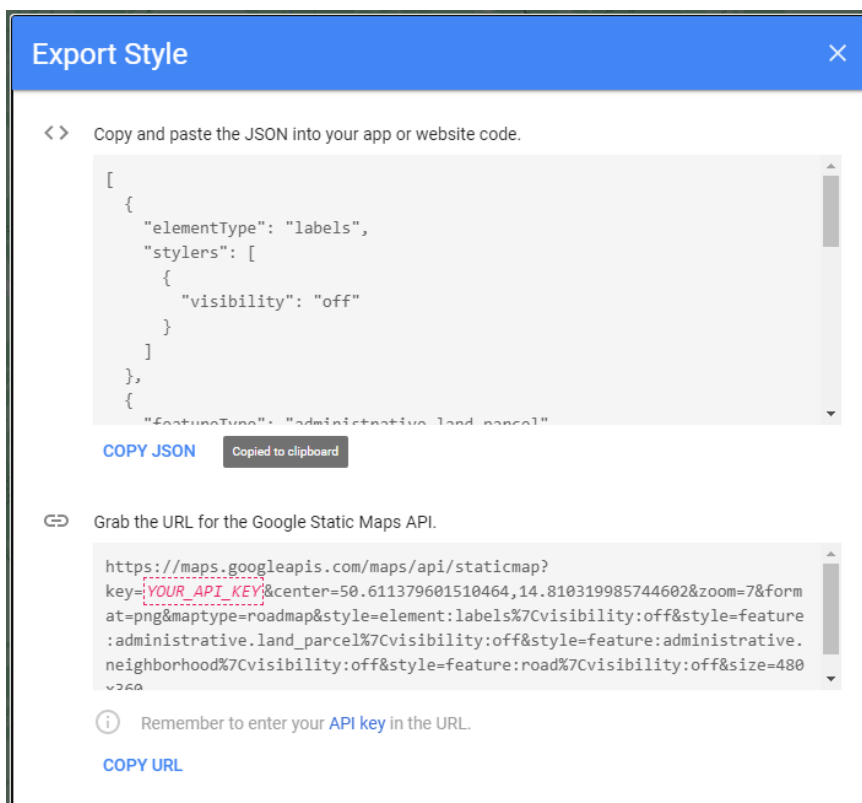
Pro pohodlnou následující práci je vhodné vycentrovat a nastavit faktor přiblížení pro mapové okno. K tomu se použije metoda Map.centerObject(). Dále se vyberou konkrétní spektrální pásma a uloží se do proměnné bands. Vytvoří se proměnná image, která reprezentuje rastr, se kterým se následně bude pracovat. Také byla definovaná pracovní oblast pomocí proměnné region.

```

Map.centerObject(image, 8);
var bands = ['SR_B1', 'SR_B2', 'SR_B3', 'SR_B4', 'SR_B5', 'SR_B6',
'SR_B7'];
var imageBands = scene.select(bands);
var region = scene.geometry();

```

Defaultně GEE nabízí pouze dva typy podkladové mapy – základní a satelitní snímky. Pro přehlednost lze použít cloudovou platformu pro tvorbu vlastních mapových stylů <https://mapstyle.withgoogle.com/>. Po zmáčknutí tlačítka Finish pro vytvořený styl se zobrazí kód ve formátu JSON nebo jako URL, který lze následně zkopírovat a vložit do editoru kódu GEE (Obrázek 27).



Obrázek 27 Okno pro export mapového stylu

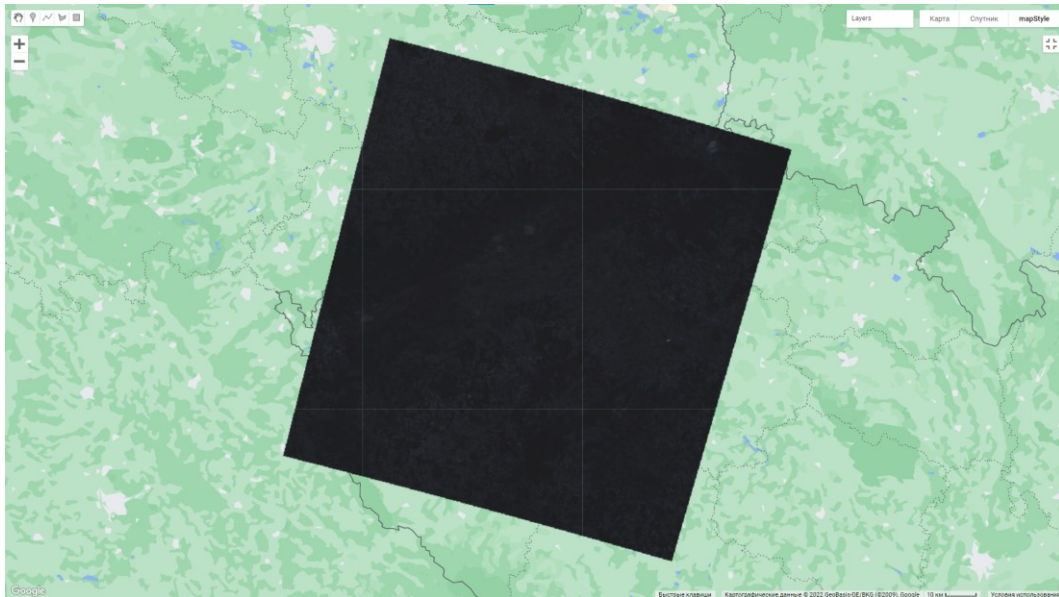
Vizualizace se provede pomocí funkce `Map.setOptions()` (Obrázek 28).

```

Map.setOptions('mapStyle', {mapStyle: mapStyle});

```

Následující obrázek znázorňuje, jak vypadá vizualizace surových dat v mapovém okně prostředí GEE ().

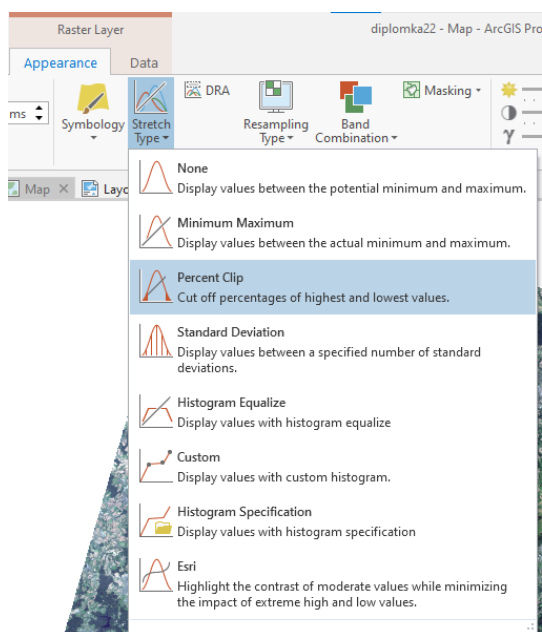


Obrázek 28 Scéna z družice Landsat 8 v prostředí GEE

8.2 Zvýraznění

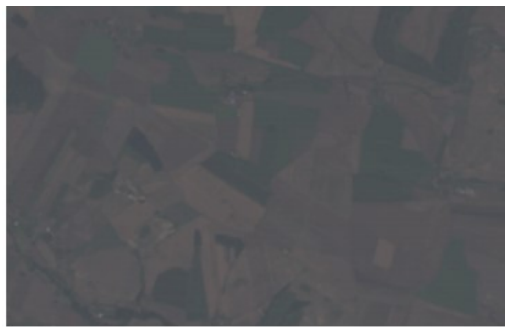
8.2.1 ArcGIS Pro

Obraz lze upravovat (zvýrazňovat) tak, aby nedocházelo ke změnám původních hodnot pixelů. Mezi tyto metody patří např. ekvalizace histogramu. Změnou typu roztažení histogramu lze změnit vzhled na obrazovce pro pozorovatele. Cílem je zlepšit rozlišovací schopnost pro lidské oko. Roztažení histogramu se provádí v záložce Appearance pomocí funkce Stretch Type (Obrázek 29). Vizuálně se vybírá nejvhodnější typ roztažení histogramu.

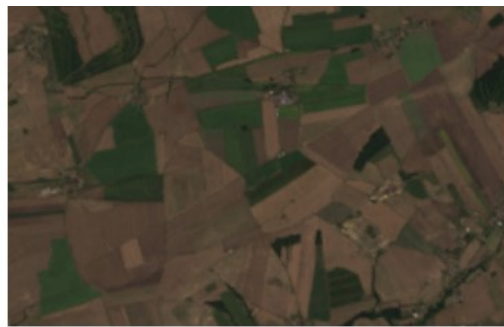


Obrázek 29 Nastavení pro histogram

Na obrázku jsou příklady některých nastavení histogramu (Obrázek 30).



None



Minimum Maximum



Percent Clip



Standard Deviation



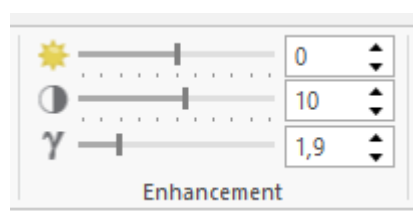
Histogram Equalize



Esri

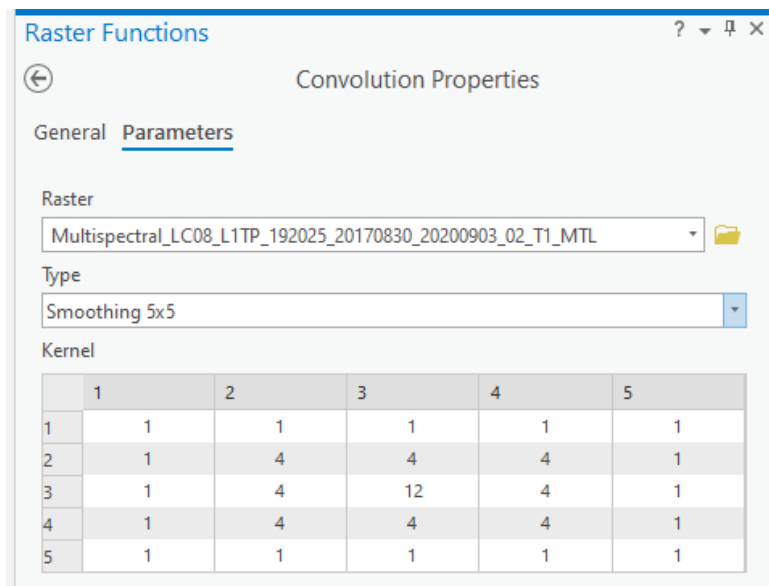
Obrázek 30 Vizualizace různých nastavení histogramu

Nastavení jasu, kontrastu a gamy se provádí v záložce Appearance v kartě Enhancement (Obrázek 31).



Obrázek 31 Panel pro ovládní jasu, kontrastu, gamy

Před samotnou aplikací klasifikační metody na multispektrální snímek Landsat 8 je vhodné aplikovat na snímek nízkofrekvenční filtr. Tato operace se provede pomocí rastrové funkce Convolution. V nastaveních funkce se definuje vstupní rastr, dále typ filtrace a rozměr filtračního okna (Obrázek 32).



Obrázek 32 Nastavení parametru filtrace

Jako výsledek dostaneme nový obraz, který působí „rozostřeně“ (Obrázek 33).

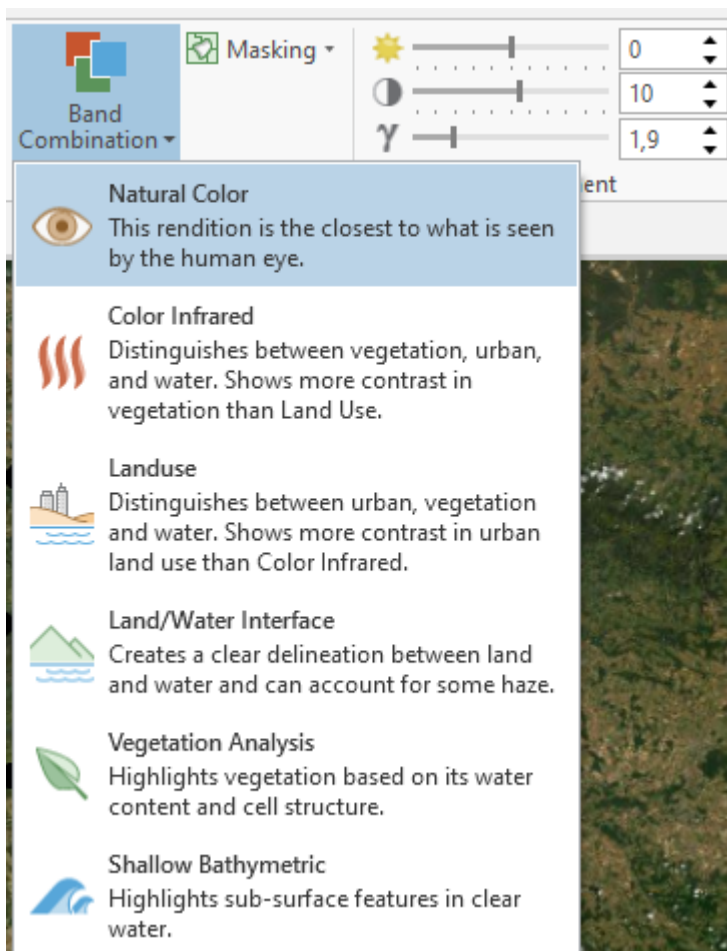


Originální rastr

Rastr po filtraci

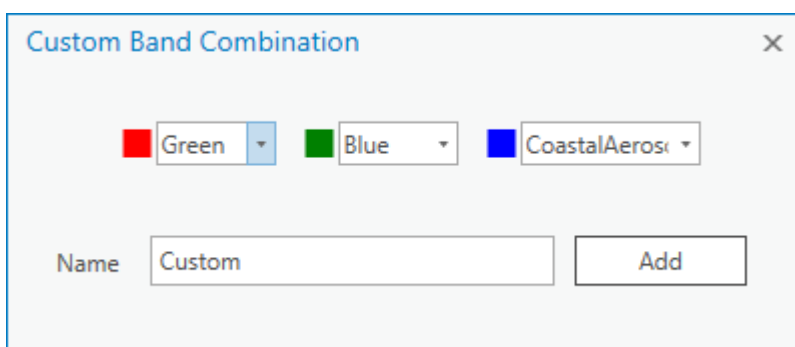
Obrázek 33 Ukázka (vlevo – originální obraz, vpravo – výsledek aplikace filtrace)

Pokud jsou informace o jednotlivých spektrálních pásmech obsaženy v metadatech, je možné barevné syntézy v ArcGIS Pro provádět díky přednastaveným nástrojům pomocí nástroje Band Combination (Obrázek 34).



Obrázek 34 Nástroj pro kombinaci spektrálních pásem

Je také možné nakombinovat spektrální pásma dle vlastních požadavků (Obrázek 35).



Obrázek 35 Okno pro definování kombinace pásem

Následující obrázek ukazuje některé kombinace spektrálních pásem pro scény Landsat 8 (Obrázek 36).



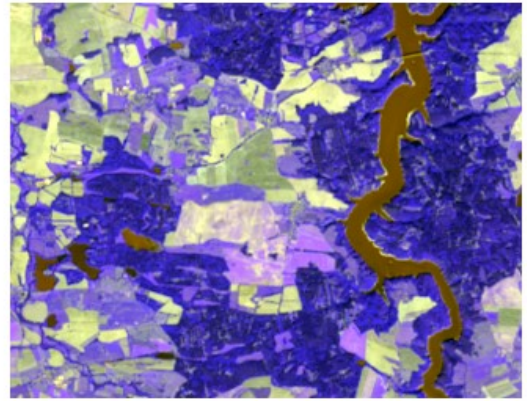
4-3-2



7-5-3



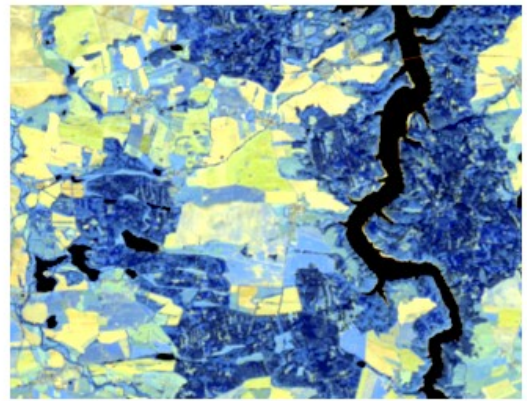
5-6-4



3-4-5



5-4-3

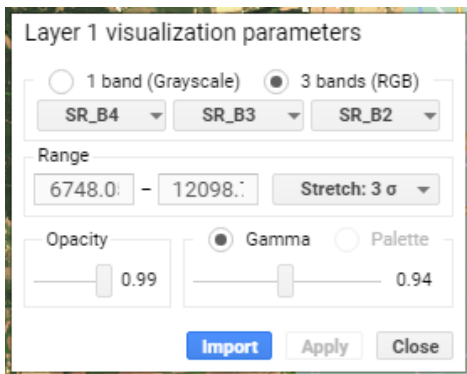


7-6-5

Obrázek 36 Barevné syntézy

8.2.2 Google Earth Engine

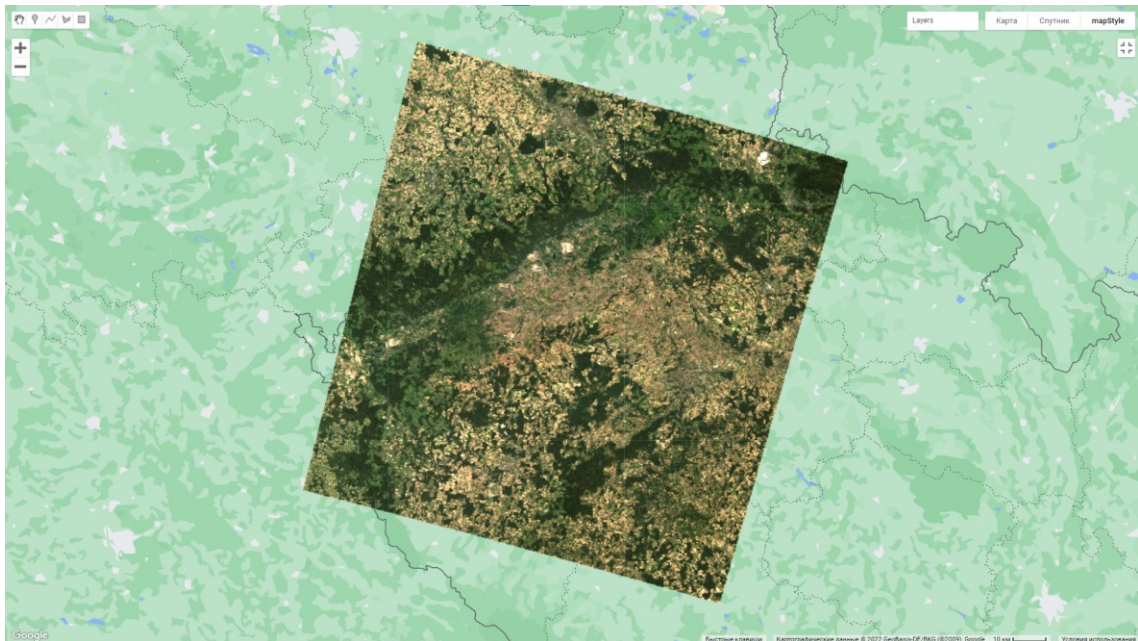
Pro korektní zobrazení scény lze použít okno pro vizualizaci (Obrázek 37). Nevýhodou však je, že nastavení se přepíše na defaultní po každém spuštění skriptu, proto je lepší parametry pro vizualizaci napsat do editoru kódu. Min a max nastavuje rozsah roztažení barev. Pomocí tohoto nastavení lze upravit kontrast a jas obrázku. Rozsah závisí na typu dat. Landsat 8 má 16bitové snímky, proto je celkový rozsah 0 až 65 536 (Obrázek 37).



Obrázek 37 Okno pro nastavení vizualizačních parametrů

```
Map.addLayer(image, {bands: 'SR_B4,SR_B3,SR_B2', min: 7000, max: 13000, gamma: 1}, 'True Color');
```

Obrázek v pravých barvách se vykreslí v mapovém okně (Obrázek 38).

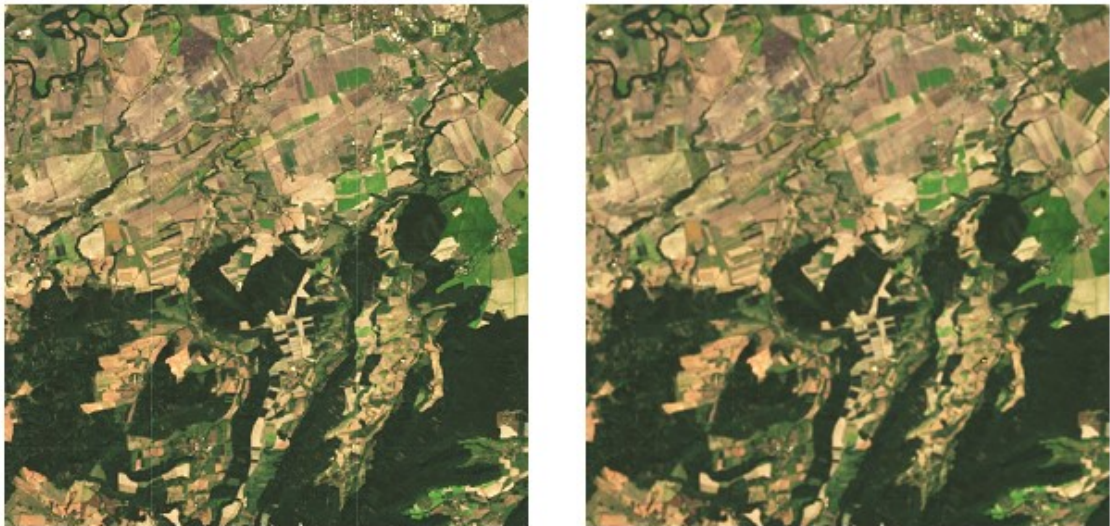


Obrázek 38 Obrázek Landsat 8 v pravých barvách

Pro lineární konvoluci v prostředí GEE se používá metoda `image.convolve()`. Jediným argumentem pro `convolve()` je funkce `ee.Kernel`. Pro `ee.Kernel.fixed` se vytvořila proměnná, která obsahuje matici vah 5×5 .

```
var weights = [[1, 1, 1, 1, 1],
               [1, 4, 4, 4, 1],
               [1, 4, 12, 4, 1],
               [1, 4, 4, 4, 1],
               [1, 1, 1, 1, 1]];
var boxcar = ee.Kernel.fixed({weights: weights, normalize: true });
var imageSmooth = image.convolve(boxcar);
Map.addLayer(imageSmooth, {bands: ['SR_B4', 'SR_B3', 'SR_B2'], min:
5000, max: 15000}, 'smoothed');
```

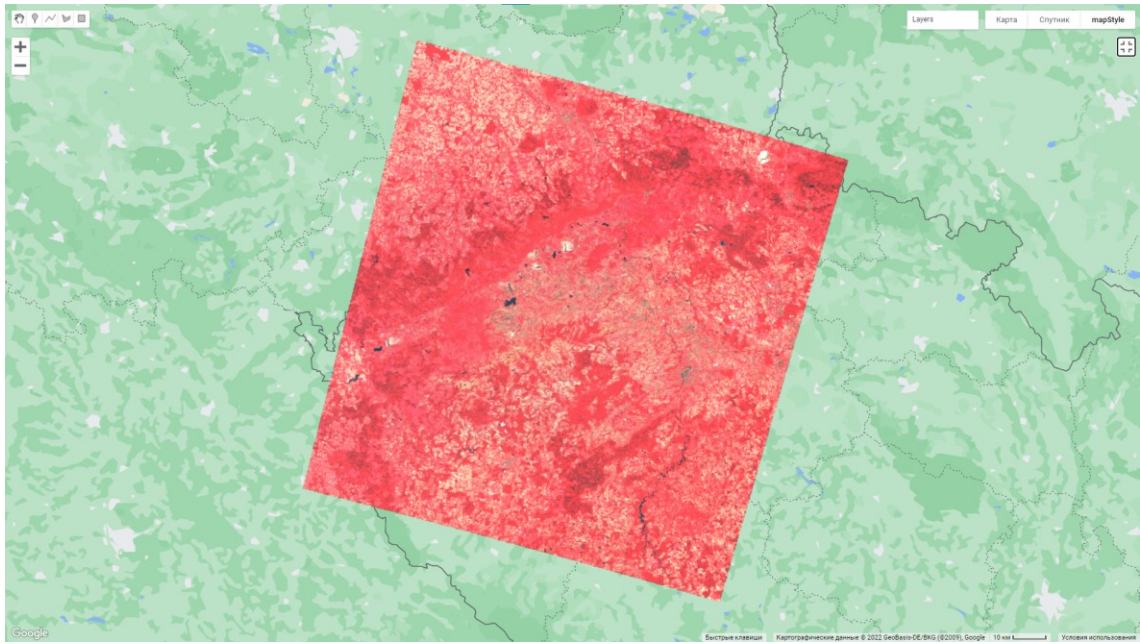
Výsledkem je obraz s novými hodnotami pixelů (Obrázek 39).



Obrázek 39 Ukázka vyhlazovacího filtru (vlevo původní obrazek, vpravo po aplikaci filtru)

Kompozit ve falešných barvách lze vytvořit pomocí následujícího kódu. Pro příklad zde je nakombinován infračervený obrázek (Obrázek 40).

```
var vizParams = {
  bands: ['SR_B5', 'SR_B4', 'SR_B3'],
  min: 5000,
  max: 15000,
  gamma: [0.7, 1, 1]
};
Map.addLayer(image, vizParams, 'false color composite');
```



Obrázek 40 *Obráz v nepravých barvách – kombinace pásem 543*

9 Zpracování družicových dat

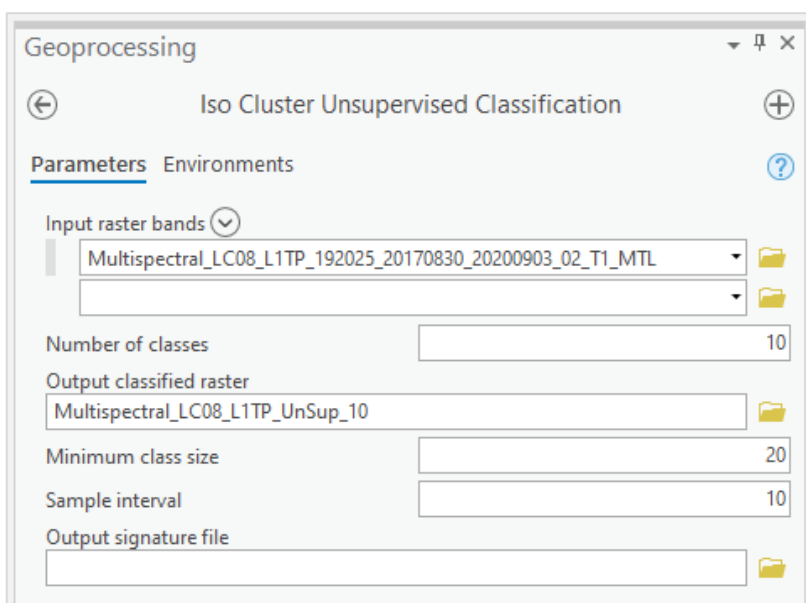
9.1 Neřízená klasifikace

Pro práci byla vybrána pixelově orientovaná neřízená klasifikace (Unsupervised classification), protože funguje dobře s rastrovými daty s hrubým rozlišením, jako jsou data z družice Landsatu 8. Klasifikace bez dozoru shlukuje spektrálně podobné buňky do tříd s podobnými spektrálními charakteristikami.

9.1.1 ArcGIS Pro

Existuje několik způsobů, jak provést klasifikaci v ArcGIS Pro. Nejjednodušší je postupovat podle nástroje Classification Wizard, který je k dispozici v kartě Imagery. Tento klasifikační manager umí krok po kroku provést uživatele klasifikací až po výsledný obraz, ale vytvořený soubor je aktuální pouze v rámci příslušného mapového okna. Z důvodu následujícího posouzení přesnosti se vyplatí vytvořit trvalý obraz (permanent image), který lze použít pro další analýzy.

Toto se provede následovně pomocí nástroje ISO Cluster Unsupervised Classification (Obrázek 41).

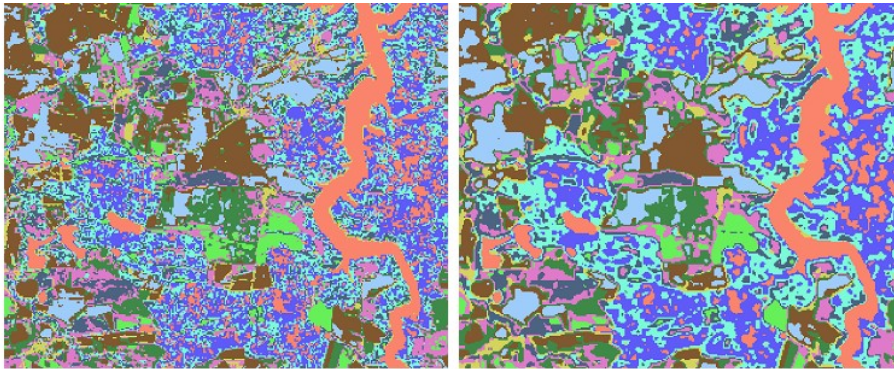


Obrázek 41 Nástroj pro neřízenou klasifikaci metodou ISO cluster

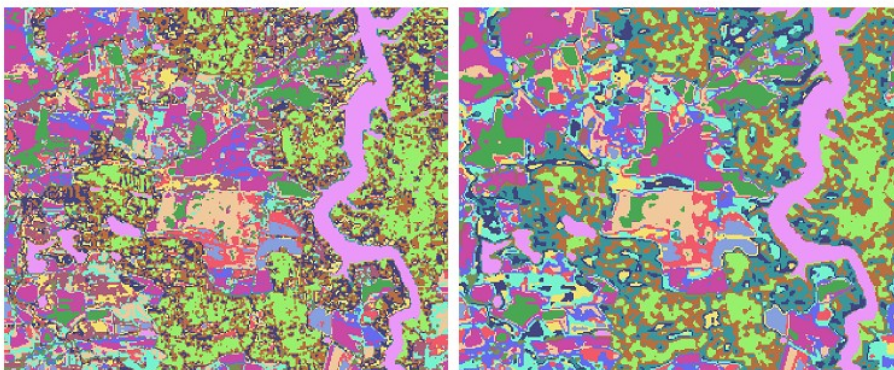
Number of classes vyžaduje zadat množství tříd. Jde o spektrální třídy, ne informační. Je vhodné proto zvolit větší počet spektrálních tříd, které budou

následně ručně zařazené do informačních tříd. Po zadání všech parametrů se funkce spustí pomocí tlačítka Run.

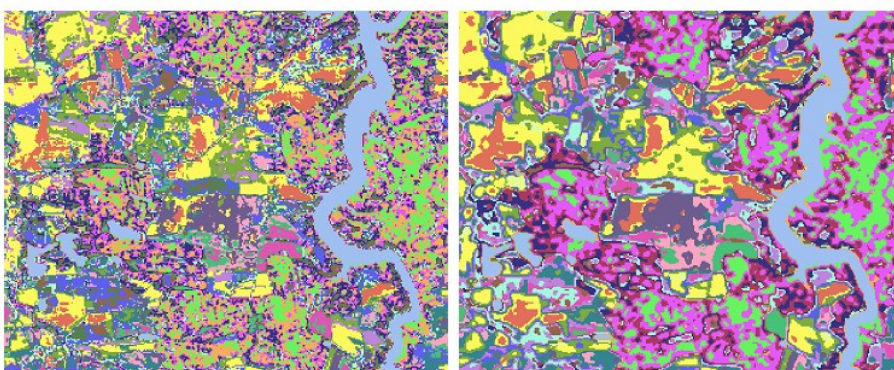
Klasifikace byla provedena jak pro originální rastr, tak i pro vyhlazený – pro 10 tříd, 15 tříd a 20 tříd (Obrázek 42).



10 tříd



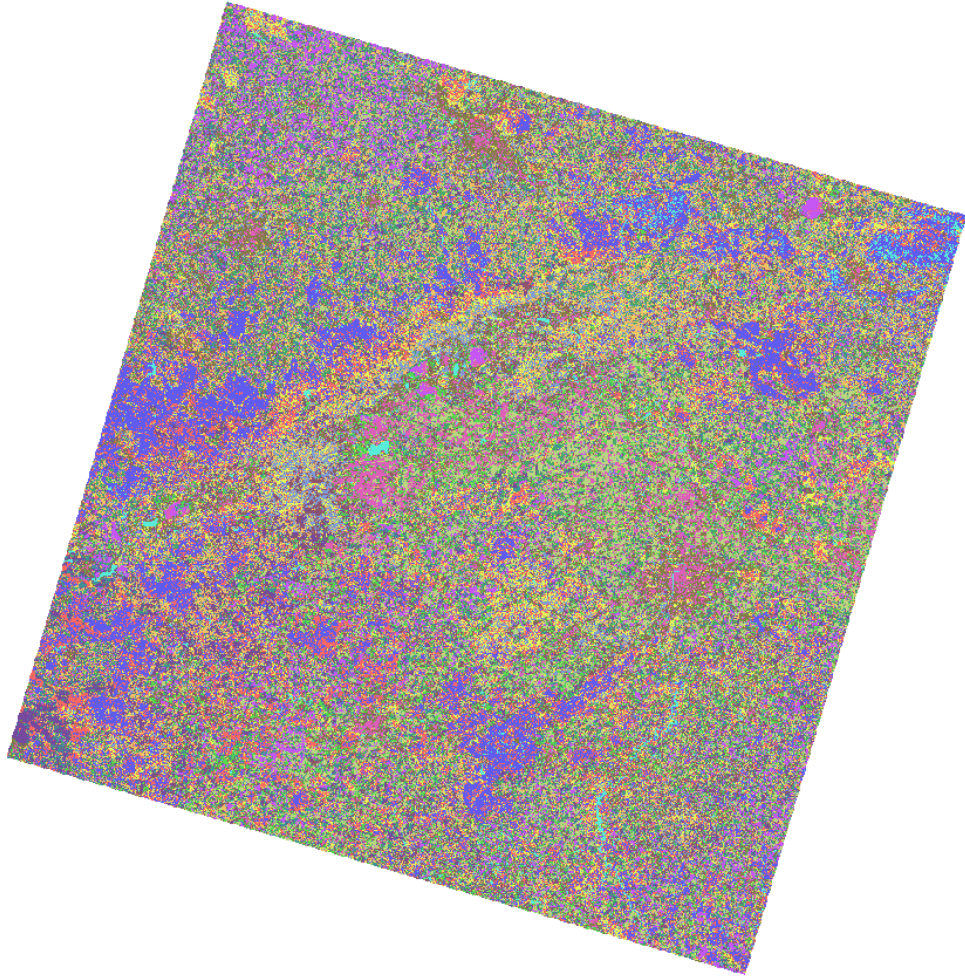
15 tříd



20 tříd

Obrázek 42 Výsledky neřazené klasifikace (vlevo – původní obraz, vpravo – obraz po filtraci)

Na základě vizuálního posouzení byla vybrána klasifikace na 15 spektrálních tříd pro vyhlazený rastr (Obrázek 43).



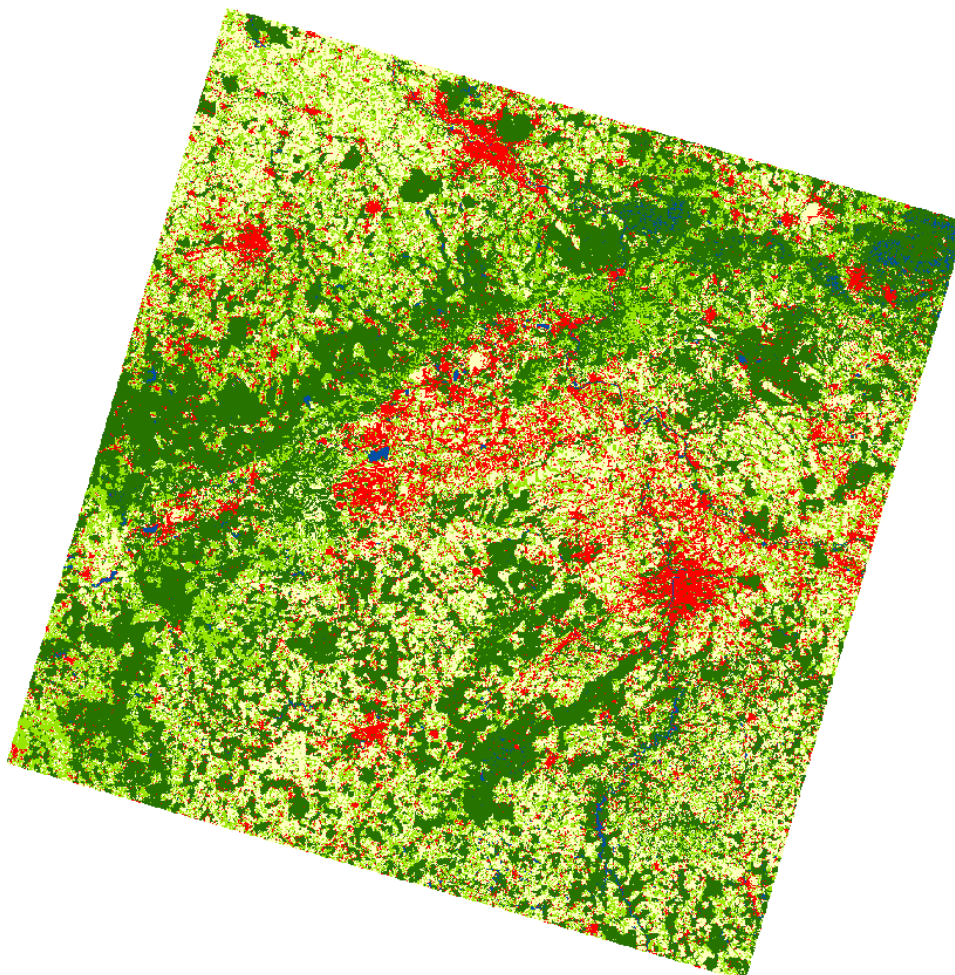
Obrázek 43 Výsledek neřízené klasifikace pro 15 spektrálních tříd

Dále následoval proces přiřazení hodnoty každé třídě k hodnotě informační (Obrázek 44) třídy. Bylo zvoleno pět barevně odlišných informačních tříd (1 – zastavěná oblast, 2 – les, 3 – vodní plocha, 4 – zelené pole, 5 – holé pole).

Color	Value	Label	
▼ Value			5 values X
■	1	Urban	
■	2	Forest	
■	3	Water	
■	4	Green field	
■	5	Bare soil	

Obrázek 44 Informační třídy

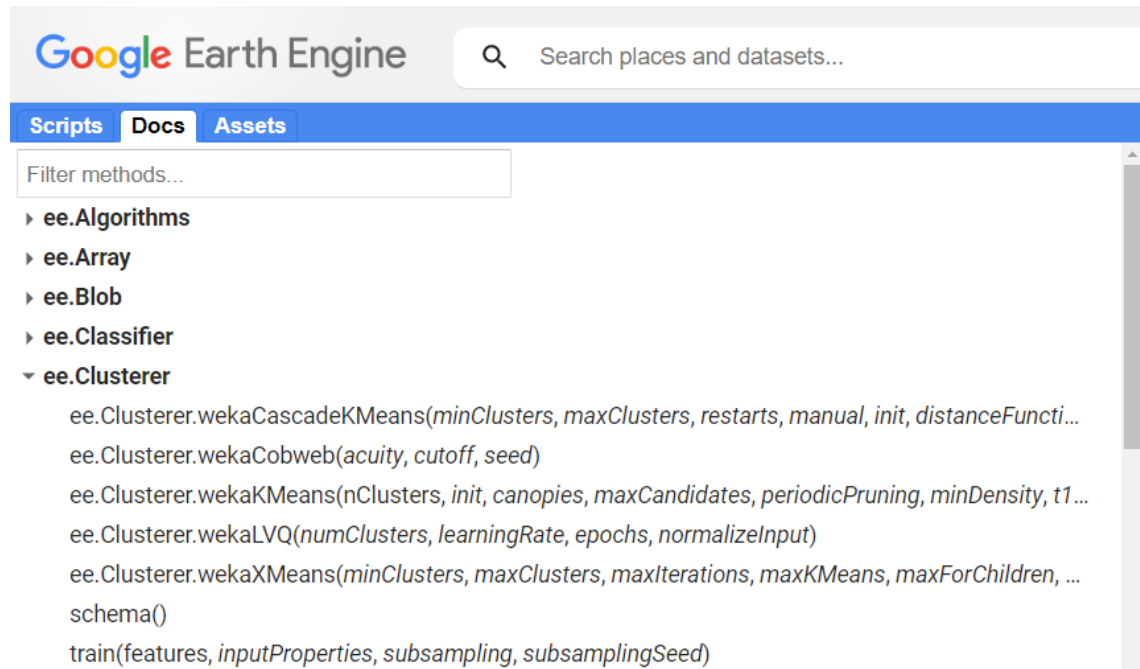
Pro správné vyhodnocení objektů byly použity výchozí podkladové mapy – OpenStreetMap, letecké snímky a původní multispektrální rastr – různé kombinace spektrálních pásem. Výsledkem je kalsifikovaný obrazek obsahující pět informačních tříd (Obrázek 45).



Obrázek 45 Výsledek neřízené klasifikace pro 5 informačních tříd

9.1.2 Google Earth Engine

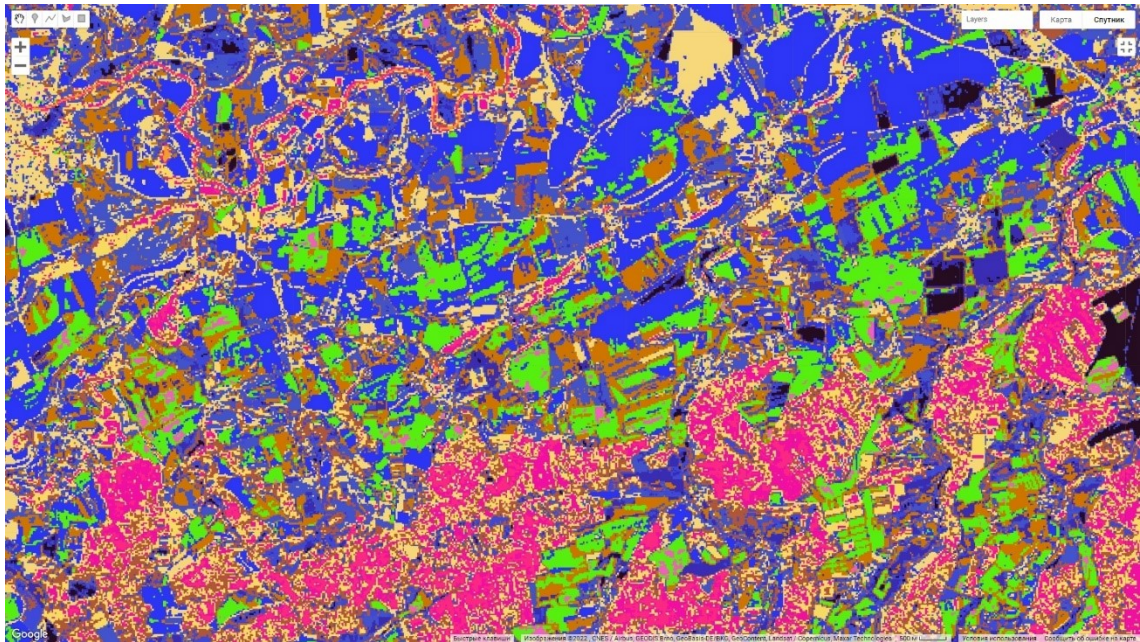
Neřízená klasifikace v GEE se zpracovává prostřednictvím balíčku ee.Clusterer (Obrázek 46).



Obrázek 46 Balíček pro neřízenou klasifikaci

Pro klasifikaci byl zvolen algoritmus K-means. Nejdříve byla vytvořena proměnná training, která definuje počet pixelů z celého rastru, které budou vstupovat do shlukové analýzy. Dále proměnná clusterer byla trénovaná dle trénovacích dat. Následně vytvořené shluky byly uloženy do proměnné result a vizualizovány v mapovém okně za použitím palety náhodných barev (Obrázek 47).

```
var training = image.sample({
  region: region,
  scale: 30,
  numPixels: 5000
});
var clusterer = ee.Clusterer.wekaKMeans(15).train(training);
var result = image.cluster(clusterer);
Map.addLayer(result.randomVisualizer(), {}, 'clusters');
```



Obrázek 47 Ukázka výsledku shlukové analýzy K-means pro 15 spektrálních tříd

Po rozdělení pixelů do 15 tříd na základě jejich spektrálních vlastností následoval proces přiřazení každé třídě hodnoty informační třídy (1 – zastavěná oblast, 2 – les, 3 – vodní plocha, 4 – zelené pole, 5 – holé pole). Toto se uskutečnilo pomocí cyklu, jehož výsledkem bylo 15 vrstev obsahujících pouze pixely se stejnou hodnotou.

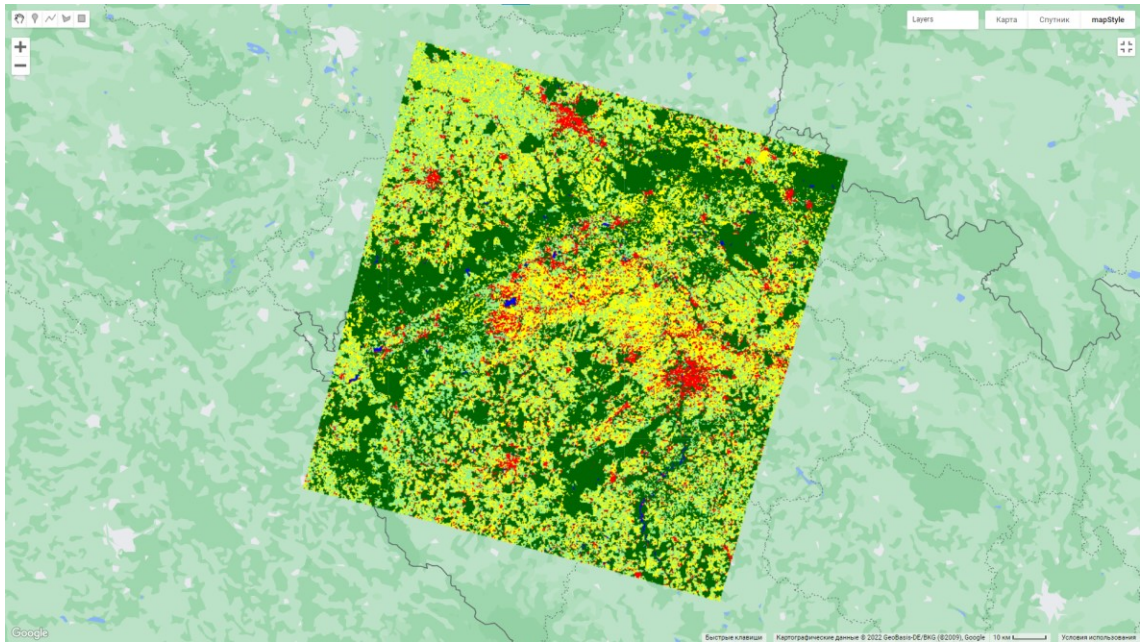
```
for (var i = 0; i < 15; i = i + 1) {
  var subset = result.select("cluster").eq(i).selfMask();
  Map.addLayer(subset, {}, i.toString());
};
```

Na základě vizuální interpretace pomocí podkladových satelitních snímků, které jako podklad nabízí GEE, byla každé třídě přiřazená nová hodnota.

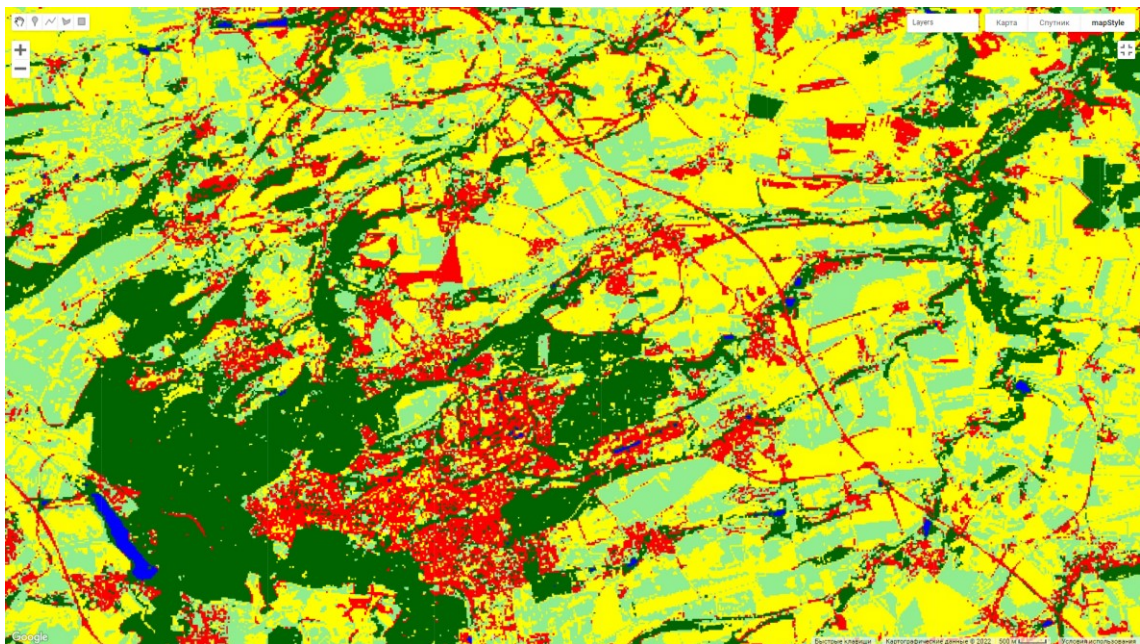
```
var fromList = [0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14];
var toList = [2, 2, 3, 2, 5, 5, 5, 4, 5, 1, 4, 4, 2, 5, 2];
```

Následně nové třídy byly uloženy do proměnné *resultRemap* a vizualizovány v mapovém okně pomocí předem definovaných barev (Obrázek 48, Obrázek 49).

```
var resultRemap = result.remap({
  from: fromList,
  to: toList,
  defaultValue: 0,
  bandName: 'cluster'
});
Map.addLayer(resultRemap, {
  min: 1, max: 5,
  palette: 'red, darkgreen, blue, lightgreen, yellow'
}, 'Remapped image');
```

Obrázek 48 Ukázka výsledku neřízené klasifikace



Obrázek 49 Ukázka výsledku neřízené klasifikace – detail

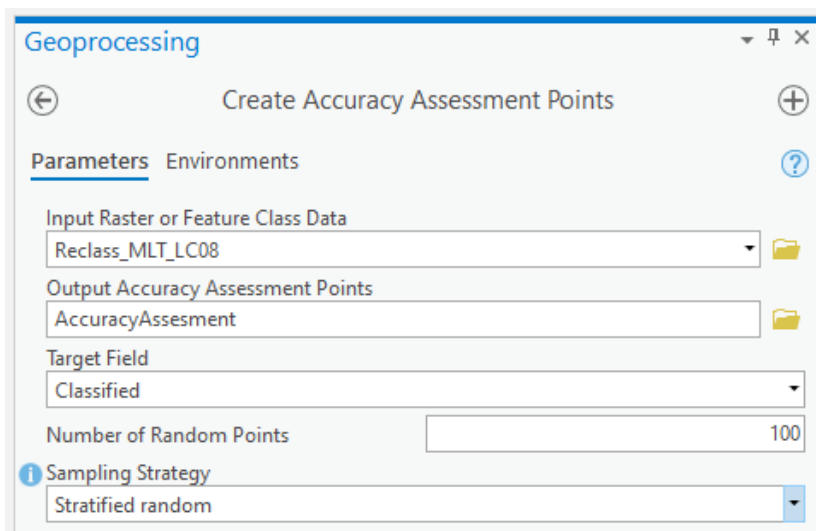
9.2 Zhodnocení přesnosti

9.2.1 ArcGIS Pro

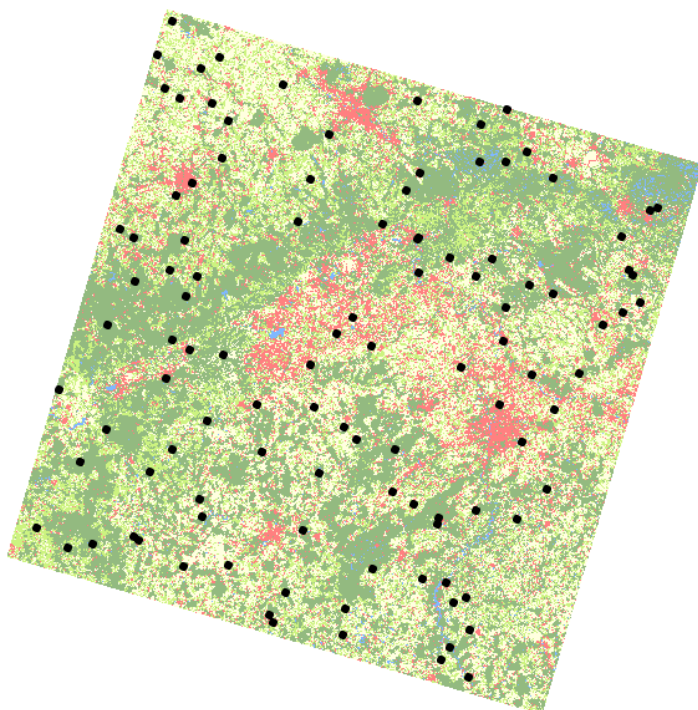
Hodnocení přesnosti klasifikace se řídilo následujícími kroky (7):

1. tvorba sady náhodných bodů,
2. identifikace skutečných informačních tříd spojených s každým pixelem,
3. sestavení matice chyb.

V kartě Analysis se zvolí nástroj Tools. V okně Geoprocessing se vyhledá Create Accuracy Assessment Points (Image Analyst Tools). Vyplní se parametry dle obrázku (Obrázek 50). Do políčka Input Raster or Feature Class Data se vyplní klasifikovaný rastr. Tato volba omezuje tvorbu náhodných bodů na oblast rastru a automaticky extrahuje hodnotu třídy pro .shp soubor náhodných bodů. Do řádku Output Accuracy Assessment Points se vyplní jméno výsledného souboru a případně se změní cesta k souboru. Množství náhodných bodů se defaultně rovná 500, což je pro snímek Landsat 8 o velikosti 170 km × 185 km postačující. Nicméně vzhledem k časové náročnosti bylo toto množství sníženo na 100 bodů (Obrázek 51). Nakonec se vybere jedna ze tří variant pro tvorbu náhodných bodů Stratified random. Nástroj se spustí pomocí tlačítka Run.



Obrázek 50 Nastavení pro nástroj Create Accuracy Assessment Points



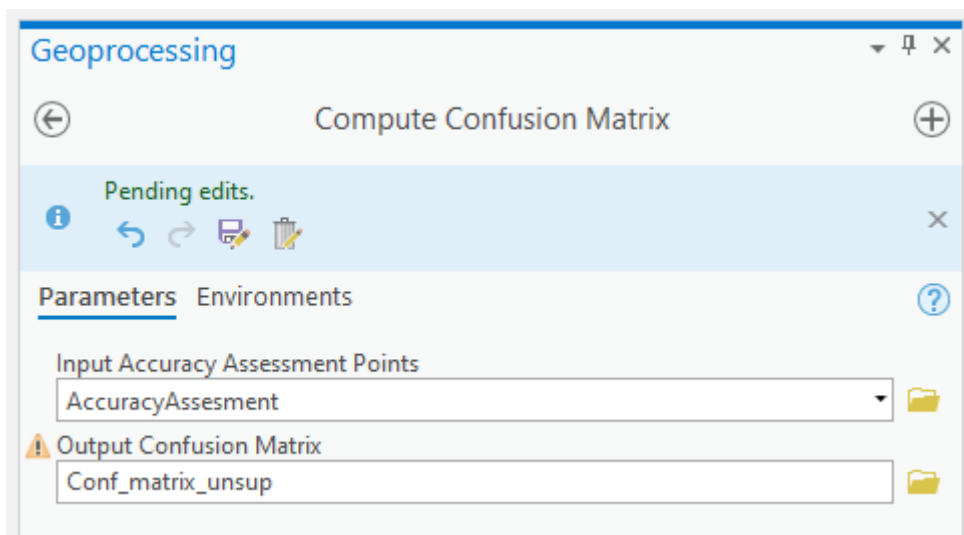
Obrázek 51 Vygenerované body metodou náhodné stratifikace

Atributová tabulka vygenerovaných bodů (Obrázek 52) má dva sloupce. Ve sloupci Classified se nachází hodnoty příslušné k bodu třídy. Do sloupce GrndTruth se zapisují hodnoty dle skutečného stavu. Jako podklad pro vyhodnocení příslušnosti k třídě byly použity letecké snímky světa (Basemap – Snímky).

OBJECTID *	SHAPE *	Classified	True_Data
1	Point	5	5
2	Point	4	4
3	Point	2	2
4	Point	1	2
5	Point	5	1
6	Point	4	2
7	Point	5	2
8	Point	2	2
9	Point	5	4
10	Point	4	4

Obrázek 52 Tabulka s hodnotami příslušných tříd

Dále v okně Geoprocessing se vyhledá funkce Compute Confusion Matrix, která vypočte chybovou matici (Obrázek 53). Do pole Input Accuracy Assessment Point se vloží vrstva obsahující náhodné body. Výsledek se pojmenuje a výpočet se spustí tlačítkem Run (Obrázek 54).



Obrázek 53 Nástroj pro tvorbu chybové matice

OBJECTID *	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Total	U_Accuracy	Kappa
1	C_1	5	5	0	0	2	12	0,416667	0
2	C_2	0	35	0	3	0	38	0,921053	0
3	C_3	0	4	6	0	0	10	0,6	0
4	C_4	2	4	0	11	6	23	0,478261	0
5	C_5	2	2	0	9	13	26	0,5	0
6	Total	9	50	6	23	21	109	0	0
7	P_Accuracy	0,555556	0,7	1	0,478261	0,619048	0	0,642202	0
8	Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0,513504

Obrázek 54 Chybová matice

Pro uložení výsledků do počítače ve formátu .xls se použije nástroj Table To Excel.

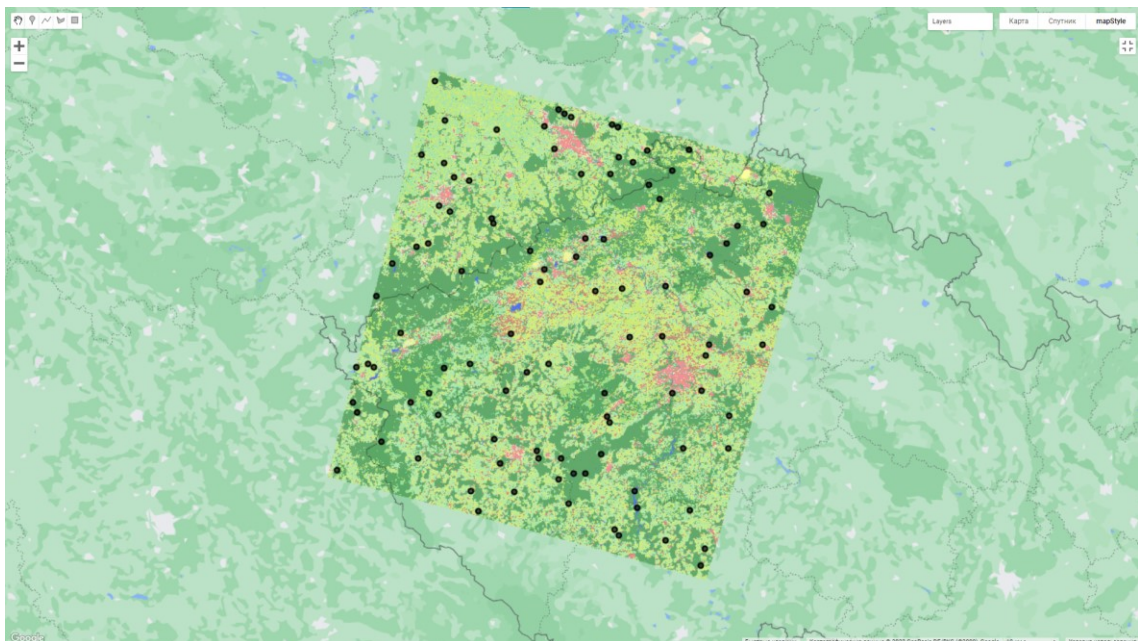
9.2.2 Google Earth Engine

Stratifikované náhodné body byly vytvořeny metodou `ee.Image.stratifiedSample`. Informace o bodech lze vypsat v konzoli (Obrázek 55). Body byly přidány na mapu (Obrázek 56).

```
var samplesStr = resultRemap.stratifiedSample({
  numPoints: 20,
  region: region,
  scale: 30,
  geometries: true,
});
print(samplesStr.getInfo());
Map.addLayer(samplesStr);
```

```
▼ FeatureCollection (100 elements, 1 column) JSON
  type: FeatureCollection
  ▶ columns: Object (1 property)
  ▼ features: List (100 elements)
    ▶ 0: Feature 0 (Point, 1 property)
    ▶ 1: Feature 1 (Point, 1 property)
    ▶ 2: Feature 2 (Point, 1 property)
    ▶ 3: Feature 3 (Point, 1 property)
    ▶ 4: Feature 4 (Point, 1 property)
    ▶ 5: Feature 5 (Point, 1 property)
    ▶ 6: Feature 6 (Point, 1 property)
    ▶ 7: Feature 7 (Point, 1 property)
    ▶ 8: Feature 8 (Point, 1 property)
    ▶ 9: Feature 9 (Point, 1 property)
    ▶ 10: Feature 10 (Point, 1 property)
    ▶ 11: Feature 11 (Point, 1 property)
    ▶ 12: Feature 12 (Point, 1 property)
    ▶ 13: Feature 13 (Point, 1 property)
```

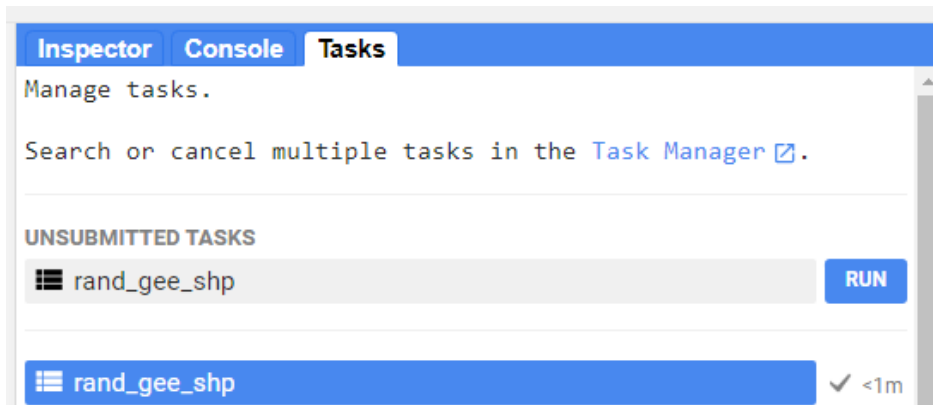
Obrázek 55 Informace o bodech



Obrázek 56 Ukázka souboru bodů přidávaného do mapového okna

Jelikož GEE neumožňuje práci s atributovou tabulkou body byly exportovány jako shapefile (Obrázek 57), dále byly nahrány do programu ArcGIS Pro, kde každému bodu byla přiřazena skutečná hodnota (Obrázek 58).

```
Export.table.toDrive({
  collection: samplesStr,
  description: 'rand_gee_shp',
  folder: 'thesis',
  fileFormat: 'SHP'
});
```



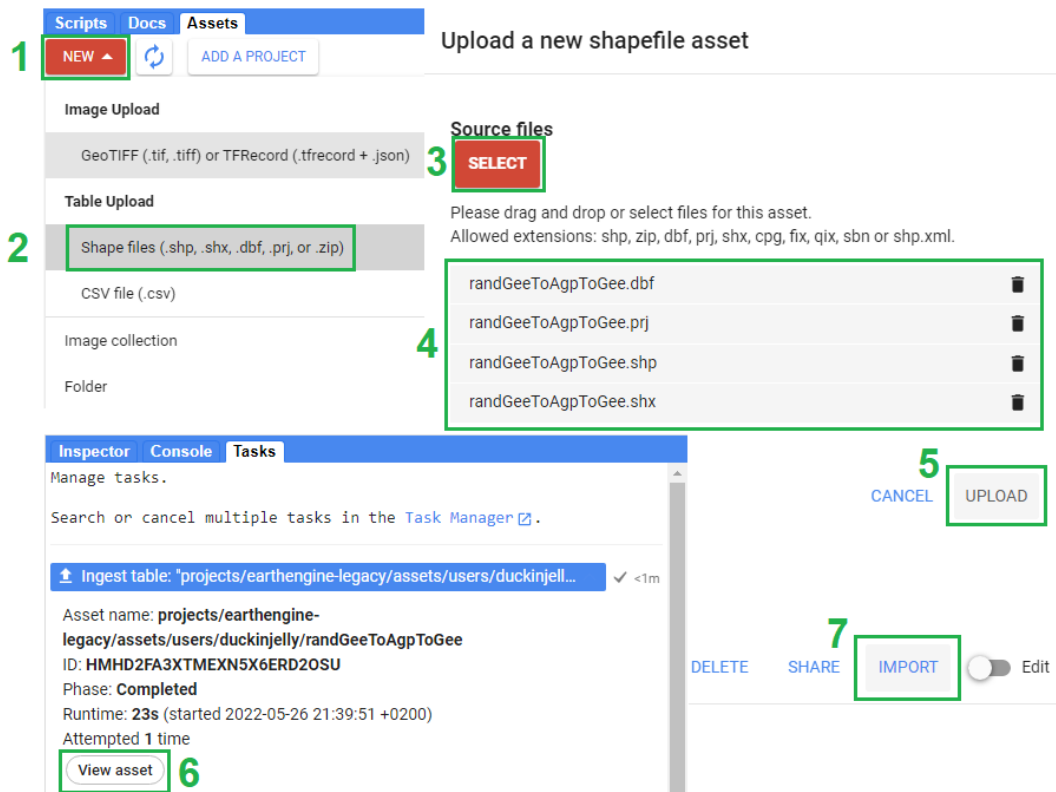
Obrázek 57 Procedura exportu shapefile s body

FID	Shape	remapped	GrndTruth
0	Point	1	0
1	Point	1	0
2	Point	1	0
3	Point	1	0
4	Point	1	0
5	Point	1	0
6	Point	1	0
7	Point	1	0
8	Point	1	0
9	Point	1	0
10	Point	1	0
11	Point	1	0
12	Point	1	0
13	Point	1	0
14	Point	1	0

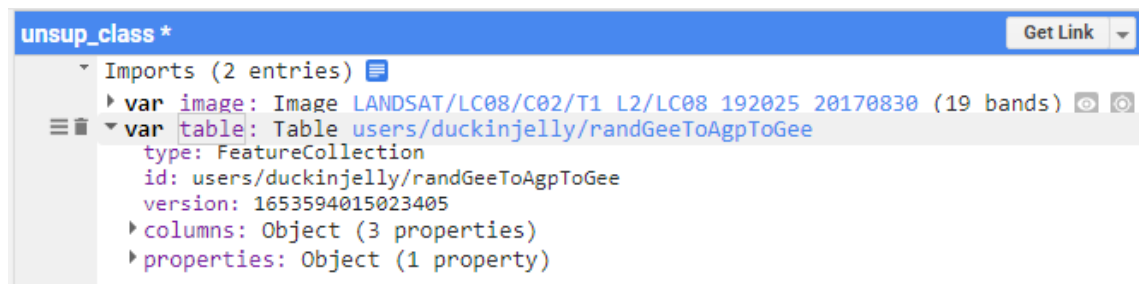
FID	Shape	remapped	GrndTruth
0	Point	1	1
1	Point	1	4
2	Point	1	1
3	Point	1	1
4	Point	1	1
5	Point	1	1
6	Point	1	1
7	Point	1	4
8	Point	1	1
9	Point	1	1
10	Point	1	1
11	Point	1	1
12	Point	1	2
13	Point	1	2
14	Point	1	1

Obrázek 58 Proces přiřazení bodu skutečné hodnoty

Pomocí karty Assets byl soubor nahrán zpátky do prostředí GEE (Obrázek 59). Proměnná table se zobrazí v hlavičce skriptu Imports (Obrázek 60).



Obrázek 59 Postup pro nahrání shapefile do GEE



Obrázek 60 Proměnná v části Imports

Dále byly aplikovány příkazy pro tvorbu chybové matice.

```
var errorMatrix = table.errorMatrix('remapped','GrndTruth');
var confusionMatrix = ee.ConfusionMatrix(errorMatrix1);
print(errorMatrix);
print(confusionMatrix)
print(confusionMatrix.kappa(), 'Kappa')
print(confusionMatrix.accuracy(), 'Accuracy')
print(confusionMatrix.producersAccuracy(), 'Producers Accuracy')
print(confusionMatrix.consumersAccuracy(), 'Consumers Accuracy')
```

Výsledky se zobrazí v konzoli (**Obrázek 61**).

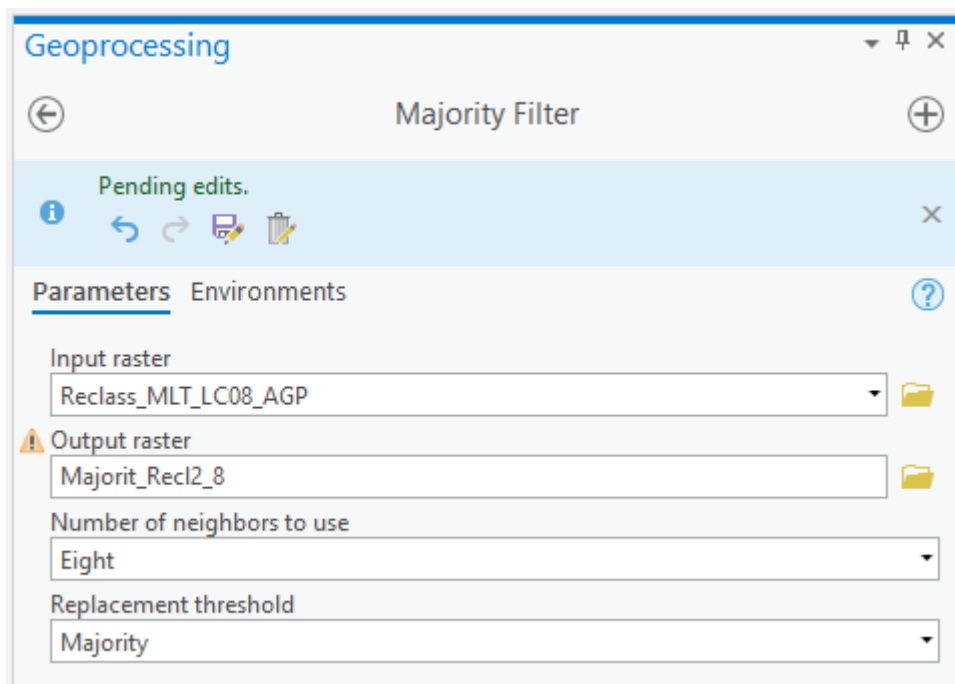
▼ List (6 elements)	JSON
▶ 0: [0,0,0,0,0,0]	
▶ 1: [0,14,4,0,2,0]	
▶ 2: [0,0,19,0,1,0]	
▶ 3: [0,0,0,20,0,0]	
▶ 4: [0,2,1,0,12,5]	
▶ 5: [0,1,0,0,14,5]	
Error Matrix	JSON
0.6249999999999999	
Kappa	JSON
0.7	
Accuracy	JSON
▶ [[0],[0.7],[0.95],[1],[0.6],[0.25]]	JSON
Producers Accuracy	JSON
▼ List (1 element)	JSON
▼ 0: List (6 elements)	
0: 0	
1: 0.8235294117647058	
2: 0.7916666666666666	
3: 1	
4: 0.41379310344827586	
5: 0.5	
Consumers Accuracy	JSON

Obrázek 61 Výsledky zhodnocení přesnosti

9.3 Filtrace obrazu

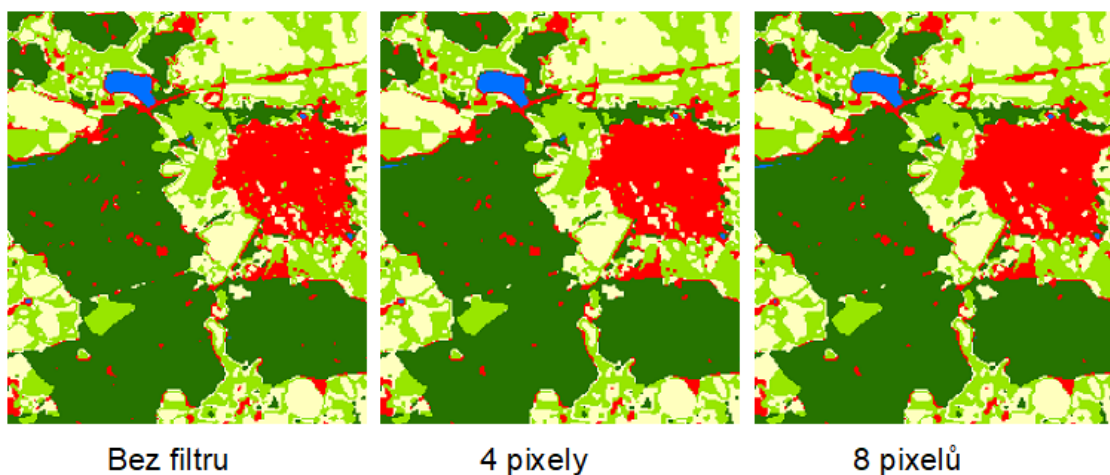
9.3.1 ArcGIS Pro

Pro postklasifikační úpravu lze v prostředí ArcGIS Pro použít nástroj Majority Filtr (Obrázek 62).



Obrázek 62 Nastavení pro nástroj Majoritní filtr

V rámci tohoto nástroje je možné definovat počet sousedních pixelů, které budou použity pro masku filtru – 4 nebo 8 (Obrázek 63). Byly provedeny obě filtrace a na základě vizuálního hodnocení bylo rozhodnuto, že výsledek po filtraci s oknem 3 × 3 je lepší.



Obrázek 63 Filtrace obrazu v ArcGIS Pro

9.3.2 Google Earth Engine

Pro odstranění efektu „sůl a pepř“ byly použity dva způsoby vyhlazení – pomocí módového filtru `ee.Image.focalMode` a průměrového filtru pro nejbližšího souseda `ee.Image.reduceNeighborhood`.

```

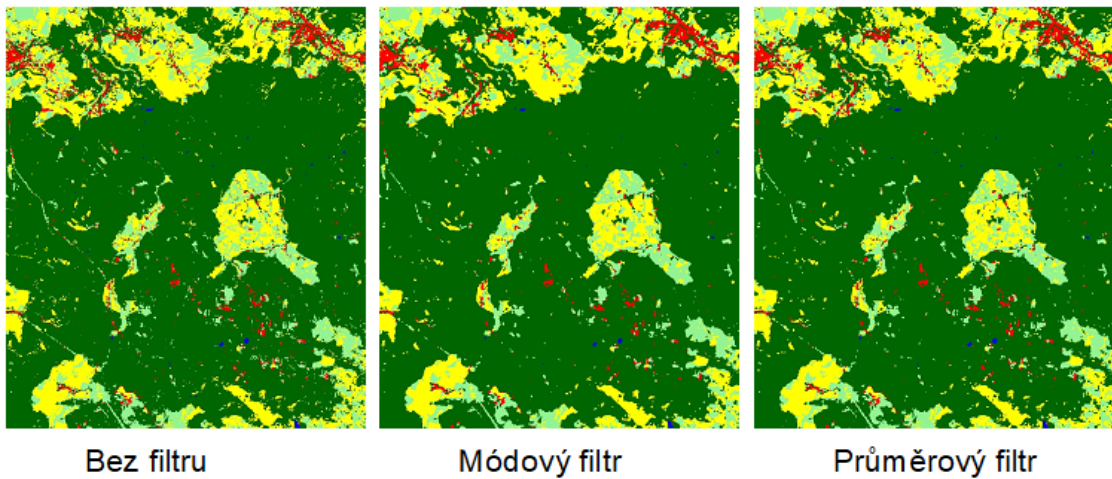
var vis_params = {min: 1, max: 5, palette:'red, darkgreen, blue,
lightgreen, yellow'};

var mode = resultRemap.focal_mode();
Map.addLayer(mode, vis_params, 'Mode');

var weights = [[1,2,1],
               [2,3,2],
               [1,2,1]];
var kernel = ee.Kernel.fixed(3,3,weights);
var weighted_mode = resultRemap.reduceNeighborhood({
  reducer: ee.Reducer.mode(),
  kernel: kernel
});
Map.addLayer(weighted_mode, vis_params, 'Weighted Mode')

```

Dle vizuálního vyhodnocení módový filtr nejlíp redukuje nedokonalosti klasifikace (Obrázek 64).



Obrázek 64 Filtrace obrazu v GEE

10 Export dat

Obrázky, dlaždice nebo tabulky lze v rámci Google Earth Engine exportovat na Google Disk pomocí funkce `Export.image.toDrive()`, do cloudového úložiště Google Storage pomocí `Export.image.toCloudStorage()` nebo do karty Assets pomocí `Export.image.toAsset()`. GEE neobsahuje nástroje pro tvorbu mapové kompozice, proto výstupy výpočtů byly exportovány jako soubory ve formátu GeoTIFF a nahrány do ArcGIS Pro pro další zpracování. Pro export je nutné nastavit oblast exportu. Byl exportován rastr s klasifikací na 15 spektrálních tříd, rastr s 5 informačními třídami a dva výstupy po nasazení vyhlazovacích filtrů.

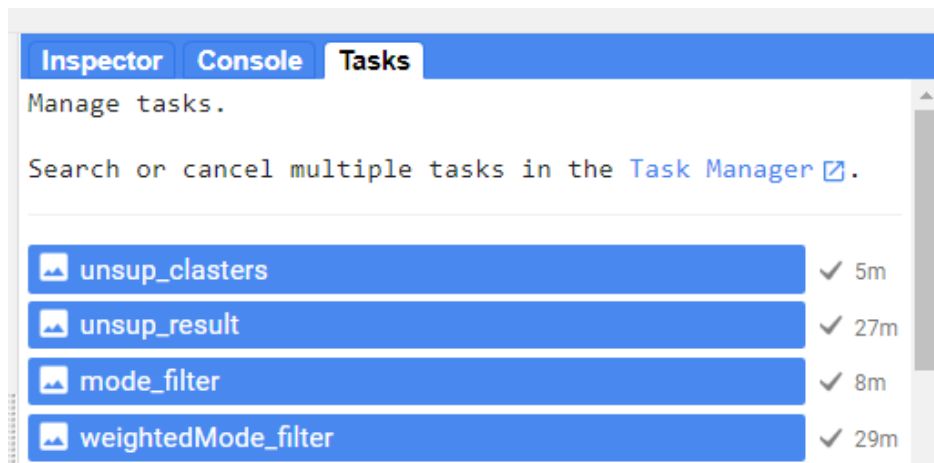
```
Export.image.toDrive({
  image: result,
  description: 'unsup_clusters',
  folder: 'thesis',
  region: region,
  scale: 30,
  crs: 'EPSG:5070',
});

Export.image.toDrive({
  image: resultRemap,
  description: 'unsup_result',
  folder: 'thesis',
  region: region,
  scale: 30,
  crs: 'EPSG:5070',
});

Export.image.toDrive({
  image: mode,
  description: 'mode_filter',
  folder: 'thesis',
  region: region,
  scale: 30,
  crs: 'EPSG:5070',
});

Export.image.toDrive({
  image: weighted_mode,
  description: 'weightedMode_filter',
  folder: 'thesis',
  region: region,
  scale: 30,
  crs: 'EPSG:5070',
});
```

Po spuštění skriptu požadavky na export se objeví v kartě Tasks. Po spuštění exportu pomocí tlačítka Run se zobrazí konfigurační dialog, ve kterém lze nastavit parametry exportu. Po úspěšném exportu se naproti úloze zobrazí fajfka a konečný čas trvání exportu (Obrázek 65).



Obrázek 65 Karta Tasks

11 Výsledky a diskuse

Slovo „cloudových“ v názvu této diplomové práce je možná poněkud zavádějící. Před zahájením práce se vycházelo z myšlenky, že software je zkrátka počítačový program, který běží v počítači a provádí nějakou činnost. S rozvojem cloud computingu tomu tak již není, proto po zahájení práce s literaturou bylo téměř okamžitě jasné, že vhodnější název by zněl „Využití cloudových a desktopových nástrojů pro zpracování dat DPZ“.

Pro tuto diplomovou práci byly vybrány dva diametrálně odlišné softwary.. Prvním je desktopový ArcGIS Pro, proprietární software od společnosti ESRI, a druhým je Earth Engine, software od společnosti Google. Ačkoli Google Earth Engine není open source software, je do něj integrována celá řada nástrojů dostupných uživateli zdarma a k práci využívá knihovny s otevřeným zdrojovým kódem JavaScript a Python.

V práci byla použita volně dostupná data z družice Landsat 8 ze dne 30. 8. 2017. Data byla vybrána s ohledem na roční období a míru oblačnosti.

Nejdříve byla data nahrána do obou pracovních prostředí. Ve vybraných nástrojích bylo provedeno radiometrické, prostorové a spektrální zvýraznění obrazu. Během těchto úkolů nedocházelo k žádným potížím.

V rámci diplomové práci byla provedena pixelově orientovaná neřízená klasifikace vybraného území. V prostředí ArcGIS Pro byl použit jediný algoritmus z nabídky – Iso Cluster. V programu Google Earth Engine byla neřízená klasifikace provedena pomocí metody K-means. Experimentálním způsobem bylo vybráno rozdělení do 15 spektrálních tříd, následně tyto třídy byly reklasifikovány (každému pixelu byla přiřazena nová hodnota) na 5 informačních tříd (1 – zastavěná oblast, 2 – les, 3 – vodní plocha, 4 – zelené pole, 5 – holé pole).

V nastudovaných materiálech na téma neřízené klasifikace v prostředí GEE chybělo dokončení klasifikace prostřednictvím rozdělení spektrálních shluků do informačních tříd. Tento problém byl vyřešen pomocí cyklu *for*, jehož výsledkem je 15 vrstev, kde každá vrstva obsahuje jen jednu třídu. Každé vrstvě následně byla přiřazena nová hodnota na základě vizuální interpretace.

Pro zhodnocení přesnosti klasifikace byly náhodné body vygenerovány stratifikované, neboť třídy 3 – vodní plocha a 1 – zastavěná oblast jsou patrně menší (dle rozlohy vypočtené procentuálně) než zbylé třídy. V následujících tabulkách je vypočteno procentuální zastoupení každé třídy (Tabulka 2, Tabulka 3).

Tabulka 2 Procentuální zastoupení informačních tříd v zájmovém území po klasifikaci v ArcGis Pro

Třída	Jméno třídy	Počet pixelů	Procento %
1	zastavěná oblast	4 810 253	12
2	les	15 940 617	38
3	vodní plocha	485 149	1
4	zelené pole	9 475 404	23
5	holé pole	10 874 372	26
Celkem		41 585 795	100

Tabulka 3 Procentuální zastoupení informačních tříd v zájmovém území po klasifikaci v GEE

Třída	Jméno třídy	Počet pixelů	Procento %
1	zastavěná oblast	2 404 567	6
2	les	16 546 284	41
3	vodní plocha	289 499	1
4	zelené pole	9 872 869	24
5	holé pole	11 614 230	28
Celkem		40 727 449	100

Bylo vygenerováno pouze 100 bodů v rámci ukázky práce s referenčními body. Dle Lillesand (5) by bylo vhodné pro danou oblast použít 500 bodů. V programu ArcGIS Pro množství bodů bylo samovolně navýšeno o 9 bodů. Každý bod byl porovnán s leteckými snímky a byla mu přiřazena buď stejná, nebo nová hodnota zařazení do třídy.

Výše popsaný proces kontroly hodnoty referenčních bodů se nepodařilo realizovat v prostředí GEE, proto byla data byla exportována jako shapefile a část procesu byla provedena v programu ArcGIS Pro. Poté byla nová atributová tabulka nahrána zpátky do GEE, kde se pokračovalo ve výpočtu chybové matice.

V následujících tabulkách jsou hodnoty chybové matice (Tabulka 4, Pro klasifikaci v ArcGIS Pro metodou ISO Cluster hodnota indexu Kappa je 0,51 % – nízká přesnost.

Tabulka 5).

Tabulka 4 Chybová matice pro klasifikaci metodou ISO Cluster v programu ArcGIS Pro

Třída	Referenční data					Počet pixelů
	1	2	3	4	5	
1	5	5	0	0	2	12
2	0	35	0	3	0	38
3	0	4	6	0	0	10
4	2	4	0	11	6	23
5	2	2	0	9	13	26

Pro klasifikaci v ArcGIS Pro metodou ISO Cluster hodnota indexu Kappa je 0,51 % – nízká přesnost.

Tabulka 5 Chybová matice pro klasifikaci metodou K-means v programu GEE

Třída	Referenční data					Počet pixelů
	1	2	3	4	5	
1	14	4	0	2	0	20
2	0	19	0	1	0	20
3	0	0	20	0	0	20
4	2	1	0	12	5	20
5	1	0	0	14	5	20

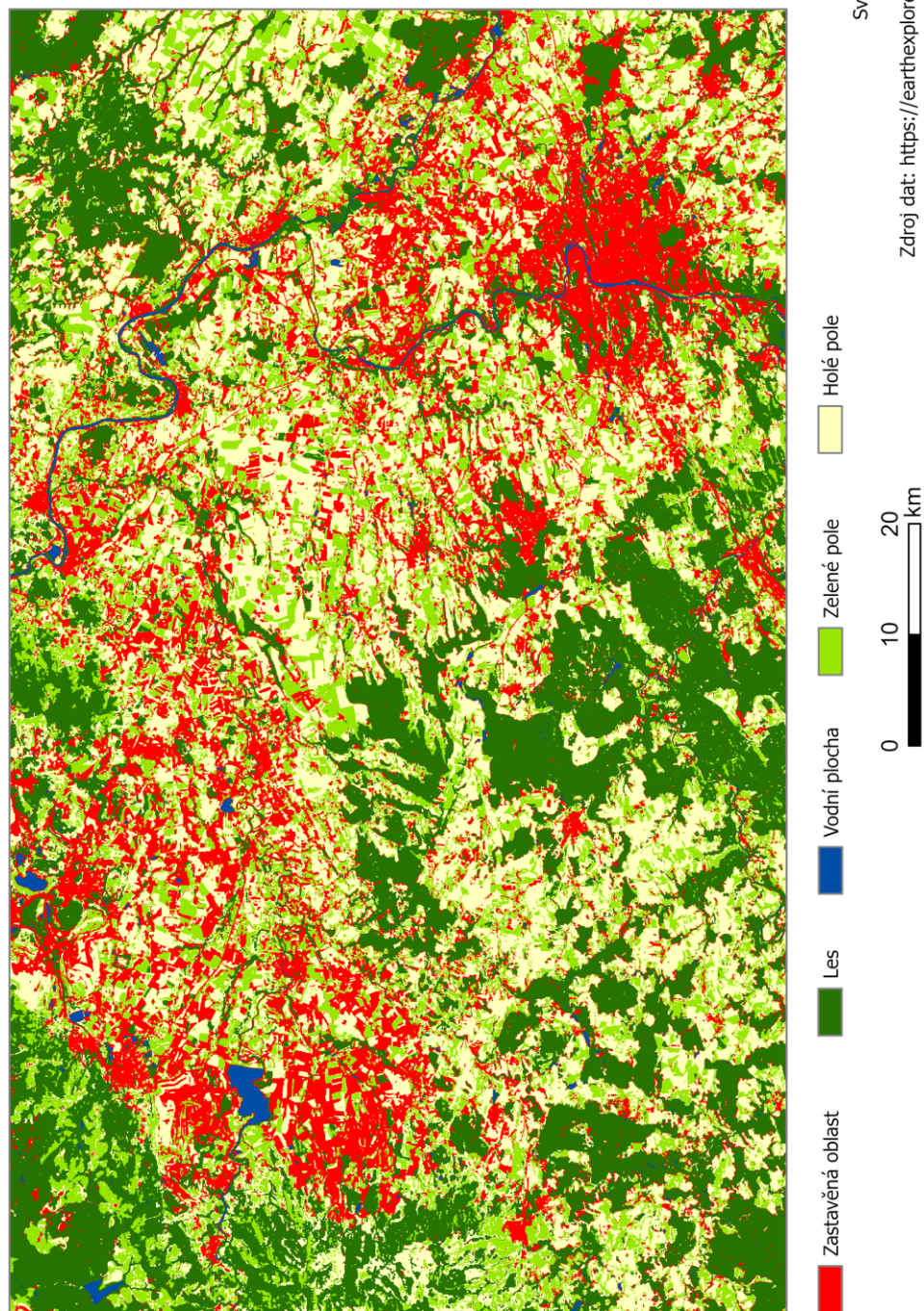
Pro klasifikaci v GEE metodou K-means je hodnota indexu Kappa 0,62 % – mírná přesnost.

Z chybové matice je patrné, že klasifikace provedená metodou K-Mean v prostředí Google Earth Engine je přesnější. V tuto chvíli je ale těžké vyhodnotit jestli je to zásluha algoritmů GEE, nebo je to použitím jiné klasifikační metody. Bohužel v rámci neřízené klasifikace mezi dvěma softwary nejsou metodické shody. Z tohoto důvodu by bylo vhodné provést například řízenou klasifikaci stejnou metodou v obou prostředích. Toto však je nad rámec dané diplomové práce, ale může posloužit jako inspirace pro navazující využití poznatků výzkumu.

ArcGIS Pro má všechny benefity klasického GIS softwaru, ale má i řadu nevýhod – např. je nutná licence a moderní počítač. V porovnání s ArcGIS Pro, cloudovou platformu GEE nemusí uživatel instalovat na svůj počítač, což dělá GEE přístupnější široké veřejnosti mimo obor. Pracovat se dá odkudkoliv, stačí mít jakékoliv zařízení (dokonce i mobil) s připojením k internetu. Uživatelský účet může, ale nemusí být vázaný na Google account. Pro užívání služeb uložení například Google Drive je lepší mít účet Google. Také GEE umožňuje snadno a rychle sdílet kód mezi uživateli pomocí odkazu. Primárně platforma slouží pro práci s „big data“ - výpočty probíhají v řádu vteřin. GEE nevypadá jako typický GIS program, spíše jako nástroj na rychlé analýzy.

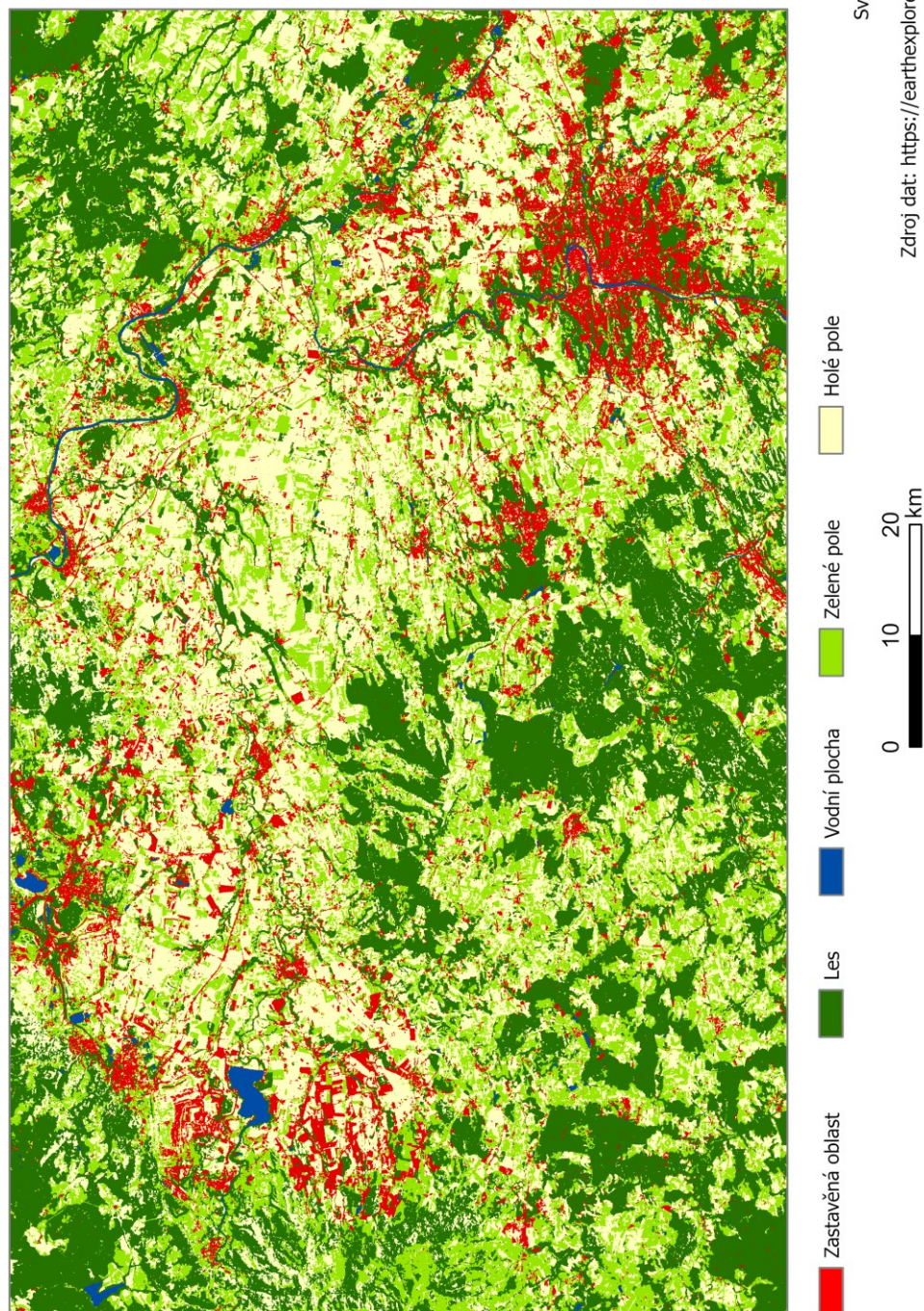
V prostředí GEE nelze tvořit mapové kompozice, proto byl výsledek neřízené klasifikace po aplikaci modálního filtru nahrán do programu ArcGIS Pro, kde byl opatřen všemi nezbytnými náležitostmi (Obrázek 66). Výsledek neřízené klasifikace provedené v ArcGIS Pro po aplikaci majoritního filtru byl následně reprezentován jako mapová kompozice (Obrázek 67).

NEŘÍZENÁ KLASIFIKACE DRUŽICOVÉHO SNÍMKU LANDSAT 8 metodou ISO Cluster



Obrázek 66 Klasifikace dat z družice Landsat 8 metodou ISO Cluster v prostředí ARCGIS Pro

NEŘÍZENÁ KLASIFIKACE DRUŽICOVÉHO SNÍMKU LANDSAT 8 metodou K-means



Obrázek 67 Klasifikace dat z družice Landsat 8 metodou K-means v prostředí Google Earth Engine

12 Závěr

V rámci diplomové práce byly prozkoumány nástroje, které jsou k dispozici pro zpracování dat DPZ, na základě rešerše byla vybrána vhodná data a dva softwarové nástroje pro jejich následné zpracování – ArcGIS Pro a Google Earth Engine.

Hlavním cílem této diplomové práce bylo vytvořit postupy pro zpracování obrazových dat jak v desktopovém, tak i v cloudovém prostředí. Scéna z družice Landsat 8 byla nahrána do softwarů a následně zvýrazněna. V rámci zpracování byla použita metoda pixelové neřízené klasifikace. Následovalo zhodnocení přesnosti výsledků klasifikace prostřednictvím matice chyb. Podle hodnot indexu Kappa lze usoudit, že neřízená klasifikace metodou K-means v prostředí GEE má uspokojivější výsledky než klasifikace metodou ISO Cluster v programu ArcGIS Pro.

Nakonec byly provedeny postklasifikační úpravy a výsledky byly reprezentovány ve formě mapových kompozicí.

Pro účely praktické části diplomové práce bylo nutné si osvojit základní nástroje pro práci s obrazovými daty v prostředí GEE a operace importu a exportu dat. Práce v GEE může být obtížnější bez znalosti základů DPZ než práce v ArcGIS Pro, z důvodu absence intuitivního GUI a nutnosti znalosti nějakého skriptovacího jazyka (Python nebo JavaScript). Nicméně díky vyvinuté uživatelské podpoře na webových stránkách GEE lze překážku v podobě psaní skriptu snadno zdolat.

Celý pracovní postup je k dispozici přes odkaz na platformě GEE. Otevřenost kódu skriptu umožňuje široké veřejnosti vyzkoušet práci v prostředí Google Earth Engine. Odkaz na pracovní postup v GEE: https://code.earthengine.google.com/?scriptPath=users%2Fduckinjelly%2Fthesis%3Aunsup_class

Seznam obrázků

Obrázek 1 Spektrální křivky (zelená – vegetace, červená – holá půda, modrá – voda) (19).....	13
Obrázek 2 Metody sběru dat pro DPZ (vlevo – aktivní, vpravo – pasivní) (20)	14
Obrázek 3 Spektrum elektromagnetického záření s pásmy používanými v DPZ (22).....	16
Obrázek 4 Geostacionární oběžná dráha (25).....	18
Obrázek 5 Nízká oběžná dráha (25).....	19
Obrázek 6 Polární oběžná dráha (25)	19
Obrázek 7 Časová osa misí Landsat (29)	21
Obrázek 8 Majoritní filtr (vlevo – původní klasifikace, uprostřed – filtrační okno 3 × 3, vpravo – filtrační okno 5 × 5) (52)	32
Obrázek 10 Metodické pokyny pro práci s daty	41
Obrázek 11 Loga (vlevo – Google Earth Engine, vpravo – ArcGis Pro) (67, 68)	42
Obrázek 12 Úvodní stránka GEE (69).....	42
Obrázek 13 Vývojové prostředí Google Earth Engine	45
Obrázek 14 Oblast zájmu	46
Obrázek 15 Družice Landsat 8 (71).....	47
Obrázek 16 Spektrální pásma družice Landsat 8 (72).....	47
Obrázek 17 Stránky s daty Landsat 8.....	48
Obrázek 18 Kolekce 2 úroveň-1 Landsat 8	48
Obrázek 19 Informace o scéně.....	49
Obrázek 20 Stopa letní scény zájmové oblasti.....	49
Obrázek 21 Pracovní oblast Catalog	50
Obrázek 22 Zobrazení nahraného snímku v panelu Contents	50
Obrázek 23 Multispektrální rastr zájmové oblasti vizualizovaný v přirozených barvách	51
Obrázek 24 Spektrální pásma	52
Obrázek 25 Vyhledávání dat	52
Obrázek 26 Imports	53
Obrázek 27 Výsledek funkce print.....	53
Obrázek 28 Okno pro export mapového stylu	54

Obrázek 29 Scéna z družice Landsat 8 v prostředí GEE	55
Obrázek 30 Nastavení pro histogram	55
Obrázek 31 Vizualizace různých nastavení histogramu	56
Obrázek 32 Panel pro ovládaní jasu, kontrastu, gamy	56
Obrázek 33 Nastavení parametru filtrace	57
Obrázek 34 Ukázka (vlevo – originální obraz, vpravo – výsledek aplikace filtrace)	57
Obrázek 35 Nástroj pro kombinaci spektrálních pásem	58
Obrázek 36 Okno pro definování kombinace pásem	58
Obrázek 37 Barevné syntézy	59
Obrázek 38 Okno pro nastavení vizualizačních parametrů	60
Obrázek 39 Obrázek Landsat 8 v pravých barvách	60
Obrázek 40 Ukázka vyhlazovacího filtru (vlevo původní obrazek, vpravo po aplikaci filtru)	61
Obrázek 41 Obraz v nepravých barvách – kombinace pásem 543	62
Obrázek 42 Nástroj pro neřízenou klasifikaci metodou ISO cluster	63
Obrázek 43 Výsledky neřízené klasifikace (vlevo – původní obraz, vpravo – obraz po filtraci)	64
Obrázek 44 Výsledek neřízené klasifikace pro 15 spektrálních tříd	65
Obrázek 45 Informační třídy	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 46 Výsledek neřízené klasifikace pro 5 informačních tříd	66
Obrázek 47 Balíček pro neřízenou klasifikaci	67
Obrázek 48 Ukázka výsledku shlukové analýzy K-means pro 15 spektrálních tříd	68
Obrázek 49 Ukázka výsledku neřízené klasifikace	69
Obrázek 50 Ukázka výsledku neřízené klasifikace – detail	69
Obrázek 51 Nastavení pro nástroj Create Accuracy Assessment Points	70
Obrázek 52 Vygenerované body metodou náhodné stratifikace	71
Obrázek 53 Tabulka s hodnotami příslušných tříd	71
Obrázek 54 Nástroj pro tvorbu chybové matice	72
Obrázek 55 Chybová matice	72
Obrázek 56 Informace o bodech	73
Obrázek 57 Ukázka souboru bodů přidaného do mapového okna	73
Obrázek 58 Procedura exportu shapefile s body	74

Obrázek 59 Proces přiřazení bodu skutečné hodnoty	74
Obrázek 60 Postup pro nahraní shapefile do GEE	75
Obrázek 61 Proměnná v části Imports	75
Obrázek 62 Výsledky zhodnocení přesnosti	76
Obrázek 63 Nastavení pro nástroj Majoritní filtr.....	77
Obrázek 64 Filtrace obrazu v ArcGIS Pro	77
Obrázek 65 Filtrace obrazu v GEE	78
Obrázek 66 Karta Tasks	80
Obrázek 67 Klasifikace dat z družice Landsat 8 metodou ISO Clusters v prostředí ARCGIS Pro.....	85
Obrázek 68 Klasifikace dat z družice Landsat 8 metodou K-means v prostředí Google Earth Engine	86

Seznam tabulek

Tabulka 1 Interpretace hodnot Kappa indexu (53)	35
Tabulka 2 Procentuální zastoupení informačních tříd v zájmovém území po klasifikaci v ArcGis Pro.....	82
Tabulka 3 Procentuální zastoupení informačních tříd v zájmovém území po klasifikaci v GEE	82
Tabulka 4 Chybová matice pro klasifikaci metodou ISO Cluster v programu ArcGIS Pro.....	83
Tabulka 5 Chybová matice pro klasifikaci metodou K-means v programu GEE	83

Seznam použité literatury

1. HALOUNOVÁ, L. a PAVELKA, K. *Dálkový průzkum Země*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN: 978-80-01-03124-7
2. CAMPBELL, J. B. a WYNNE, R. H. *Introduction to remote sensing*. 5th ed. New York: Guilford Press, 2011. ISBN: 978-1-60918-176-5
3. HALOUNOVÁ, L. *Zpracování obrazových dat*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2009. ISBN: 978-80-01-04253-3
4. DOBROVOLNÝ, R. *Dálkový průzkum Země, Digitální zpracování obrazu*. Brno: Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, 1998. ISBN: 978-80-210-1812-9
5. LILLESAND, T. M., KIEFER R. W., CHIPMAN, J. W. *Remote sensing and image interpretation*. Seventh edition. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc, 2015. ISBN: 978-1-118-34328-9
6. GIS and Remote Sensing Software [online]. Dostupné z: https://www.un-spider.org/links-and-resources/gis-rs-software?field_sw_type_value=webproc&field_sw_dataformat_value=All&field_sw_scope_value=All&field_sw_prog_value=All&field_sw_accessability_value=All&field_sw_gui_value=All&field_sw_os_value=All&field_sw_filetype_value=All&field_sw_costs_value=All&title=&field_hazard_type_target_id=All&sort_by=title&sort_order=ASC
7. PARECE, T. E., McGEE, J.A., CAMPBELL, J. B. *Remote sensing with ArcGIS Pro*. 2019. ISBN: 978-1-79757-098-3
8. Esri Training [online]. Dostupné z: <https://www.esri.com/training/catalog/5ce42f4388c6106da2d53044/image-classification-using-arcgis/>
9. GORELICK, N., HANCHER, M., DIXON M., ILYUSHCHENKO, S., THAU, D., MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. In: *Remote Sensing of Environment*. [online]. [vid. 20. prosince 2021]. 202, 2017, s.18–27. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425717302900>
10. Google Earth Engine [online]. Dostupné z: <https://developers.google.com/earth-engine/>
11. Data Sources [online]. Dostupné z: <https://www.un-spider.org/links-and-resources/data-sources>

12. 5 free satellite imagery sources to drive insights on your own. [online] Dostupné z: <https://www.geospatialworld.net/blogs/5-free-satellite-imagery-sources-to-drive-insights-on-your-own/>
13. EarthExplorer [online]. [vid. 24. května 2022]. Dostupné z: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
14. Copernicus Open Access Hub. [online] Dostupné z: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.
15. KLASIFIKACE KRAJINNÉHO POKRYVU VE VYBRANÝCH ÚZEMÍCH ETIOPIE POMOCÍ KLASIFIKÁTORU STROJOVÉHO UČENÍ [online]. Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/151124/120401614.pdf?sequence=1>
16. Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí. [online] Dostupné z: [http://www.slovníkuczku.eu/termin.php?jazykova_verze=&tid=1038&l=dalkovy-pruzkum-zeme-\(dpz\)](http://www.slovníkuczku.eu/termin.php?jazykova_verze=&tid=1038&l=dalkovy-pruzkum-zeme-(dpz)).
17. SABINS, F. F. a ELLIS, J. M. *Remote Sensing: Principles, Interpretation, and Applications*. Fourth Edition [online]. Long Grove: Waveland Press, 2020. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=rAnaDwAAQBAJ> ISBN: 978-1-4786-4506-1
18. MATHER, P. a TSO, B. *Classification Methods for Remotely Sensed Data*. [online]. CRC Press, 2001. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=oul5HSj0pKEC> ISBN: 978-0-203-30356-6
19. Distinguishing clouds and cloud-free areas. [online] Dostupné z: <http://www.eumetrain.org/data/4/461/navmenu.php?tab=5&page=2.0.0>.
20. What is remote sensing. [online] Dostupné z: <http://www.senteksystems.com/2015/11/17/what-is-remote-sensing-1/>.
21. Družicová data. [online] Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/druzicova-data>.
22. PETTORELLI, N., BÜHNE, H. S. T., SHAPIRO, A., GLOVER-KAPFER P. *Conservation Technology Series Issue 4: SATELLITE REMOTE SENSING FOR CONSERVATION*. 2018 [vid. 22. května 2022]; Dostupné z: <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.25962.41926> DOI: 10.13140/RG.2.2.25962.41926

23. UCS Satellite Database. [online] Dostupné z: www.ucsusa.org/satellite_database.
24. [online] Dostupné z: <http://stuffin.space/>.
25. Transfer orbits and geostationary transfer orbit (GTO). [online] Dostupné z: https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Types_of_orbits#GTO.
26. PLÁNKA, L. Dálkový průzkum Země: Přístrojová technika. [výukový materiál] Brno: VUT 2007.
27. Open Data Satellites. [online] Dostupné z: <https://gisgeography.com/earth-satellite-list/#chapter1>.
28. Landsat Satellite Missions. [online] Dostupné z: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-satellite-missions>.
29. 5262-Landsat-timeline-FNL-2.jpg (1125 × 750) [online]. [vid. 24. května 2022]. Dostupné z: <https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/thumbnails/image/5262-Landsat-timeline-FNL-2.jpg>
30. Landsat Collections. [online] Dostupné z: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collections>.
31. Landsat Collection 1. [online] Dostupné z: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-1>.
32. Landsat Collection 2. [online] Dostupné z: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2>.
33. O programu Copernicus. [online] Dostupné z: <https://www.copernicus.eu/cs/o-programu-copernicus>.
34. Sentinel-1. [online] Dostupné z: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1>.
35. Sentinel-2. [online] Dostupné z: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2>.
36. Sentinel-3. [online] Dostupné z: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3>.
37. Sentinel-4. [online] Dostupné z: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-4>.
38. Sentinel-5. [online] Dostupné z: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5>.
39. Sentinel-5P. [online] Dostupné z: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p>.

40. Copernicus Sentinel-6 Michael Freilich. [online] Dostupné z: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-6>.
41. Sentinel 6. World from space. [online] Dostupné z: <https://worldfrom.space/cs/sentinel-6/>.
42. SPOT. [online] Dostupné z: <https://earth.esa.int/eogateway/missions/spot>.
43. Satellite Pour l'Observation de la Terre (SPOT). [online] Dostupné z: <https://gisgeography.com/spot-satellite-pour-observation-terre/>.
44. RADARSAT. [online] Dostupné z: <https://earth.esa.int/eogateway/missions/radarsat>.
45. RADARSAT Constellation Mission. [online] Dostupné z: <https://www.nrcan.gc.ca/science-and-data/research-centres-and-labs/canada-centre-remote-sensing/radarsat-constellation-mission/21831>.
46. SVATOŇOVÁ, H. a LAUERMANN, L. *Dálkový průzkum Země – aktuální zdroj geografických informací*. [online]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/ped/podzim2014/Ze2RC_GIK5/um/Dalkovy_pruzkum_Zeme_11_5.pdf
47. Introduction to Image Classification: Web Course, 2020. Esri Academy [online]. Sep 25, 2020 [vid. 21. prosince 2021]. Dostupné z: <https://www.esri.com/training/catalog/5c0ff7155daae879f4879239/introduction-to-image-classification/>.
48. Performing Unsupervised Pixel-Based Image Classification. [online] Dostupné z: <https://www.esri.com/training/catalog/5c6caa568334bc4573a83335/performing-unsupervised-pixel-based-image-classification/>.
49. LIU, D. a XIA, F. Assessing object-based classification: advantages and limitations. In: *Remote Sensing Letters*, 1(4) 2010, s. 187–194, DOI: 10.1080/01431161003743173.
50. What is deep learning? 3 things you need to know. [online] Dostupné z: <https://www.mathworks.com/discovery/deep-learning.html>.
51. LeCUN, Y., BENGIO, Y. a HINTON, G. Deep learning. In: *Nature*. 521, 2015, s. 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>.
52. [online] Dostupné z: https://enmap-box.readthedocs.io/en/latest/usr_section/usr_cookbook/generic_filter.html.
53. McHUGH, M. L. Interrater reliability: the kappa statistic. In: *Biochem Medica*. 22(3) 2012, s.276–82.
54. Mapping and visualization in ArcGIS for Desktop. [online] Dostupné z: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/main/map/mapping-and-visualization-in-arcgis-for-desktop.htm>.

55. What is ArcMap? [online] Dostupné z: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/main/map/what-is-arcmap-.htm>.
56. A quick tour of ArcMap. [online] Dostupné z: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/get-started/introduction/a-quick-tour-of-arcmap.htm>.
57. About ArcGIS Pro. [online] Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/get-started/get-started.htm>.
58. ArcMap Continued Support. ArcGIS Blog. [online] Dostupné z: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-desktop/announcements/arcmap-continued-support/>.
59. Výroční zpráva za rok 2019. ARCDATA PRAHA. [online] Dostupné z: http://download.arcdata.cz/doc/vyrocní_zprava/Vyrocní-zprava-za-rok-2019.pdf.
60. ENVI. [online] Dostupné z: <https://www.l3harrisgeospatial.com/Software-Technology/ENVI>.
61. The World's Preferred Remote Sensing Software Package. [online] Dostupné z: <https://www.hexagongeospatial.com/products/power-portfolio/erdas-imagine>.
62. GRASS-Wiki. [online] Dostupné z: <https://grasswiki.osgeo.org/wiki/GRASS-Wiki>.
63. Školení QGIS pro začátečníky. [online] Dostupné z: <https://training.gismentors.eu/qgis-zacatecnik/>.
64. QGIS. GRASS-Wiki. [online] Dostupné z: <https://grasswiki.osgeo.org/wiki/QGIS>.
65. ArcGIS Online. [online] Dostupné z: <https://www.esri.com/cs-cz/arcgis/products/arcgis-online/overview>.
66. FAQ. Google Earth Engine. [online] Dostupné z: <https://earthengine.google.com/faq/>.
67. Earth Engine logo [obrázek] Dostupné z: <https://earthengine.google.com/static/images/earth-engine-logo.png>.
68. ArcGIS Pro logo [obrázek] Dostupné z: <https://www.esri.com/content/dam/esrisites/en-us/common/icons/product-logos/ArcGIS-Pro.png>.
69. Google Earth Engine. [online] Dostupné z: <https://earthengine.google.com>.
70. Earth Engine Code Editor. [online] Dostupné z: <https://developers.google.com/earth-engine/guides/playground>.

71. Landsat 8 Bands and Band Combinations. [online] Dostupné z:
<https://gisgeography.com/landsat-8-bands-combinations/>.
72. Landsat 8. [online] Dostupné z:
<https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8>.