

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní

Využití automatické klasifikace družicových snímků
pro sledování změn v krajině

Bc. Martina Vlačihová

Diplomová práce

2018

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martina Vlačihová**
Osobní číslo: **E160008**
Studijní program: **N6209 Systémové inženýrství a informatika**
Studijní obor: **Regionální a informační management**
Název tématu: **Využití automatické klasifikace družicových snímků pro sledování změn v krajině**
Zadávací katedra: **Ústav systémového inženýrství a informatiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je využití automatické klasifikace obrazu pro sledování změn v krajině. Práce bude obsahovat charakteristiku vybraných klasifikací obrazu a příkladovou studii s využitím vybraných metod pro detekci změn v krajině.

Osnova:

- Dálkový průzkum Země a digitální zpracování obrazu.
- Krajina a sledování změn v krajině.
- Využití družicových dat pro sledování změn v krajině.
- Vybrané družicové systémy.
- Automatická klasifikace obrazu.
- Vizualizace a interpretace výsledků.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **55 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- CAMPBELL, J., B.WYNNE, R., H. Introduction to remote sensing. 5th ed. New York: Guilford Press, c2011. ISBN 16-091-8176-X.
DOBROVOLNÝ, Petr. Dálkový průzkum Země: Digitální zpracování obrazu. Brno: MU Brno, 1998, 210 s. ISBN 80-210-1812-7.
HALOUNOVÁ, L.,PAVELKA, K. Dálkový průzkum Země. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 192 s. ISBN 80-01-03124-1.
LILLESAND, T., M., KIEFER, R. W., CHIPMAN, J. W. Remote Sensing and Image Interpretation. 6th ed. Hoboken: Wiley, 2008. 756 s. ISBN 978-0-470-05245-7.
LONGLEY, P., A. et. al. Geographic Information Systems and Science. 3rd ed. Hoboken: Wiley, 2011. 539 s. ISBN 978-0-470-72144-5.
SVATOŇOVÁ, H., LAUERMAN, L. Dálkový průzkum Země - aktuální zdroj geografických informací: poema. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2010, 96 s. ISBN 978-80-210-5162-1.
VOŽENÍLEK, V. Geografické informační systémy I: pojetí, historie, základní komponenty, 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 1998. 173 s. ISBN 80-7067-802-X.



Vedoucí diplomové práce:

Mgr. Pavel Sedlák, Ph.D.

Ústav systémového inženýrství a informatiky

Datum zadání diplomové práce:

1. září 2017

Termín odevzdání diplomové práce:

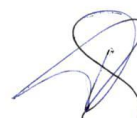
30. dubna 2018

doc. Ing. Romana Provaníková, Ph.D.
děkanká



L.S.

doc. Ing. Pavel Petr, Ph.D.
vedoucí ústavu



V Pardubicích dne 1. září 2017

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji:

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

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

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 30. 4. 2018

Martina Vlačíhová

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych velmi ráda poděkovala svému vedoucímu diplomové práce Mgr. Pavlovi Sedlákovi, Ph.D. za jeho odbornou pomoc, názory, připomínky, cenné rady a poskytnuté materiály, které mi pomohly při zpracování diplomové práce.

ANOTACE

Tato diplomová práce je věnována problematice využití automatické klasifikace obrazu pro sledování změn v krajině. Práce obsahuje charakteristiku vybraných klasifikací obrazu. S využitím vybraných metod byly snímky oklasifikovány. V práci jsou využity algoritmy řízené i neřízené klasifikace. Snímky z družice Landsat 8 a Sentinel-2 byly oklasifikovány pro rok 2017.

KLÍČOVÁ SLOVA

Letecké snímkování, dálkový průzkum Země, detekce změn, družicové snímkování, automatická klasifikace

TITLE

Using automatic classification of satellite imagery to monitor landscape changes

ANNOTATION

This diploma thesis deals with the use of automatic image classification for monitoring changes in the landscape. The work contains the characteristics of selected image classifications. Using the selected methods, the frames were categorized. The algorithms of both controlled and uncontrolled classification are used in the thesis. The Landsat 8 and Sentinel-2 images were classified for 2017.

KEYWORDS

Aerial photography, remote sensing, change detection, satellite imagery, automatic classification

OBSAH

ÚVOD	19
1 DÁLKOVÝ PRŮZKUMU ZEMĚ A DIGITÁLNÍ ZPRACOVÁNÍ DAT	20
1.1 DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ	20
1.1.1 <i>Metody DPZ</i>	20
1.1.2 <i>Letecké a družicové snímkování</i>	21
1.1.3 <i>Data DPZ</i>	22
1.2 DIGITÁLNÍ ZPRACOVÁNÍ OBRAZU	24
2 KRAJINA A SLEDOVÁNÍ ZMĚN V KRAJINĚ	26
3 DRUŽICOVÉ SYSTÉMY	27
3.1 ROZDĚLENÍ DRUŽICOVÝCH SYSTÉMŮ DLE PROSTOROVÉHO ROZLIŠENÍ	27
3.1.1 <i>Nízké a střední rozlišení</i>	27
3.1.2 <i>Vysoké rozlišení</i>	27
3.1.3 <i>Velmi vysoké rozlišení</i>	28
4 EVROPSKÁ KOSMICKÁ AGENTURA	29
4.1 PROJEKTY ESA A EU	30
4.1.1 <i>EGNOS</i>	30
4.1.2 <i>Galileo</i>	30
4.1.3 <i>Copernicus</i>	31
4.2 SENTINEL SCIENTIFIC DATA HUB	31
5 SOFTWARE NÁSTROJE PRO DIGITÁLNÍ ZPRACOVÁNÍ OBRAZU	32
5.1 SENTINEL TOOLS	32
5.2 ARCGIS FOR DESKTOP	33
5.3 ERDAS IMAGINE	34
5.3.1 <i>ERDAS extenze pro ArcGIS Desktop</i>	35
5.4 ENVI	36
6 VYUŽITÍ DRUŽICOVÝCH DAT PRO SLEDOVÁNÍ ZMĚN V KRAJINĚ	37
7 KLASIFIKACE OBRAZU	42
7.1 ŘÍZENÁ KLASIFIKACE OBRAZU	42
7.1.1 <i>Hodnocení klasifikace</i>	43
8 KLASIFIKACE OBRAZU VYBRANÉHO ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	44
8.1 VYMEZENÍ ÚZEMÍ	44
8.2 BLIŽŠÍ SPECIFIKACE ZVOLENÉHO ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	45
8.3 VÝBĚR A SBĚR DAT	46
8.4 ZPRACOVÁNÍ A KLASIFIKACE DAT	52
8.4.1 <i>Klasifikační schéma</i>	53
8.4.2 <i>ISO Cluster</i>	55
8.4.3 <i>Metoda Maximum Likelihood Classification</i>	59
8.4.4 <i>Metoda Class Probability</i>	64
8.4.5 <i>Porovnání klasifikačních metod</i>	66
8.5 VÝPOČTY ROZLOH	67
9 INTERPRETACE VÝLEDKŮ	70
ZÁVĚR	73
POUŽITÁ LITERATURA	74

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obrázek 1 - Zájmové území	44
Obrázek 2 - Grafické znázornění obchvatu (silnice I/37).....	46
Obrázek 3 - Úvodní obrazovka Copernicus Open Access Hub.....	48
Obrázek 4 - Úvodní obrazovka USGS.....	49
Obrázek 5 - Záběr scény snímané družicí Sentinel-2	50
Obrázek 6 - Záběr scény snímané družicí Landsat 8	51
Obrázek 7 - Záběr scény snímané družicí Sentinel-2A (Copernicus Open Access Hub)	51
Obrázek 8 - Reklasifikace referenčních dat	55
Obrázek 9 - Náhled na klasifikace metodou ISO Cluster z dat Sentinel-2.....	56
Obrázek 10 - Náhled na klasifikace metodou ISO Cluster z dat Landsat 8	58
Obrázek 11 - Vytvořené trénovací plochy z dat Sentinel-2.....	60
Obrázek 12 - Náhled na klasifikaci před provedením reklasifikace z dat Sentinel-2.....	60
Obrázek 13 - Náhled na klasifikaci metodou Maximum Likelihood z dat Sentinel-2	61
Obrázek 14 - Vytvořené trénovací plochy z dat Landsat 8	62
Obrázek 15 - Náhled na klasifikaci před provedením reklasifikace z dat Landsat 8	62
Obrázek 16 - Náhled na klasifikaci metodou Maximum Likelihood z dat Landsat 8	63
Obrázek 17 - Náhled na klasifikaci metodou Class Probability z dat Sentinel-2.....	64
Obrázek 18 - Náhled na klasifikaci metodou Class Probability z dat Landsat 8	65
Obrázek 19 - Úvodní obrazovka EarthExplorer	83
Obrázek 20 - Stažení dat: Krok 1 - 3	84
Obrázek 21 - Stažení dat: Krok 4	85
Obrázek 22 - Stažení dat: Krok 5 - 7	86
Obrázek 23 - Stažení dat: Krok 8 - 9	87
Obrázek 24 - Stažení dat: Krok 10 - 11	88
Obrázek 25 - Stažení dat: Krok 12	88
Obrázek 26 - Pořízený snímek z družice Sentinel-2.....	89
Obrázek 27 - Pořízený snímek z družice Landsat 8	90
Obrázek 28 - Vybrané zájmové území (Sentinel-2)	91
Obrázek 29 - Vybrané zájmové území (Landsat 8)	92
Obrázek 30 - Přehled pásem pořízených z družice Sentinel-2	94
Obrázek 31 - Přehled pásem pořízených z družice Landsat 8	95
Obrázek 32 - Mapový výstup ruční klasifikace z bakalářské práce	96
Obrázek 33 - Rastrová podoba referenčních dat.....	97
Obrázek 34 - Klasifikace území metodou ISO Cluster (5 tříd) z dat Sentinel-2	98
Obrázek 35 - Klasifikace území metodou ISO Cluster (17 tříd) z dat Sentinel-2	99
Obrázek 36 - Klasifikace území metodou ISO Cluster (5 tříd) z dat Landsat 8.....	100
Obrázek 37 - Klasifikace území metodou Maximum Likelihood z dat Sentinel-2	101
Obrázek 38 - Klasifikace území metodou Maximum Likelihood z dat Landsat 8.....	102
Obrázek 39 - Klasifikace území metodou Class Probability z dat Sentinel-2.....	103
Obrázek 40 - Klasifikace území metodou Class Probability z dat Landsat 8.....	104

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 - Změna výměry ploch	69
-----------------------------------	----

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Přehled pásem a parametrů družice Sentinel-2	47
Tabulka 2 - Přehled pásem a parametrů družice Landsat 7 a Landsat 8	48
Tabulka 3 - Klasifikace ploch v roce 2014	53
Tabulka 4 - Klasifikace ploch v roce 2017	54
Tabulka 5 - Kategorie pro klasifikaci	54
Tabulka 6 - Zařazení bodů do kategorie metodou ISO Cluster z dat Sentinel-2 (5 tříd).....	57
Tabulka 7 - Zařazení bodů do kategorie metodou ISO Cluster z dat Sentinel-2 (17 tříd).....	57
Tabulka 8 - Zařazení bodů do kategorie metodou ISO Cluster z dat Landsat 8 (5 tříd)	59
Tabulka 9 - Zařazení bodů do kategorie metodou Maximum Likelihood z dat Sentinel-2.....	61
Tabulka 10 - Zařazení bodů do kategorie metodou Maximum Likelihood z dat Landsat 8	63
Tabulka 11 - Zařazení bodů do kategorie metodou Class Probability z dat Sentinel-2	65
Tabulka 12 - Zařazení bodů do kategorie metodou Class Probability z dat Landsat 8	66
Tabulka 13 - Porovnání klasifikačních metod z dat Sentinel-2	66
Tabulka 14 - Porovnání klasifikačních metod z dat Landsat 8.....	67
Tabulka 15 - Poměrné zastoupení kategorií v roce 2017	68
Tabulka 16 - Poměrné zastoupení kategorií v roce 2014	69
Tabulka 17 - Změna výměry.....	69

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

AHP	Analytický hierarchický proces
DPZ	Dálkový průzkum Země
EAC	European Astronaut Centre
EEA	European Economic Area
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
EK	Evropská komise
ESA	European Space Agency
ESAC	European Space Astronomy Centre
ESOC	European Space Operations Centre
ESRIN	ESA's European Space Research Institute
ESTEC	European Space Research and Technology Centre
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus
EU	Evropská unie
GIS	Geografické informační systémy
GEOSS	Global Earth Observation System of Systems
GMES	Global Monitoring for Environment and Security
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GSD	Ground Sampling Distance
GVI	Global Vegetation Index
HDP	Hrubý domácí produkt
HR	High Resolution
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
LC	Land Cover
LR	Low Resolution

LU	Land Use
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MR	Medium Resolution
MSAVI	Modified Soil-Adjusted Vegetation Index
MSI	Multi Spectral Instrument
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
OLI	Operational Land Image
ORP	Obce s rozšířenou působností
RGB	Red Green Blue
SAVI	Soil-Adjusted Vegetation Index
SNAP	Sentinel Application Platform
TIRS	Thermal Infrared Sensor
VHR	Very High Resolution

ÚVOD

V současné době jsou možnosti mapování Země velké. Pro území České republiky je k dispozici velké množství dat, které se dají využít pro účely hodnocení vývoje krajiny. Jsou to např. staré mapy či dřívější evidence pozemků, avšak pro poznání vývoje změn v krajině nám nejvíce napomáhají data z dálkového průzkumu Země (DPZ), kam se řadí letecké a družicové snímky. [10]

Podle [10] se dálkový průzkum Země v posledních letech dostal do povědomí širokého okruhu odborné i laické veřejnosti a družicové snímky nacházejí stále větší uplatnění v nejrůznějších oborech lidské činnosti. Tento rozvoj má různé příčiny. Získávání informací o zemském povrchu či o atmosféře snímání z družic má oproti klasickým způsobům mapování řadu výhod jako je ekonomická stránka věci, rychlost či operativnost. Nevýhodou je například omezené prostorové rozlišení, které je postupně překonáváno. Data pořízená metodami dálkového průzkumu Země jsou využívána ve stále větším počtu aplikací. Mohutný rozvoj výpočetní techniky značně zjednodušil dříve náročné zpracovatelské metody, kterým bylo možno získat z uvedených dat potřebnou informaci. Tento rozvoj dále zpřístupnil obrazová data většímu okruhu potenciálních uživatelů.

Přírodní krajina využívaná člověkem je v neustálém vývoji a podléhá změnám. Ke změnám v krajině dochází hlavně přímými zásahy a vlivy lidské společnosti v průběhu historického vývoje, proto je potřeba dané změny v krajině monitorovat a vyhodnocovat.

Cílem diplomové práce je zjistit změny v krajině na základě družicových snímků při využití automatické klasifikace.

Podkladem práce jsou stažené družicové snímky a další dostupné materiály. V práci je nejprve objasněna obecná charakteristika a objasnění pojmů dálkového průzkumu Země, družicových systémů a charakteristiky vybraných klasifikací obrazu. S využitím vybraných metod bylo zájmové území oklasifikováno.

1 DÁLKOVÝ PRŮZKUMU ZEMĚ A DIGITÁLNÍ ZPRACOVÁNÍ DAT

Dálkový průzkum Země je jednou z moderních geoinformačních technologií. Jde o zkoumání zemského povrchu (vody i souše), ale i dolních vrstev atmosféry, případně také určité vrstvy sedimentů či vrstvy vodního sloupce, ale také i o zkoumání jevů a procesů, které zde probíhají na dálku. [10]

Metoda dálkového průzkumu je využívána v astronomii, geofyzice a jiných oborech. Výsledky pak mohou být využívány v celé řadě oborů, jako je geodézie, mapování, zemědělství, archeologie, dále však všechny oblasti zabývající se časovými změnami, které se na zemském povrchu odehrávají. [36]

1.1 Dálkový průzkum Země

Podle Lillesanda a Kiefera [52] je dálkový průzkum věda a umění získávat užitečné informace o objektech, plochách či jevech prostřednictvím dat měřených na zařízeních, která s těmito zkoumanými objekty, plochami ani jevy nejsou v přímém kontaktu.

Svatoňová a Lauermann [67] definují dálkovým průzkum Země jako zkoumání, měření a zobrazování objektů a jevů v krajinné sféře bez přímého fyzického kontaktu s nimi. DPZ obsahuje komplexní problematiku od principu vzniku snímků a obrazových záznamů z letadel a z družic po jejich interpretaci stávající se ze zhotovování, přenosu, zpracování, vyhodnocení, analýzy a využití.

Podle [48] je dálkový průzkum označován jako „remote sensing“ (anglosaská literatura). Česká odborná skupina pro tento obor zvolila přesnější název – dálkový průzkum Země (DPZ).

Hlavními zdroji dálkového průzkumu Země je letecké a družicové snímkování. Tyto dva způsoby průzkumu zemského povrchu se liší několika zásadními vlastnostmi. Ať už se jedná o způsob pořízení snímku, kvalitu a využití, technické zabezpečení či finanční náročnost. [14]

1.1.1 Metody DPZ

Metody podle zdroje elektromagnetického záření

Nositel informací o objektech zkoumaných na dálku je elektromagnetické záření. Zdroje záření mohou být přirozeného nebo umělého původu. [10]

Aktivní metody fungují na principu vytváření obrazového záznamu, jejichž zdroj záření není přirozeného původu, ale je uměle vysíláno ze zdroje na nosiči. Část záření se od objektů odráží a je zachycována zpět na nosiči. Umělým zdrojem záření je např. laser nebo radar, který je vybaven vlastním zdrojem mikrovlnného záření. [10]

Pasivní metody snímají zdroj elektromagnetického záření, které se odráží od zemského povrchu. Takovým zdrojem je Slunce a sama Země. Měření se provádějí již od konce 60. let a to na kosmických sondách nebo družicích daleko za hranicemi zemské atmosféry. Pasivní metody snímání lze dále dělit na přímé a nepřímé. [10], [36]

V případě přímé metody je zdrojem informace záření Slunce, které je odrážené od zemského povrchu. Příkladem přímé pasivní metody je každá letecká fotografie. U nepřímé metody je zdrojem měření záření vyzařované objekty na zemském povrchu nebo v atmosféře. Jako příklad je možné uvést termovizi. [10]

Metody podle druhu pořízení dat

Elektromagnetická energie může být zachycena fotograficky nebo elektronicky. Fotografický proces se využívá k tomu, aby zaznamenal rozdíly energie a chemické reakce na povrchu filmu, který je citlivý na světlo. Výsledkem je snímek (obrázek). Tuto metodu nazýváme jako konvenční (klasickou). Oproti tomu pokud senzor zaznamenává elektromagnetickou energii hned od začátku elektronicky jako řadu, vzniká digitální záznam (snímek). Tento způsob snímání se nazývá nekonvenční (digitální). [46]

1.1.2 Letecké a družicové snímkování

Podle [14] se první počátky leteckého snímkování datují od vynálezu fotografie. Snímky byly používány převážně jako kontrolní podklad pro doplňující údaje při tvorbě map. V dnešní době se letecké snímky používají jako rychlý a cenný zdroj aktuálních informací v širokém spektru činností na daném území. Letecké snímky jsou také součástí většiny technologií tvorby a údržby mapového díla. Pro Českou republiku byly nejdříve k dispozici černobílé fotografie, v dnešní době se už pořizují barevné snímky. [42]

Letecké snímkování lze brát jako vhodný prostředek pro pozorování zemského povrchu. Stejně jako každá lidská činnost má své výhody i nevýhody. [14]

Mezi největší přednosti leteckého snímkování patří relativně malé finanční náklady a jednoduché technické zabezpečení na pořízení snímku. Další nespornou výhodou je rychlá operativnost, která dovoluje měnit podmínky letu v závislosti na potřebách snímkování, možnost neustálé lidské kontroly a velká detailnost pořízeného snímku umožněná malou výškou letu. [14]

Hlavní nevýhody leteckého snímkování lze spatřovat v nedokonalém pohybu letadla (nosiče), které může být velkým zdrojem chyb a zkreslení. Další nevýhodou leteckého snímkování je široký záběr leteckého skeneru. Při skenování pod větším úhlem než 25° dochází ke změně intenzity měřeného odraženého záření než je tomu při měření ve vertikálním směru. Tímto dochází k velkým zkreslením. Posledním podstatným problémem leteckého průzkumu je výšková hladina letu. Všeobecně se udává, že výška terénu musí kolísat maximálně v rozmezí

10 % výšky letu. Při překročení této hranice, zejména v horských oblastech, je zpracování takto pořízených snímků komplikované. [14]

Stejně jako letadla, tak i družice jsou ideálními nosiči pro aparatury sloužící k dálkovému průzkumu Země. Oproti leteckému snímkování, mají družice většinou mnohem větší pracovní záběr. Počátky družicového snímkování povrchu Země sahají do roku 1972, kdy byla na oběžnou dráhu vypuštěna první družice určená k tomuto účelu. Družicové snímkování přináší řadu výhod oproti snímkování leteckému. [14]

Podle [14] je jednou z největších výhod podstatně větší letová výška družice. Díky této výhodě se do zorného pole skeneru dostane mnohem větší území zemského povrchu (jeden družicově pořízený snímek by trval při leteckém snímkování na takto velké ploše i několik dní). Družicová měření mají mnohem větší komplexní pohled na situace ve sledovaném území v jednotném čase pořízeného snímku. Další nespornou výhodou družicového nosiče je schopnost trvalého opakovaného měření téhož území. Toto měření je možné provádět v různých časových intervalech. Poslední výhodou, kterou nám přináší družicové snímkování je možnost přístupu k naměřeným datům bezprostředně po měření. To je umožněno díky okamžitému přenosu digitálních dat pořízených družicí pomocí radiových vln na nejbližší pozemní stanici v dosahu družice. [14]

Družicový snímek

Družicové snímky se v posledním desetiletí staly jedním z nejčastěji využívaných zdrojů geografické informace v mnoha oborech lidské činnosti. Bylo to umožněno zejména rychlým technologickým vývojem v oblasti DPZ, díky kterému se tento obor přesunul z oblasti výzkumné a vojenské do komerční sféry. [30]

Obrovský posun nastal především v oblasti prostorového rozlišení. Nejnovější družice dnes umožňují získat snímky s přesností lepší než 1 m vhodné pro mapování v měřítcích 1 : 5 000 až 1 : 1 10 000. I při tomto detailu si zachovávají družicová data vysoké spektrální rozlišení a v barevném režimu jsou snímky vždy pořizovány také v oblasti infračervené části optického spektra. [30]

Ceny družicových snímků se přizpůsobily konkurenčnímu prostředí na trhu geografických dat. Díky tomu se družicová data stále častěji stávají efektivnější alternativou při pozemním mapování. [30]

1.1.3 Data DPZ

Zpracování dat dálkového průzkumu je proces, jehož složitost je určena vlastním předmětem měření – tedy vlastní krajinou. Variabilita krajinného povrchu je velmi různorodá, a proto je

nutno vhodným způsobem definovat hledanou informaci a vybrat data, ze kterých je možné ji získat. [36]

Pořízená data z měření lze rozdělit podle Halounové [36] z několika hledisek. Podle výsledku měření rozlišujeme data obrazová (letecké či družicové snímky) a data neobrazová (grafy či tabulky). Podle nosiče měřicí aparatury, lze rozlišit letecká data (nejvyužívanějším nosičem záznamových zařízení vzdušného typu jsou letadla, vrtulníky a balóny) a družicová data (družice je ideální nosič pro aparatury sloužící k DPZ). [14] Data je možné dělit podle druhu záznamu na analogová data (veškeré obrazové materiály obsahující informaci dvojího druhu tj. topografickou – velikost, vzdálenost objekt, poloha a tematickou – druh povrchu, obsah půdní vlhkosti, aj.) a digitální data (matice čísel, které je možno zobrazit v obrazové podobě, zahrnuje v sobě jak informace topografické, tak informace tematické). [10], [40]

Obrazový záznam charakterizují čtyři základní druhy rozlišovacích schopností.

Prostorové rozlišení je reprezentováno velikostí jednoho bodu (pixelu), který tvoří základní jednotku každého digitálního obrazu. Toto rozlišení snímacího zařízení se vztahuje k velikosti nejmenšího možného objektu, který lze na snímku detekovat. [12]

Spektrální rozlišení určuje schopnost snímače zaznamenávat užší intervaly vlnových délek. Čím větší je spektrální rozlišení, tím užší je interval vlnových délek pro určité pásmo (kanál). [12] Dané rozlišení ovlivňuje množství a typ tematické informace, kterou je možné z družicového snímku získat (například odlišení různých druhů vegetace a dalších typů zemského povrchu). Podle počtu a rozsahu spektrálních pásem, ve kterých byla data pořízena, rozlišujeme panchromatická (černobílá data), multispektrální (barevná data), hyperspektrální (popisující úrazovost v desítkách až stovkách velmi úzkých spektrálních pásem se zaměřením na odlišení velmi jemných charakteristik zemského povrchu) a radarová data (nejedná se přímo o obrazová data, protože snímky jsou pořízeny v mikrovlnné části elektromagnetického spektra). [33], [61]

Radiometrické rozlišení (hloubka pixelu) se týká nejmenší změny v intenzitě záření, kterou dokáže snímací systém rozlišit. U digitálních snímků je radiometrické rozlišení určeno počtem úrovní jasu. [12]

Časové rozlišení snímacího zařízení je frekvence, s jakou systém vytváří snímky stejného území. Udává tedy, jak často je určitá oblast zemského povrchu opakovaně zaznamenávána. Časové rozlišení snímače závisí na parametrech oběžné dráhy družice. [12]

1.2 Digitální zpracování obrazu

Podle [10] začalo být zpracování digitálního obrazové informace významným od poloviny 70. let a souvisí především s dostupností primárně digitálních dat poskytovaných družicemi Landsat a také s rozvojem výpočetní techniky. Číslicová forma uložení obrazové informace a možnosti výpočetní techniky prošly zautomatizováním a urychlením řady postupů, což vedlo ke zlepšení objektivitu, přesnosti a snížení nákladů. Obecně se rozlišují čtyři hlavní typy operací digitálního zpracování obrazových materiálů.

Předzpracování obrazu slouží ke korekci radiometrických, atmosférických a geometrických zkreslení a šumu, které vznikají v průběhu vytváření obrazu. Toto předzpracování je nutné, protože se téměř nikdy nepodaří pořídit kvalitní obraz bez šumu či dalších jiných vlivů na obraz. V průběhu předzpracování se provádějí operace jako je například úprava kontrastu, jasů, zaostření, otočení či posunu. Druh, způsob a rozsah předzpracování závisí na typu senzoru, kterým byl záznam pořízen. [10], [38]

Zvýraznění obrazu je aplikováno na data s cílem efektivněji znázornit obraz pro další vizuální či automatické zpracování. Zahrnuje techniky k výraznějšímu odlišení jednotlivých objektů v obraze. Cílem je vytvořit nový obraz, který obsahuje více informace, která může být interpretována. Neexistuje jedno obecné pravidlo, kterým by se daly zvýraznit všechny snímky. Většinou se zvýraznění provádí v několika krocích, které např. manipulují kontrastem snímku, provádí jeho filtraci, zvýraznění hran apod. Do této skupiny metod však patří i algoritmy, které transformují původní pásma multispektrálního obrazu do pásem nových. Digitální zpracování snímku lze rozdělit do tří následujících skupin, přičemž první dvě (radiometrická a prostorová zvýraznění) uvedené skupiny operací pracují na rozdíl od skupiny třetí (spektrální zvýraznění) pouze s jedním pásmem. [10]

Extrahování informace zahrnují především klasifikace obrazu. Rozhodovací pravidla (klasifikátory) jsou většinou založena na studiu spektrálního chování objektů. Mohou však být založena i na geometrických a prostorových vlastnostech objektů – tvaru, velikosti, struktuře, textuře apod. [10] Klasifikace je od začátku svého procesu řízena operátorem, který předem zvolí typ a počet klasifikovaných tříd, určí algoritmus, který předem určí, které pixely v obraze patří do jaké třídy. Klasifikaci lze rozdělit na klasifikaci řízenou a neřízenou. Při řízené je potřeba předem vybrat a ohraničit tzv. trénovací množiny - skupiny pixelů, které patří do konkrétních tříd. Klasifikátor poté vyhledává pixely s podobnými příznaky a zařazuje do tříd. Výstupem je obrázek s legendou, která zobrazuje informační třídy, které byly na začátku procesu definovány. Neřízená klasifikace nepoužívá trénovací množiny, zpočátku není potřeba jakákoliv podrobnější

znalost daného území. V neřízené klasifikaci vyžadujeme pouze zadání počtu tříd, kdo kterých chceme klasifikovat a počet opakování algoritmu k dosažení co nejpřesnějšího výsledku. [44].

Výstup digitálního zpracování obrazu je potřeba interpretovat. Jak uvádí [32] nejčastější interpretací je digitální vizualizace. Výsledky mohou být využity jak na nové analýzy modelů, tak pro tvorbu mnohých tematických map. Interpretace výsledků digitálního zpracování obrazu je možná i v analogovém provedení. Za analogové provedení se dá považovat vytištěný výstup výsledků. Tyto výsledky se využívají v situacích, kdy není možný přístup k počítači či internetu. Ne vždy mohou být výsledky v digitálním zpracování vhodné a efektivní, příkladem může být práce v terénu.

2 KRAJINA A SLEDOVÁNÍ ZMĚN V KRAJINĚ

Zákon [75] o ochraně krajiny a přírody definuje krajinu jako „část zemského povrchu s charakteristickým reliéfem, tvořená souborem funkčně propojených ekosystémů a civilizačními prvky“.

Podle [51] lze krajinu chápat jako strukturovaný organismus. Organismus, který může být spoluvytvářený i ovládaný, je třeba mít na mysli, že se krajina neustále mění a je proto nezbytné vnímat určité krajinné změny, které mohly vzniknout mnoha způsoby například s rozvojem řemesel, stavebním vývojem, vývojem průmyslu či s měnícím se způsobem hospodaření.

Evropské Úmluva [22] popisuje krajinu jako: „část území, tak jak je vnímána obyvatelstvem, jejíž charakter je výsledkem činnosti a vzájemného působení přírodních a/nebo lidských faktorů“.

Půdu lze charakterizovat jako nenahraditelný a nerozmnožitelný přírodní zdroj. Její proměny jsou výsledkem vzájemného působení mezi člověkem a přírodou. Zkoumají se změny ve využití ploch (Land Use, dále LU), nebo využití půdy a změny krajinného pokryvu (Land Cover, dále LC), tzn. co je reálně vidět. [23]

V České republice se v 80. letech objevuje možnost tvorby map, zachycení a zobrazení dat pomocí dálkového průzkumu Země. [23] Metody DPZ a terénního výzkumu vycházejí ze zjištění stavu využití ploch v reálném čase. Chceme-li však zachytit vývojové tendence využití půdy, mají obě metody značná omezení. Metodika, založená na technice a datech DPZ, vytváří relativně velmi dobré podmínky pro hodnocení vývoje jednotlivých kategorií využití ploch a celkové struktury ploch, ale je časově omezená na relativně krátké období posledních dvou či tří desetiletí.

Mapy středních podrobných měřítek jsou natolik náročné na terénní práci, finance a metodickou srovnatelnost, že jen nevelmi v omezené míře umožňují analýzu vývoje vztahu společnost – příroda promítnutého do LU v konkrétním území. [23]

V posledních letech byla vydána celá řada prací. Tyto práce mohly určit směr dalšího výzkumu, interakce člověk – příroda, a to jak na úrovni globální, tak na úrovni lokální.

„Vývoj krajiny či formování krajiny je výsledkem tří mechanismů, působících uvnitř hranice krajiny a to mechanismů specifických dlouhodobých geomorfologických pochodů, dále forem osídlování krajiny jednotlivými organismy a místních krátkodobých disturbancí jednotlivých ekosystémů“. [23]

3 DRUŽICOVÉ SYSTÉMY

V dnešní době jsou družicové data velmi dostupná a většina družicových systémů umožňuje pořízení snímků na základě individuální žádosti zákazníka. Ten má možnost přesně definovat území, vybrat vhodné časové období i další parametry požadovaných družicových dat. Počet družic pořizujících obrazová data pro komerční účely se dnes pohybuje v několika desítkách a v následujících letech bude zavedena do provozu řada dalších družicových systémů. [33]

Družicové systémy lze klasifikovat dle různých způsobů, například pro navigační využití či komerční účely. V této práci byla vybrána klasifikace dle prostorového rozlišení.

3.1 Rozdělení družicových systémů dle prostorového rozlišení

3.1.1 Nízké a střední rozlišení

Družicová data s nízkým rozlišením (často označované zkratkou LR z anglického Low Resolution) jsou charakterizována prostorovým rozlišením v řádu 1 km, u dat se středním rozlišením (MR, Medium Resolution) se tato hodnota pohybuje v řádu 100 m. Jedná se o data, která jsou pořizována výhradně v multispektrálním režimu zahrnujícím viditelnou a infračervenou část optického spektra. Vzhledem k široké šířce záběru je u těchto družic zpravidla zaručeno pořízení dat s denní až několikadenní frekvencí. Tato data jsou vhodná pro mapování v měřítku okolo 1 : 1 000 000. [27]

Mezi přehled typických aplikací patří globální a kontinentální mapování, sledování stavu a vývoje vegetace, modelování vývoje zemědělských plodin a předpovídání výnosů, monitorování rozsáhlých přírodních katastrof, sledování stavu a vývoje sněhového pokryvu a ledovců, sledování stavu a vývoje atmosféry a oceánů aj. [27]

3.1.2 Vysoké rozlišení

Družicová data s vysokým rozlišením (často označované zkratkou HR z anglického High Resolution) jsou charakterizována prostorovým rozlišením v řádu 10 m. Tato data jsou často pořizována současně v panchromatickém a multispektrálním režimu s významným podílem spektrálních pásem pokrývajících jednotlivé části infračerveného optického spektra. Některé družice pořizují data výhradně v pravidelném, zpravidla několikátýdenním intervalu, modernější družice umožňují pořízení dat na základě konkrétní žádosti zákazníka. V obou případech jsou k dispozici rozsáhlé archivy dat pořízených od počátku existence jednotlivých družic. Tato data jsou vhodná pro mapování nebo aktualizaci map v měřících 1 : 100 000 – 1 : 25 000. [29]

Mezi aplikace lze zařadit regionální mapování a plánování, mapování stavu, vývoje a změn v krajině (LC/LU), monitorování rozvoje měst, sledování stavu a vývoje vegetace, mapování zemědělských ploch a klasifikace zemědělských plodin, sledování stavu lesních porostů a klasifikace lesních ekosystémů, sledování lesní těžby, geologické a geomorfologické mapování, mapování důsledků přírodních katastrof či tvorba digitálního modelu terénu. [29]

3.1.3 Velmi vysoké rozlišení

Podle [28] jsou družicová data s velmi vysokým rozlišením (často označované zkratkou VHR z anglického Very High Resolution) charakterizována prostorovým rozlišením v řádu 1 m. Tato data mohou být pořizována pouze v panchromatickém režimu, častěji však v kombinaci panchromatického a multispektrálního režimu. Jedná se v současnosti o nejrychleji se rozvíjející sektor dálkového průzkumu Země. Většina družic této kategorie představuje nejmodernější družicové systémy disponující velkou flexibilitou, pokud jde o pořízení dat podle konkrétních požadavků zákazníka. Tato data jsou vhodná pro mapování nebo aktualizaci map v měřítcích 1 : 25 000 – 1 : 5 000.

Typické aplikace jsou například podrobné mapování krajiny, urbanistické studie, 3D modely měst, precizní zemědělství a kontrola zemědělských aktivit, plánování a projektování liniových staveb, mapování dopravních sítí, inventarizace lesních porostů, mapování rozptýlené vegetace, monitorování povrchových dolů, skládek a rekultivace, mapování půdní eroze, plánování a organizace humanitární pomoci, pojišťovnictví a tvorba digitálního modelu terénu. [28]

4 EVROPSKÁ KOSMICKÁ AGENTURA

S družicovými systémy a dálkovým průzkumem Země je úzce spjata organizace Evropská kosmická agentura, dále ESA. Tato organizace získává nové informace o Zemi, kosmickém prostoru v jejím bezprostředním okolí, dále o naší sluneční soustavě a o vesmíru. Rozvíjí družicové technologie a služby, čímž podporuje průmyslové odvětví. Aby dosáhla co nejlepších výsledků, úzce spolupracuje s kosmickými organizacemi mimo Evropu. [6]

ESA je nezávislá mezinárodní organizace, která vystupuje jako rovnocenný partner s jinými významnými kosmickými agenturami. Úzce spolupracuje s Evropskou unií, konkrétně s Evropskou komisí. Podle [21] se jedná o partnerství zejména s americkou NASA, japonskou JAXA a dále také s ruskou a indickou agenturou. Sídlo ESA se nachází v Paříži a má kvůli vazbě na Evropskou komisi kancelář v Bruselu. Jejím posláním je rozvoj Evropy v oblasti výzkumu a využití vesmíru. Dalším úkolem je zajistit, aby prostředky poskytnuté na kosmonautiku byly ve prospěch obyvatelů celého světa. První myšlenka na vytvoření takové organizace vznikla již v roce 1960. [21]

Podle oficiálních stránek [53], má ESA celkem 20 členů, mezi které patří Belgie, Česká republika (oficiálním členským státem se stala v roce 2008), Dánsko, Finsko, Francie, Irsko, Itálie, Lucembursko, Německo, Nizozemsko, Norsko, Polsko Portugalsko, Rakousko, Rumunsko, Řecko, Španělsko, Švédsko, Švýcarsko a Velká Británie.

Činnosti ESA se dají rozdělit na povinné a nepovinné. Povinné činnosti zahrnují základní činnosti agentury, tedy studie o budoucích projektech, technologický výzkum, informační systémy a vzdělávací programy. Tyto činnosti jsou financovány ze souhrnného rozpočtu a rozpočtu Science. Do souhrnného rozpočtu přispívají všechny členské státy na základě jejich HDP. Mezi nepovinné činnosti se považují takové, které jsou v zájmu jen některých členských států. Jedná se např. o pozorování Země, telekomunikace, satelitní navigace nebo vesmírné dopravy a jsou financovány z nepovinných příspěvků. [20]

Největším střediskem ESA je Evropské kosmické výzkumné a technologické středisko (ESTEC), které se nachází v nizozemském městě Noordwijku. ESTEC je především testovací zařízení a spojovací článek dalších kosmických aktivit, které má zodpovědnost za technickou přípravu a řízení projektů ESA. Dále zařizuje technickou podporu probíhajícím družicovým programům, kosmickému průzkumu a pilotovaným vesmírným letům. Další střediska se nachází v Německu (EAC a ESOC), Itálii (ESRIN) a Španělsku (ESAC). [58]

Vzhledem k tomu, že EU nedisponuje vlastními družicemi, spolupracuje právě s ESA. Tyto dvě organizace spolupracují především v oblasti aplikací kosmických technologií. Konkrétně se jedná o programy EGNOS, Galileo a Copernicus (původně GMES). Tyto programy slouží pro kosmickou navigaci a monitorování Země. [20]

4.1 Projekty ESA a EU

4.1.1 EGNOS

Podle [16] je EGNOS společně vyvíjen ESA, EK a Evropskou organizací pro bezpečnost leteckého provozu (EUROCONTROL). Tento projekt byl zahájen již v roce 1994 a následně se stal prvním dokončeným projektem EU, který se považuje za předchůdce projektu Galileo.

Tento systém poskytuje korekce k signálu GPS na území Evropy. Pomocí korekcí jsou odstraněny chyby ve vysílaných signálech, které vznikají při přechodu signálu atmosférou. Jedná se zejména o chyby vzniklé odraženými signály, v přenášených údajích, měření přijímačem nebo chyby dané termálním šumem. Korekcí těchto a dalších chyb dochází k přesnějšímu určení polohy. [16]

4.1.2 Galileo

Galileo je autonomní evropský Globální družicový polohový systém (GNSS) jehož výstavbu zajišťuje EK a ESA. Tento systém konkuruje americkému systému NAVSTAR GPS a ruskému systému GLONASS. Oba tyto mimoevropské systémy mají především vojenský účel, což znamená, že v případě výjimečné situace, by nemuselo být možné jejich využití k civilním účelům. [25]

Systém Galileo byl navržen proto, aby v takových situacích nedocházelo k poškození civilních uživatelů a z části také proto, aby se zvýšila evropská nezávislost. Jedná se tedy o soustavu 30-ti družic, které obíhají na střední oběžné dráze Země, a které umožňují přesné určení polohy každého uživatele přijímače signálu s přesností lepší než jeden metr i za nejextrémnějších podmínek. [25], [26] Soustavu tvoří systém 27 operačních družic a systém 3 záložních družic, které zajistí spolehlivou funkčnost systému i v případě, že některá z operačních družic přestane správně pracovat. Podle [40] byl systém Galileo naplánován již v roce 1999, kdy bylo rozhodnuto o jeho spuštění od roku 2008. Kvůli přílišným rizikům však plán nebyl dosud realizován a v současné době se předpokládá jeho nejbližší spuštění v roce 2018.

Využití nalezne tento systém nejen v letecké, silniční, železniční, námořní a městské dopravě, ale také v oblasti bankovníctví, energetického průmyslu, zemědělství, civilní ochraně, životního prostředí a stavebnictví. [26]

4.1.3 Copernicus

Společným programem ESA a EK a Evropské agentury pro životní prostředí (EEA) je Copernicus, dříve známý jako Globální monitoring životního prostředí a bezpečnosti (GMES). Podle [61] pro vznik tohoto programu byl důležitý červen 2001, kdy se konal summit Evropské Rady v Göteborgu. Zde bylo rozhodnuto o vytvoření vlastního evropského programu na pozorování Země. V září 2008 byly spuštěny tři prioritní služby, kterými jsou „území“, „mořské prostředí“ a „krizové řízení“. Jako další pilotní služby, byly identifikovány „atmosféra“, „bezpečnost“ a „změna klimatu“. V roce 2012 došlo k přejmenování GMES na Copernicus v souvislosti s přechodem na operační fázi, během které byla 3. dubna 2014 vypuštěna na oběžnou dráhu první družice Sentinel 1. [59]

Cílem systému je poskytování včasných, spolehlivých a prostorově založených služeb ve veřejném zájmu o životním prostředí, které by byly pod kontrolou EU. Tyto služby pomohou pochopit fungování ekosystému Země a dále se stanou důležitým podkladem pro rozhodování a koordinování záchranných prací, týkajících se jak přírodních, tak uměle vytvořených katastrof. Svoji činností tak přispívá Copernicus celosvětovému programu pozorování Země GEOSS. [8]

V diplomové práci jsou použita data pořízená družicí Sentinel-2, proto jsou blíže popsána. Družice Sentinel celkem tvoří 5 řad, tzv. Sentinely 1-5. První tři řady každou tvoří dvě družice, které se označují A a B, které jsou navrženy tak, aby svým časovým i prostorovým rozlišením zajistily kvalitní základ pro služby programu Copernicus. V současnosti jsou v provozu první tři řady družic. Od roku 2020 budou řady rozšířeny o družice C a D, jejichž úkolem bude nahradit dosluhující družice. [13]

4.2 Sentinel Scientific Data Hub

Pro přístup k datům z družic Sentinel lze využít portál ESA Sentinel Scientific Data Hub. Na oficiálních stránkách Geo/Copernicus v České republice se nachází společně se základními informacemi o tomto programu také odkaz na webovou stránku, kde je možné stáhnout data z družice Sentinel. V současnosti jsou zde dostupná data z družic Sentinel-1 a Sentinel-2. Po užití daného odkazu dojde k okamžitému přesměrování na stránky Sentinel-1, kde je možné přečíst veškeré informace o možnostech stahování dat. [60]

5 SOFTWAREVÉ NÁSTROJE PRO DIGITÁLNÍ ZPRACOVÁNÍ OBRAZU

Existuje mnoho softwarových nástrojů pro zpracování obrazových geografických dat. Vybrané nástroje jsou schopné provádět například vizualizaci, zvýraznění obrazu, analýzu obrazu a tvorbu mapové kompozice.

5.1 SentinelTools

Evropská kosmická agentura vyvíjí bezplatné sady nástrojů open source pro vědecké využití snímků družice Sentinel. Tyto sady nástrojů jsou financovány z programu "Scientific Exploitation of Operational Missions (SEOM)" - "Vědecké využívání operačních misí", což je programový prvek ESA pro pozorování. [65]

Sady nástrojů dědí funkčnost historických nástrojů vyvinutých za posledních 10 let a podporují celou řadu národních a třetích stran. Sady byly koncipovány tak, aby hostily nové funkce vyvinuté vědeckou komunitou v budoucnu. Kromě toho byly v cloudové infrastruktuře uvedeny přenosné bloky nástrojů. Cílem souborů nástrojů je také široké využívání pro výcvik vědců nové generace k vědeckému využívání dat Sentinel. Nástrojové sady Sentinelu jsou následující. [65]

Nástrojová sada Sentinel-1 (S1TBX) se skládá ze sady nástrojů pro zpracování dat, čteček a zapisovačů datových produktů a aplikace pro zobrazení a analýzu pro podporu velkého archivu dat z misí ESA SAR, včetně Sentinel-1, ERS-1 a 2 a Envisat, stejně jako údaje SAR třetích stran od společností ALOS PALSAR, TerraSAR-X, COSMO-SkyMed a RADARSAT-2. [65]

Sada Sentinel-2 (S2TBX) je tvořena bohatou sadou vizualizačních, analytických a zpracovatelských nástrojů pro využití dat MSI z nadcházející mise Sentinel-2. Jako multi-mission vzdálený senzor nástrojů, S2TBX podporuje ESA mise Envisat (MERIS & AATSR), ERS (ATSR), stejně jako data třetích stran od RapidEye, SPOT, MODIS (Aqua a Terra), Landsat (AVNIR & PRISM) a další. Různé nástroje lze spustit z intuitivní desktopové aplikace nebo pomocí rozhraní příkazového řádku. [65]

Sentinel-3 (S3TBX) obsahuje množiny vizualizačních, analytických a zpracovatelských nástrojů pro využití dat OLCI a SLSTR z nadcházející mise Sentinel-3. Jako multi-mission vzdálený senzor nástrojů, S3TBX podporuje ESA mise Envisat (MERIS & AATSR), ERS (ATSR), SMOS stejně jako data třetích stran od MODIS (Aqua a Terra), Landsat (TM), ALOS (AVNIR & PRISM) a dalších. [65]

Podle [65] je Sentinel Atmospheric Toolbox založen na projektu Basic Envisat Atmospheric Toolbox (BEAT), poskytuje vědcům nástroje pro požití, zpracování a analýzu údajů z atmosférického dálkového průzkumu.

Sentinel Altimetry Toolbox - je v současné době ve fázi tvorby a bude vydán.

Další nástroje, které ESA vyvinula jako bezplatné sady nástrojů s otevřeným zdrojovým kódem pro vědecké využívání misí Envisat, ERS a třetích stran. Některé z těchto "historických nástrojů" jsou: PolSARpro, CFI, ESOV, Derby a BRAT. Hlavní funkce těchto nástrojů jsou zahrnuty do nových nástrojů Sentinel. [65]

5.2 ArcGIS for Desktop

Esri ArcGIS Desktop 10.5.1 - desktopová verze systému ArcGIS od firmy Esri, je dostupná ve třech úrovních licencí. Tyto úrovně jsou ArcGIS for Desktop Basic, ArcGIS for Desktop Standard a ArcGIS for Desktop Advanced. ArcGIS poskytuje prostředky pro zajištění jakéhokoli geografický informační systém, a to od uživatelského systému až po složité systémy, které poskytují geografická data dalším uživatelům například v organizaci, na internetu nebo široké veřejnosti. [1].

ArcGIS for Desktop obsahuje několik vzájemně propojených aplikací, mezi které patří ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox, ArcScene a ArcGlobe.

Podle [29] je ArcMap centrální aplikace v ArcGIS for Desktop, která je použitelná pro všechny mapově orientované úlohy, včetně prostorových analýz, editace dat a tvorby kartografických výstupů. Slouží pro tvorbu mapových kompozic připravených pro tisk a publikaci. Aplikace ArcMap využívá dvou různých pohledů na mapu: zobrazení geografických dat a zobrazení výkresu mapy. Při zobrazení geografických dat se využívá geografických vrstev, kde lze měnit symboliku či analyzovat datové sady GIS. Zobrazení výkresu mapy slouží k práci s mapovými stránkami, které obsahují mapové prvky jako je legenda, měřítko, název mapy, aj.

ArcToolbox je aplikace obsahující velké množství GIS nástrojů používaných k prostorovým operacím. Je určena na analyzování stávajících geodat a tím i k získání nových informací. [58]

Novou softwarovou aplikací společnosti Esri, která do budoucna nahradí ArcGIS for Desktop je podle [2] ArcGIS Pro. Aplikace ArcGIS Pro verze 2.1 je založena na 64bitové architektuře, podporuje více jádrové procesory a výpočetní možnosti současných grafických karet. Jeho pracovní prostředí je přizpůsobeno moderním trendům v uživatelském designu a je navrženo tak, aby usnadňovalo spolupráci uživatelů jak uvnitř organizace, tak i prostřednictvím internetu pomocí webových služeb. Grafický ArcGIS Pro umožňuje pracovat s několika mapami

současně. Mapová okna mohou být navzájem provázána svojí polohou i stupněm přiblížení a pro jedno území lze snadno porovnávat různá data nebo i různé grafické návrhy. V této aplikaci je možné vytvořit množství výkresů a v jednom projektu tak pracovat na několika mapách v různých formátech. ArcGIS Pro dokáže zobrazovat i 3D data. Základním způsobem práce s ArcGIS Pro jsou projekty. Jedná se o soubory mapových kompozic, uložených dat, stylů, připojení ke složkám, k serverům a podobně. Jejich součástí mohou být dokonce i geoprocessingové nástroje a skripty. Vedle toho, že kompaktnost těchto projektů usnadňuje jejich správu, lze je i velmi snadno sdílet. ArcGIS Pro obsahuje mnoho analytických nástrojů z prostředí ArcToolbox. Nejoblíbenější nástroje je možné najít na kartě Geoprocessing, kde je k nim prostřednictvím ikon snadný přístup. Do prostředí ArcGIS Pro je možné přenést většinu geoprocessingových modelů a skriptů v jazyku Python, se kterými se pracuje v aplikaci ArcMap. V ArcGIS Pro lze najít jak okno Python, tak prostředí ModelBuilder. Z prostředí ArcGIS Pro je možné se dostat k mapám, vrstvám a službám, které jsou k dispozici na portálu organizace nebo na ArcGIS Online. Integrované vyhledávání umožňuje z jediného okna prohledávat datové sady, ať jsou na místním disku, nebo kdekoli na síti. Vytvořené mapy lze pak snadno sdílet jako datové vrstvy nebo jako mapu využívající serverovou cache. Uživatel – editor má k dispozici množství pokročilých editačních nástrojů, které snadno umožňují konstruovat prvky. Navíc je možné vytvořit šablonu, která vytváří více než jeden prvek. [2]

5.3 ERDAS IMAGINE

ERDAS IMAGINE je převážně rastrově orientovaný software navržený americkou společností ERDAS. Stejně jako u ArcGIS se jedná o komerční software.

ERDAS IMAGINE představuje světový program ke zpracování geografických dat, jehož výstupem jsou produkty s přidanou hodnotou, jako jsou kartograficky správné mapové výstupy, 2D a 3D obrázky nebo 3D průlety. Tento program také přináší nástroje pro paralelní dávkové zpracování dat, prostorové modelování, tvorbu map, mozaikování, detekci změn a dále zahrnuje algoritmus ERDAS ER Mapper, který poskytuje pokročilé zpracování obrazu. [59]

V roce 2011 firma ERDAS představila novou verzi programu s označením IMAGINE 2011. Mezi hlavní novinky patří například zobrazení výstupů v programu Google Earth a vylepšená editace textu. Nová verze nabízí i zjednodušení pracovních postupů při analýze satelitních snímků s využitím nových nástrojů a rozšířeného rozhraní pro rychlé a snadné vytváření výstupů. Nejnáročnější uživatelé budou moci využít nové možnosti editace anotací snímků, nové šablony s automaticky aktualizovanými prvky a export do programů Microsoft PowerPoint,

Word nebo do formátu JPEG. Nový IMAGINE také představuje také nový algoritmus pro zostřování obrazu, s označením HCS (Hyperspherical Color Space) sharpening. [57]

Verze ERDAS IMAGINE 2016 je k dispozici ve třech licencích podle úrovně složitosti v závislosti na požadavcích uživatelů, a to Imagine Essentials, Imagine Advantage a Imagine Professional.

Sestava modulů IMAGINE Essentials je dle [19] vstupní úrovní. Nabízí nástroje pro radiometrické, prostorové a spektrální zvýraznění snímků, vizualizaci, rychlou analýzu změn v území, tvorbu a editaci vektorových vrstev, pro zobrazení tematických dat (mohou být rastrová i vektorová) podle hodnot atributů, rektifikaci snímků do zvoleného kartografického zobrazení. Dále také poskytuje nástroje pro automatickou klasifikaci multispektrálních snímků, tvorbu mapových výstupů. Je možné také vytvářet vizualizaci rastrů ve 2D a 3D.

Dle [20] sestava modulů IMAGINE Advantage rozšiřuje předchozí sestavu a nabízí vyspělejší a přesnější mapování. IMAGE Advantage doplňuje moduly o nástroje zpracování obrazu a analýzy GIS, spojování snímků, vyrovnání barev a jednosnímkové ortorektifikace.

Poslední sestavou modulů je IMAGE Professional. Tvoří nástroje pro profesionální klasifikaci multispektrálních a hyperspektrálních snímků a pro zpracování radarových dat. Dále je rozšířen o grafický objektový nástroj Model Maker, ve kterém lze definovat vlastní úlohu pomocí grafického schématu a přiřazením požadovaných funkcí. [19]

5.3.1 ERDAS extenze pro ArcGIS Desktop

ERDAS extenze pro ArcGIS Desktop nabízí několik rozšiřujících sad nástrojů. Patří sem například Image Analysis, Stereo Analyst, ERDAS Terrain Editor a FeatureAssis, aj. [71]

Image Analysis pro ArcGIS je nadstavbou od ERDAS IMAGINE, která umožňuje přípravu snímků pro GIS přímo v prostředí ArcGIS Desktop. Jedná se o rozšiřující nástroje pro zpracování snímků pořízených DPZ. Pomocí těchto nástrojů lze například provádět barevné vyrovnání, klasifikaci snímků dále ořezávat, maskovat, mozaikovat, využívat detekci změn nebo ortorektifikaci. Je možné provádět import a export různých rastrových formátů jako TIFF, PNG, IMG, JPG a mnoho dalších. Umí rovněž převádět rastrová data na vektorová a naopak. Image Analysis je plně integrován s ArcGIS, proto umožňuje získat aktuální informace ze snímků přímo do geodatabáze, čímž zvyšuje přesnost a produktivitu. [71]

Stereo Analyst pro ArcGIS vytváří a reviduje rozsáhlou databázi feature dat ve 3D. Rozšiřuje možnosti vizualizace a zároveň podporuje všechny nástroje ArcGISu. Tím lze dosáhnout větší přesnosti ve výsledných vrstvách. [71]

ERDAS Terrain Editor for ArcGIS je volitelně rozšiřitelná extenze nad Stereo Analyst pro ArcGIS. Editor terénu pro ArcGIS umožňuje aktualizovat soubor Geodatabáze terénu.

FeaturaAssist for ArcGIS – Add-on pro Stereo Analyst pro ArcGIS slouží pro výběr střešních konstrukcí ve formátu ESRI Multipatch. [71]

5.4 ENVI

Podle [18] je software ENVI produktem americké společnosti Exelis Visual Information Solution (Exelis VIS), jako dceřinné společnosti Harris, která poskytuje software nejen pro zpracování dat dálkového průzkumu Země, ale i pro vývojáře a specialisty z dalších vědních oborů.

V softwaru ENVI je možné nalézt kompletní sadu nástrojů pro předzpracování, zobrazování, analýzu a sdílení dat dálkového průzkumu Země. ENVI je speciálně navrženo pro práci s družicovými snímky a podporuje většinu současných družicových systémů. Pracovat lze i s vektorovými daty nebo geodatabází. [18]

ENVI disponuje speciálními nástroji pro multispektrální a především hyperspektrální analýzy, které z dat dokážou vytěžit maximum informací: Informace těží pomocí nástrojů pro klasifikace (i objektově orientované), identifikace materiálů pomocí rozsáhlých spektrálních knihoven, detekce změn a cílů, vegetačních analytických nástrojů – vegetační indexy, zdraví vegetace, lesů, určení druhů vegetace, vegetačního stresu aj. [18]

Nejnovější verze ENVI 5.5 dále nabízí tvorbu digitálních modelů a 3D vizualizací, možnost úprav uživatelského prostředí, ale i nástrojů a funkcí pomocí C++, Java, Python. Dále jednotné dialogy pro nejpoužívanější nástroje včetně přednastavených parametrů, aktualizací a náhledů v každém kroku procesu, rozšíření funkcí a nástrojů pomocí nadstaveb. [18]

6 VYUŽITÍ DRUŽICOVÝCH DAT PRO SLEDOVÁNÍ ZMĚN V KRAJINĚ

Cílem této kapitoly je uvést příklady prací zabývajících se zjišťováním změn v krajině především pomocí družicových snímků.

Diplomová práce Trojovské [69] z roku 2012 s názvem „Využití automatické klasifikace obrazu pro analýzu vývoje krajiny v obci Staré Jesenčany“ se zabývá digitálním zpracováním obrazu z dálkového průzkumu Země, sledováním změn v krajině. V praktické části práce je provedena analýza změn v krajině v obci Staré Jesenčany v programu ArcGIS Desktop 10. V práci byly využity letecké snímky společnosti GEODIS z let 2003 a 2008, satelitní snímky z družice Landsat 7 ETM+ z let 2000 a 2010. Tato byla zmíněna proto, že stejně jako v práci Evy Trojovské je využit program ArcGIS Desktop pro zpracování snímků pro vybrané zájmové území.

Diplomová práce Magdaleny Kalinové [41] z roku 2015 bylo zmapovat možnost využití spektrálních indexů při monitoringu zeleně vybrané části Pardubického kraje, konkrétně pak obcí s rozšířenou působností (ORP) Pardubice. Pro tuto práci bylo vybráno pět datových sad Landsat v časovém horizontu od roku 1987 do roku 2013. Dále byly použity tři scény pořízené ze skeneru MODIS Terra. Celkem byly vybrány čtyři vegetační indexy: poměrový index NDVI, vzdálenostní indexy SAVI a MSAVI a index GVI. Pro všechny indexy byla provedena temporální analýza od roku 1987 do roku 2013. Nejlepší výsledky vykazuje MSAVI, který po klasifikaci zařadil do třídy vodních ploch minimum betonových ploch. V závěru práce byla pro všechny indexy provedena detekce změn v krajině. Změny mezi rokem 1987 a 2013, byly nejvíce patrné na jižní části ORP, kde docházelo k obměně využití půdy. Naopak severní část správního obvodu a město Pardubice zůstaly během těchto let z hlediska přírůstku a úbytku zeleně téměř neměnné.

Diplomové práce studenta Univerzity Pardubice Radka Peška [55] z roku 2016, se zabývá porovnáním klasifikačních metod pro klasifikaci vodních ploch v obrazových datech v rámci zvoleného programového prostředí. Pro porovnání a vyhodnocení klasifikačních metod byla využita metoda multikriteriálního rozhodování a to konkrétně metoda AHP – Analytic Hierarchy Process. Zvolené zájmové území obsahovalo řadu malých vodních ploch a zároveň řeku Labe. V práci jsou využita data z družice Landsat 8 a družice Sentinel-2 a jsou použity 4 klasifikační algoritmy řízené i neřízené klasifikace, které nabízí ArcGIS for Desktop 10.2 (Class Probability, Maximum Likelihood Classification, Principal Component a ISO Cluster). Celkově bylo provedeno 12 klasifikací, výpočet indexu NDVI a ruční klasifikace dvou zvolených vodních

ploch. Na závěr jsou výsledky porovnány a vyhodnoceny pomocí multikriteriálního rozhodování na základě 5 zvolených kritérií. Z výsledků vyplývá, že nejvhodnější klasifikační algoritmus pro dané zájmové území (vodní plochy) v programovém prostředí ArcGIS for Desktop 10.2 je ISO Cluster (5 tříd) s použitím dat z družice Sentinel-2 a je vhodný pro klasifikaci malých vodních ploch.

Šárka Plecháčková [56] v diplomové práci z roku 2016 prováděla klasifikaci ve využívání krajinného pokryvu v okolí města Pardubice. Analýza vývoje byla zjišťována z družicových hyperspektrálních systémů MODIS. Zároveň byla pro srovnání dosažených výsledků použita multispektrální data Landsat. Pro každý družicový systém byly vybrány čtyři datové sady v letech 2000, 2005, 2010 a 2015. Krajinný pokryv byl klasifikován v softwaru ArcGIS for Desktop 10.4 pomocí metody řízené (Maximum Likelihood) a neřízené (ISO Cluster) klasifikace. Lepší výsledky byly dosaženy pomocí řízené klasifikace a největší přesnosti bylo dosaženo u snímku Landsat z roku 2000. V případě hyperspektrálních snímků MODIS byla největší přesnost dosažena rovněž v roce 2000. Tímto způsobem bylo zpracováno 16 klasifikací, pomocí kterých bylo vytvořeno 14 mapových kompozic. Tyto výstupy zachycují nejen vývoj v jednotlivých časových horizontech, ale i srovnání výsledků použitých metod.

Diplomová práce Jiřího Bláhovce [3] z roku 2017 popisuje příkladovou studii, kde byly aplikovány spektrální knihovny pro detekci změn v krajině. Ve studii byly vytvořeny dvě knihovny spektrálních křivek, jedna pro každý zkoumaný snímek. Každá z vytvořených knihoven obsahuje čtyři křivky spektrální odrazivosti, jednu pro každou zkoumanou třídu. Pro klasifikaci snímků byly využity různé metody neřízené a řízené klasifikace metod neřízené klasifikace byly použity metoda K-means a metoda ISODATA. V práci byly použity čtyři metody řízené klasifikace (Minimum distance, Mahalanobis distance, Parallelepiped, Spectral angle mapper). Jako poslední byl využit nástroj umožňující komplexní práci s hyperspektrálními daty – THOR. Detekované změny se projeví ve zkoumané oblasti s časovým odstupem třech let. Tato práce potvrdila velmi rozsáhlou využitelnost knihoven spektrálních charakteristik pro detekci změn v krajině, které díky nim mohou být sledovány na hyperspektrálních snímcích na detailnější úrovni oproti běžným snímkům.

Práce G. Galidaki [24] z roku 2012 „Mediterranean forest species mapping using hyperspectral imagery“. Práce se zabývá zkoumáním potenciálu dat ze senzoru Hyperion při mapování lesních druhů ve dvou řeckých lesích. Prvním cílem práce bylo zjistit správnost klasifikační techniky Spectral Angle Mapper. Výsledky ukázaly u některých lesních druhů úspěšnost mapování větší jak 88 %. V případě jiných mapovaných druhů byla přesnost

klasifikace nižší. Zbylé cíle byly založeny na otestování technik Support Vector Machines (úspěšnost větší než 82 %) a Geographic Object Based Image Approach (úspěšnost 85,3 %). V obou případech se výsledek přesnosti porovnal s výsledky terénního průzkumu. Tato práce ukazuje další možné využití dálkového průzkumu Země při použití hyperspektrálního snímkování.

Další prací je například článek vydaný roku 2015 společností „The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences“, kde A. Butt et. al. [4] vydali článek „Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS“. Článek představuje případovou studii vyhodnocující změnu území na povodních na území státu Pákistán. Autoři ve své studii použili pro klasifikaci multispektrální snímky získané z družice Landsat 5 a SPOT 5 v letech 1992 a 2012. Aplikovali na ně algoritmu Maximum Likelihood v prostředí programu ERDAS Imagine k detekci změn land cover a land use pozorované při povodních v těchto letech.

Brynja Guðmundsdóttir [34] napsala v roce 2014 magisterskou práci „Detection of potential arable land with remote sensing and GIS – A Case Study for Kjósarhreppur“, tedy práci na téma „Detekce potenciální orné půdy zjištěné dálkovým průzkumem Země a GIS – případová studie pro Kjósarhreppur“. Studentka švédské univerzity Lund ve své práci popisuje hodnocení orné půdy na Islandu, které jsou cenným přírodním zdrojem. Cílem této studie bylo vyvinout (digitální) metody pro definování a lokalizaci potenciální orné půdy. Data byla získána od Islandského GeoSurvey a Islandského národního institutu přírodní historie. Satelitní data pro celou zemi byla získána z družice SPOT-5. V práci byla využita řízená a neřízená klasifikace. Výsledky řízené klasifikace byly lepší než klasifikace neřízené. Tato studie ukázala, že je možné nalézt potenciální údaje ze satelitních dat. Doporučenou metodou je použití indexu vegetace (NDVI) pro lokalizaci potenciální orné půdy. Tato metoda byla jednodušší, než použití metod klasifikace obrazu.

Studie článku „Mapping regional land cover with MODIS data for biological conservation“ [71] se zaměřují na lokalizaci hlavních chráněných oblastí v USA a Brazílii s využitím dat ze skeneru MODIS. Úspěšnost mapování land cover v Greater Yellowstone Ecosystem byla především při hodnocení typů v rozsáhlých plochách, jako jsou jehličnaté lesy či pastviny mnohem méně úspěšná než při mapování menších lokalit jakou jsou mokřady. Klasifikace na snímcích ze státu Pará v Brazílii, se ukázala úspěšná při sledování vlivů člověka, jako je odlesňování.

S. T. Seydi společně s M. Hasanlou [66] publikovali v roce 2015 článek na téma „Land Cover Change Detection Based on Genetically Feature Selection and Image Algebra Using

Hyperion Hyperspectral Imagery“. Tento článek se zabývá tématem detekce změn v krajině různými metodami s využitím hyperspektrálních snímků ze senzoru Hyperion.

Michael T. Eismann a Joseph Meola [17] ve své práci „Hyperspectral Change Detection: Methodology and Challenges“, se zaměřili na detekci změn potlačením pozadí snímku a zvýrazněním změn na hyperspektrálních snímcích. Práce také pojednává o problémech, které detekci změn provázejí. Těmito problémy je například přirozená vegetace, nebo změny v osvětlení snímku.

V práci „Semi-supervised change detection method for multi-temporal hyperspectral images“, kterou vytvořil Yuan Yuan, Haobo Lv a Xiaoqiang Lu [73] se autoři zaměřují na detekci změn v krajině pomocí částečně řízené metody Laplacian Regularized Metric Learning, kterou využívají pro snímky obsahující šum. V této práci je navržena metodika metrického učení s poloměrem na dálku, která detekuje změny oblastí hojnými spektrálními informacemi hyperspektrálního obrazu za "hlučného" stavu.

Následující studie „Forest area derivation from Sentinel-1 data“ [11] předkládá analýzu potenciálu multitemporálních dvojpolarizovaných dat Sentinelu-1A pro odvození lesních ploch pomocí standardních metod založených na prahování Otsu a klastrování K-prostředků. Data ze Sentinelu-1 byla shromážděná v zimní sezóně 2014-2015 v testovací oblasti ve východním Rakousku. Data z družice Sentinel-1 a popsané metody v dané studii jsou vhodné pro zjišťování změny lesů mezi následujícími roky. Uvedená studie je zmíněna především proto, že data byla získána z družice Sentinel.

Cílem práce „Deformation measurement using Sentinel-1A/B imagery“ [9] je monitorování deformace půdy. Článek popisuje strategii monitorování deformací, která souvisí se specifickým monitorovacím scénářem - poměrně malá deformační oblast zájmu obklopená stabilní oblastí. Ve studii scénář odpovídá oblasti potenciálního poklesu vyvolaného čerpáním podzemních vod. V tomto konkrétním případě má oblast deformace poloměr přibližně 1 km. V práci je stručně popsána navrhovaná strategie analýzy dat. Stejně jako v předchozí práci, i zde byla data získána z družice Sentinel.

Studie s názvem „Potential of Sentinel-2 data for alteration extraction in coal-bed methane reservoirs“ [49] ilustruje potenciál alternátorové extrakce v zásobnících metanu uhelného lože (CBM) pomocí dostupných dat Sentinel-2. Tato studie vyhodnocuje možnosti mapování změněných minerálů a vegetace. V procesu mapování změn byly samostatně analyzovány klíčové signály vzdáleného snímání změněných minerálů a geobotanické anomálie založené na teorii uhlovodíků s mikroprocesem. V mapování oblasti vegetace byly vypočítány diagnostické

parametry spektrálních vlastností. Navíc byla přesnost mapování hodnocena na základě výsledků extrakce dat Hyperionu pomocí metody shody celého spektrálního profilu a výsledků rentgenové difrakce (XRD). Výsledky ukazují, že: 1) ve srovnání s metodami páskového matematika a analýzy hlavních komponent byly různé metody extrakce vhodné pro různé minerály; 2) výsledky extrakce železitých a jílovitých minerálů byly nejpresnější (78,33 % resp. 76,67 %) s analýzou XRD; 3) nejvyšší míra změny sklonu hrany prvku byla až 39 % s referenčním spektrem; a 4) rozdělení informací o změnách bylo v souladu s oblastí těžby uhlí Hudi v Jincheng v provincii Shanxi. Byla odhalena potenciální geologická aplikace údajů ze Sentinel-2, která identifikovala směr průzkumu CBM ve velkém měřítku, jež je vysoce účinný, pohodlný a levný způsob.

„Mapping Mediterranean seagrasses with Sentinel-2 imagery„ [68] je studie zabývající se vhodností spuštěného družice Sentinel-2 pro mapování distribuce hejn středomořských ptáků. Uvádí se komplexní metodika, která aplikuje korekce atmosférických a analytických vodních sloupců a srovnává výkonnost tří různých supervizovaných klasifikátorů. Dálkové snímání zálivu Thermaikos v severozápadním Egejském moři (Řecko, východní Středozemní moře) odhaluje, že využití podpůrných vektorových strojů na korigovaných odrazných plochách ve vodním sloupci přináší nejvyšší přesnost. Mořské trávy *Posidonia oceanica* a *Cymodocea nodosa*, pokrývají celkovou ponořenou plochu 1,48 km² mezi hloubkami 1,4 - 16,5 m. Díky deseti metrovému prostorovému rozlišení a pětidenní návštevnosti může obraz Sentinel-2 zmírnit mezery v distribuci středomořských ptáků a umožnit v budoucnosti lepší správu a ochranu v retrospektivním, časově a nákladově efektivním měřítku.

7 KLASIFIKACE OBRAZU

Cílem práce bylo provést klasifikaci využití půdy ve vybraném zájmovém území. Klasifikace dat proběhla v rámci vybraných algoritmů v programovém prostředí ArcGIS Desktop 10.5.1.

Podle [50] je klasifikace jednou z nejčastějších cílovou částí zpracování dat z DPZ. Obecným cílem klasifikace je roztrždit všechny obrazové body (pixely) do jednotlivých informačních tříd za použití určitých rozhodovacích pravidel (tzv. klasifikátorů). Tyto třídy mohou představovat například jednotlivé druhy povrchů na zemi (land cover) nebo využití země (land use), ale mohou představovat i jiná témata, záleží na zaměření projektu. Klasifikátory mohou být založeny na různých vlastnostech objektů a jevů v obraze (např. na prostorovém, časovém či spektrálním chování objektů). Ovšem v současné době se ke klasifikaci obrazu nejčastěji využívají klasifikátory založené na spektrálním chování objektů.

Klasifikace se dělí na řízenou a neřízenou. Dělí se podle toho, jakým způsobem a v kterém okamžiku zpracovatel zasahuje do procesu klasifikace. [10], [50]

Při řešení diplomové práci byla zvolena řízená i neřízená klasifikace obrazu.

7.1 Řízená klasifikace obrazu

Při použití řízené klasifikace zpracovatel definuje algoritmu povrchy tzv. trénovací plochy, které chce v daném obraze hledat. Algoritmus poté bude hledat dané povrchy v obraze, podle předložených vzorů. Trénovací plocha je část obrazu, o které může zpracovatel na základě různých podpůrných dat např. mapy, letecké snímky, terénní průzkumy prohlásit, že je představitelem daného povrchu. [10], [43]

Níže jsou uvedeny základní kroky řízené klasifikace, kde jsou vstupem digitální data v několika pásmech a výstupem jsou digitální data nahrazená kategorií. [50]

1. Training stage - tréninková etapa – nasbírání statistických charakteristik (tzv. spektrálních vlastností) jednotlivých trénovacích ploch (např. land cover – druhy povrchů).
2. Classification stage - klasifikační etapa – porovnání každého pixelu se spektrálními vzory a přiřazení do nejpodobnější kategorie.
3. Output stage - výstupní etapa – prezentace výsledků (např. mapy, tabulky, GIS data).

Celý postup řízené klasifikace obsahuje následující kroky:

1. definování reprezentativních trénovacích ploch,
2. výpočet statistických charakteristik (tzv. spektrálních vlastností) jednotlivých trénovacích ploch, které reprezentují jednotlivé třídy v obraze,
3. zvolení vhodného klasifikátoru, který zařadí jednotlivé pixely obrazu do jednotlivých tříd, kterým se nejvíce podobají,
4. zařazení všech pixelů obrazu do definovaných tříd,
5. úprava, zhodnocení a prezentace výsledků klasifikace. [10], [50]

7.1.1 Hodnocení klasifikace

Hodnocení přesnosti je považováno za důležitou součást klasifikace, a pokud není řádně zhodnocena, nelze klasifikaci považovat za ukončenou.

Nejpoužívanější metodou k hodnocení úspěšnosti klasifikace lze považovat výpočet tzv. klasifikační chybové matice, která má být čtvercového typu a počet jejích řádků a sloupců musí odpovídat počtu hodnocených tříd. Princip je založen na porovnání vztahu mezi referenčními daty a výsledky klasifikace u všech informačních tříd. [10]

Přesnost výsledků klasifikace je možné ohodnotit také pomocí tzv. Kappa koeficientu. Jedná se o metodu, která porovnává klasifikaci provedenou podle určitého rozhodovacího pravidla s klasifikací vzniklou náhodným procesem. [10]

Bez hodnocení přesnosti nelze proces klasifikace ukončit. Určením přesnosti však nelze klasifikaci považovat za dokončenou. V závěru je nutné dosažené výsledky prezentovat. Ty nemusí být nutně ve formě mapového výstupu. Výsledky zpracování obrazových dat mohou být prezentovány ve třech základních formách. Prezentace může být ve formě tematické mapy v papírové podobě, tabulárních dat nebo digitálních výstupů. [63]

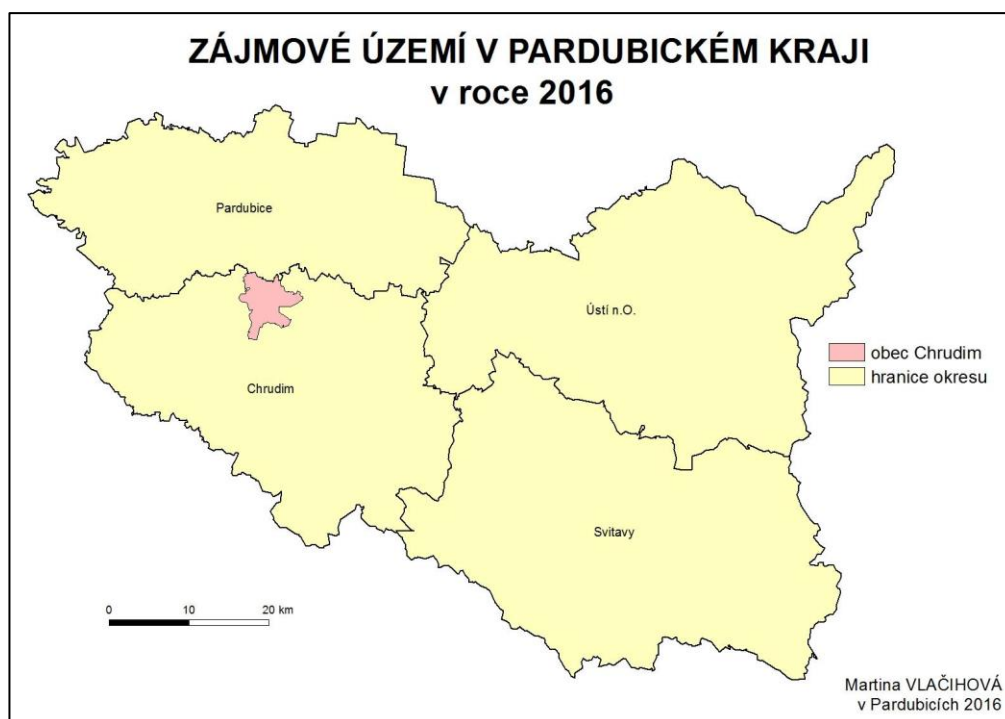
Digitální data mohou mít podobu zvýrazněného obrazového snímku nebo grafu s hodnocením spektrální odrazivosti. Za výsledek lze považovat i přehledné grafy, tabulky, případně další reporty zachycující rozlohy jednotlivých využití krajiny. [63]

8 KLASIFIKACE OBRAZU VYBRANÉHO ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Klasifikace se týká okolí města Chrudim v blízkosti vybudovaného silničního obchvatu města. Cílem práce bylo provést klasifikaci využití půdy ve vybraném zájmovém území. Klasifikace dat proběhla v rámci vybraného programového prostředí ArcGIS Desktop 10.5.1. Tato klasifikace byla provedena algoritmy, které programové prostředí nabízí a jednotlivé výsledky byly následně porovnány a vizualizovány. V této diplomové práci byla využita družicová data z družice Sentinel-2 a Landsat-8.

8.1 Vymezení území

Chrudim, známá rovněž jako „Athény východních Čech“, je město střední velikosti ležící na rozhraní Želených hor a Polabské nížiny, 110 km východně od Prahy, hlavního města České republiky, 10 km jižně od krajského města Pardubic a 33 km od Hradce Králové. Polohu města Chrudim v rámci Pardubického kraje lze hodnotit jako velmi exponovanou, což je dáno blízkostí a dostupností krajského města, které je populačním i ekonomickým centrem kraje. [74]



Obrázek 1 - Zájmové území

Zdroj: [70]

Geologicky se Chrudim nachází ve Východolabské tabuli, která je tvořena převážně křídovým útvarem tvořící České křídové tabule. Ta vznikla v druhohorách z usazenin někdejšího křídového moře. V okolí Chrudimi převažují krystalické horniny starohorního až prvohorního stáří. Menší část území pokrývají písčité štěrky a štěrky říčních teras dále pak spraše, sprašové hlíny a z části také váte písků. Samotná Česká křídová tabule je tvořena usazeninami mělkého moře (slepence, pískovce, jílovce), které zalilo naše území v období svrchní křídý. [39]

Podle [74] a [62] městem protéká řeka Chrudimka, dříve nazývaná Kamenice, která zde tvoří ostrý zákrut obtékající výraznou ostrožnu (návrší). Chrudimka pramení v chráněné krajinné oblasti Žďárské vrchy (20 km jihovýchodně) a po 108 km toku se vlévá do Labe v Pardubicích. U obce Seč je na ní postavena přehradní nádrž, která je využívána pro rekreaci a vodní sporty.

Podnebí v Chrudimi lze v rámci ČR charakterizovat jako nadprůměrně teplé s průměrnými srážkovými úhrny. Průměrná teplota ve městě je 7° C. Díky poloze na jižním okraji České tabule patří město k oblastem s vydatnými zásobami podzemních vod. Město leží ve výšce 243 - 300 m n. m.. [74]

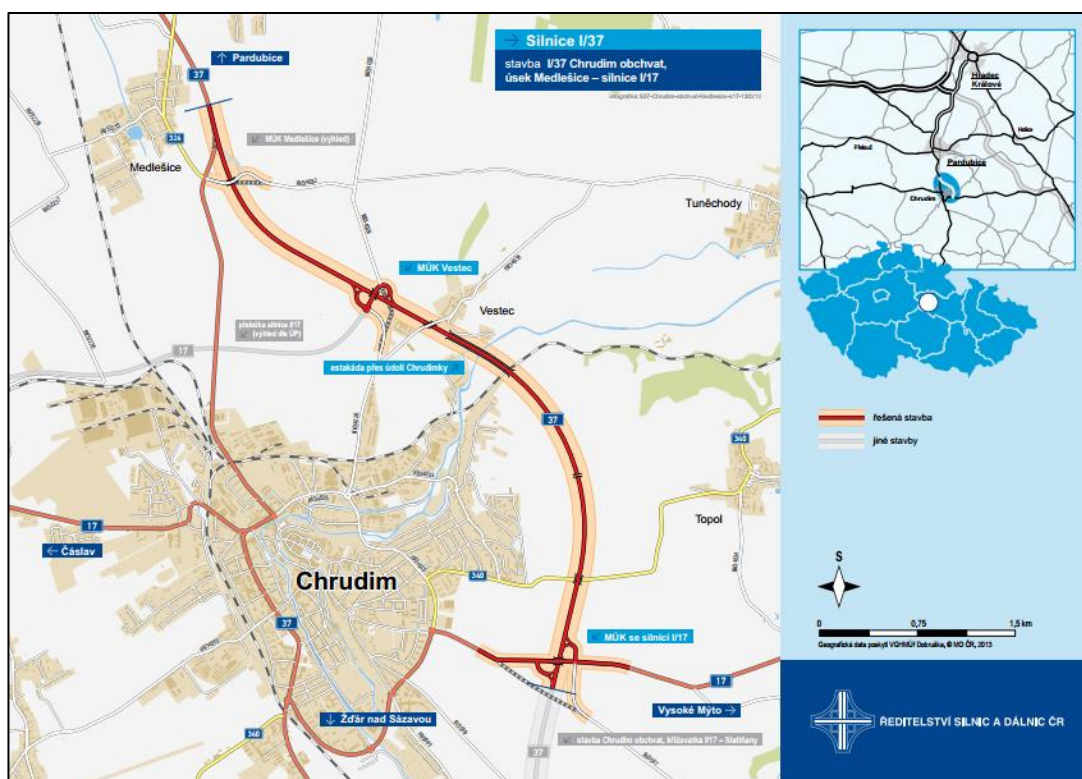
V okolí Chrudimi také nalezneme místa, kde se lidské působení příliš neprojeví, a proto jsou charakteristická různým množstvím rostlinných druhů. Mezi ně patří zejména lipové doubravy, česnek medvědí, růže keltská, okrotice bílá a také sněženka podsněžník.

Širší okolí dané oblasti je také domovem velkého množství zvířeny. Především se zde v hojném počtu vyskytuje bělásek řeřichový, pěnice, slavík obecný, lejsek šedý a žluvy hajní. Ze šplhaviců vzácně hnízdí strakapoud. Běžní jsou ještěrka obecná a slepýš křehký. Ojediněle byla v roce 1995 pozorována velmi vzácná užovka podplamatá. [39]

8.2 Bližší specifikace zvoleného zájmového území

Vzhledem ke složitosti dopravní situace v Chrudimi, je budován obchvat silnice I/37 v úseku Pardubice – Chrudim – Slatiňany a doposud je hotová část Pardubice – Chrudim. Obchvat převzal maximální část dopravní zátěže ve směru sever – jih a veškerou tranzitní dopravu. [54] Touto výstavbou došlo ke změnám v krajině a v souvislosti s výše uvedeným je zájmové území zvoleno právě v okolí nově vybudovaného silničního obchvatu města Chrudim. Území se nachází v městské části Chrudim I. Obchvat se rozkládá severně v blízkosti obce Vestec a východně u obce Topol. Východně se od obchvatu nachází také přírodní rezervace Habrov. Přírodní rezervace leží přibližně 3 kilometry od Chrudimě. Rozkládá se po obou stranách železniční trati Chrudim – Borohrádek, severně od obce Topol a na jižní straně se vypíná nad obcí Tuněchody. [35]

Zájmové území bylo také vybráno z toho důvodu, že autorka této diplomové práce zpracovávala již bakalářskou práci s podobnou problematikou a diplomová práce na tuto problematiku navazuje. Grafické znázornění obchvatu naleznete na obrázku 2.



Obrázek 2 - Grafické znázornění obchvatu (silnice I/37)

Zdroj: ŘSD

8.3 Výběr a sběr dat

V práci byla využita data z družice Sentinel-2 a z družice Landsat 8. Hlavním důvodem výběru družic je dostupnost a aktuálnost snímků pořízených ze zmíněných družic.

Družice Sentinel-2A byla vypuštěna 23. června 2015 a může samostatně snímat dané území jednou za 10 dní. Pokud snímá společně se sesterskou družicí Sentinel-2B, která byla vypuštěna 7. března 2017, tak může snímat dané území jednou za 5 dní (pro území na rovníku), jednou za 3 dny (pro území v zeměpisných šířkách odpovídající Evropě), až téměř každý den pro území Skandinávie nebo Kanady. Družice Sentinel-2 má na sobě senzor MSI (Multi Spectral Instrument) - multispektrální senzor, který snímá ve 13 spektrálních pásmech v prostorovém rozlišení 10 m, 20 m a 60 m (v závislosti na spektrálním pásmu). Přehled jednotlivých pásem, jejich prostorových rozlišení a vlnových délek družice Sentinel-2 je zobrazen v následující tabulce 1. Záběr senzoru je 290 km a úhel pohledu 20,6°. [31]

Označení pásma	Rozsah od [μm]	Rozsah do [μm]	Kódování spektrál. pásma	Prostorové rozlišení [m]
2	0,4575	0,5225	BLUE	10,0
3	0,4525	0,5775	GREEN	10,0
4	0,65	0,68	RED	10,0
8	0,7845	0,8995	NIR	10,0
5	0,6978	0,7125	RED EDGE	20,0
6	0,7325	0,7475	NIR	20,0
7	0,773	0,793	NIR	20,0
8b	0,855	0,875	NIR	20,0
11	1,565	1,655	SWIR	20,0
12	2,1	2,28	SWIR	20,0
1	0,433	0,453	COASTAL	60,0
9	0,935	0,955	NIR	60,0
10	1,365	1,395	NIR	60,0

Tabulka 1 - Přehled pásem a parametrů družice Sentinel-2

Zdroj: upraveno podle [31]

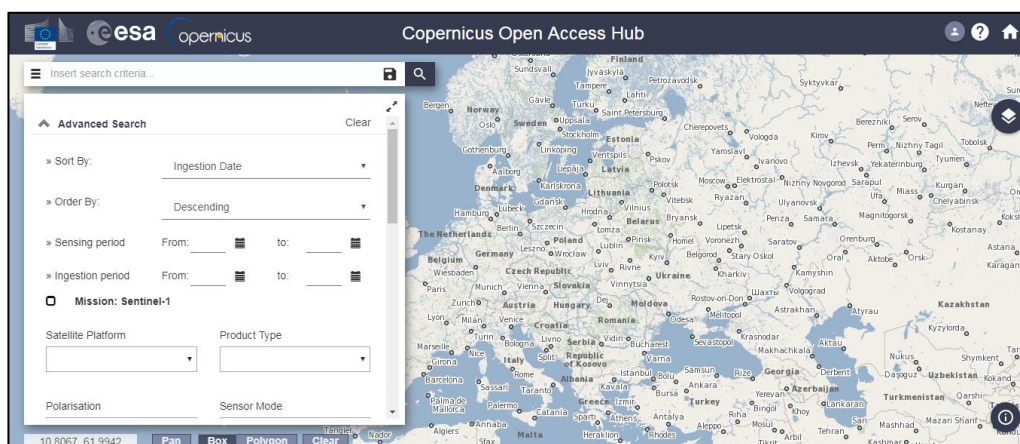
Družice Landsat 8 byla spuštěna 11. února 2013. Satelit pořizuje družicové snímky se 16-ti denní periodou obletu. [46] Družice Landsat 8 má na sobě dva senzory a OLI (Operational Land Image) a TIRS (Thermal Infrared Sensor). Spektrální pásma senzoru OLI jsou obdobná jako u družice Landsat 7 a senzoru ETM+, navíc poskytuje dvě nové spektrální pásma, jedno přizpůsobené speciálně pro detekci cirrusových oblačností a druhé pro pozorování pobřežní zóny. Senzor TIRS obsahuje dvě tepelná infračervená pásma: TIR-1 a TIR-2. Tyto dva senzory poskytují data v prostorovém rozlišení 30 m (viditelná, NIR, SWIR pásma), v prostorovém rozlišení 100 m (tepelná pásma) a v prostorovém rozlišení 15 m (panchromatické pásmo). [44], [45] Přehled jednotlivých pásem, jejich prostorových rozlišení a vlnových délek družice Landsat 7 senzor ETM+ a Landsat 8 pro senzor OLI a TIRS je zobrazen v tabulce 2.

Pásmo	Landsat 7 [μm]		Landsat 8 [μm]	
	senzor ETM+		senzor OLI	senzor TIRS
1	30 m BLUE	0,441 – 0,514	30 m Coastal/Aerosol	0,435 – 0,451
2	30 m GREEN	0,519 – 0,601	30 m BLUE	0,452 – 0,512
3	30 m RED	0,631 – 0,692	30 m GREEN	0,533 – 0,590
4	30 m NIR	0,772 – 0898	30 m RED	0,636 – 0,637
5	30 m SWIR-1	1,547 – 1,749	30 m NIR	0,851 – 1,651
6	60 m TIR	10,31 – 12,36	30 m SWIR-1	1,566 – 1,651
7	30 m SWIR-2	2,064 – 2,345	30 m SWIR-2	2,107 – 2,294
8	15 m Pan	0,515 – 0,896	15 m Pan	0,503 – 0,676
9			30 m CIRRUS	1,363 – 1384
10				100 m TIRS-1 10,60 – 11,19
11				100 m TIRS-2 11,50 – 12, 51

Tabulka 2 - Přehled pásem a parametrů družice Landsat 7 a Landsat 8

Zdroj: upraveno podle [45]

Data z družice Sentinel pro tuto práci byla získána z portálu ESA Sentinel Scientific Data Hub - Copernicus open Acces Hub (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>). [7]



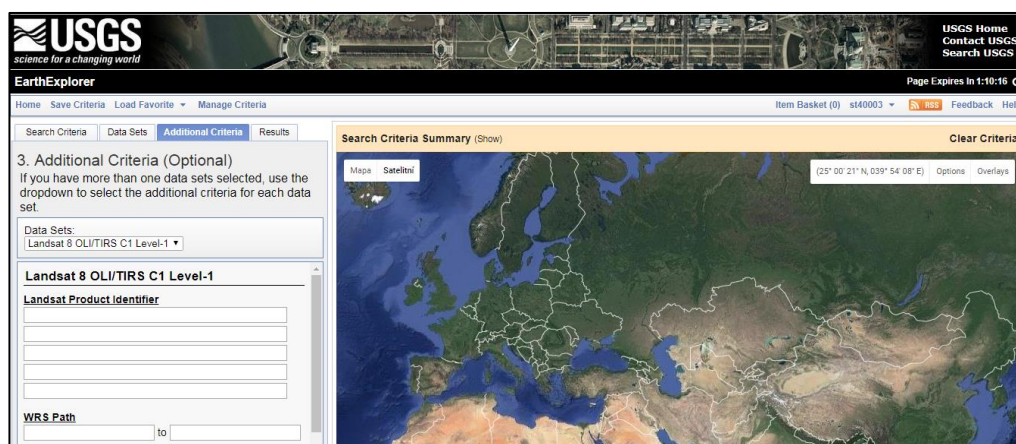
Obrázek 3 - Úvodní obrazovka Copernicus Open Access Hub

Zdroj: [7]

Pro stažení snímků jak z družice Landsat 8, tak z družice Sentinel-2, slouží webové stránky americké vědeckovýzkumné vládní agentury - United States Geological Survey (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). [15]

Po registraci je možné data stahovat z dostupných časových horizontů. Na výše zmíněných webových stránkách je třeba vyplnit oblast, ze které se družicový snímek požaduje, časové rozpětí pořízení snímku a požadovaná datová sada (v tomto případě Sentinel či Landsat). Při pořizování snímků je třeba nadefinovat kritéria na družicové snímky jako je například oblačnost.

Detailní návod pro stažení dat ze zmíněných internetových stránek je znázorněn v příloze 1.



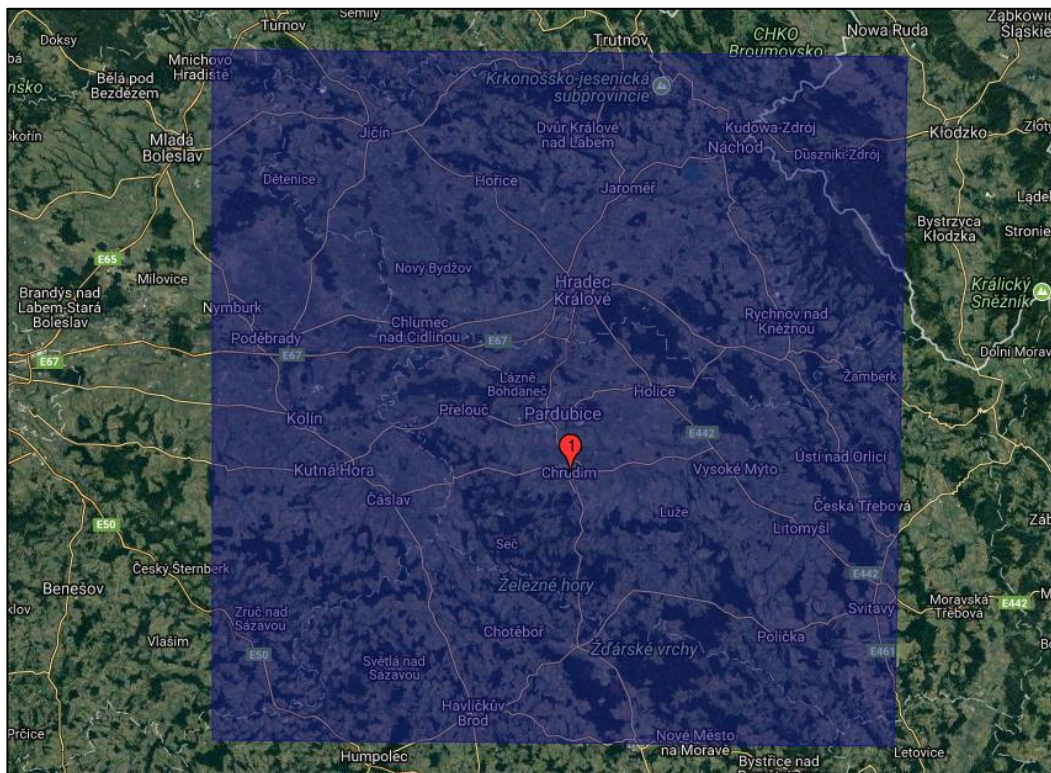
Obrázek 4 - Úvodní obrazovka USGS

Zdroj: [15]

V již zmíněné bakalářské práci [70] „Detekce změn v krajině vybrané části Chrudimi na základě leteckých snímků“ byly sledovány dva časové horizonty – rok 2009, kdy ještě nebyla započata výstavba silničního obchvatu a rok 2014, kdy výstavba probíhala. Pro diplomovou práci bylo zamýšleno vybrat stejné časové horizonty a porovnat výsledky jednotlivých klasifikací. Data z prvního sledovaného časového horizontu však nebyla k dispozici ani ze systémů Landsat ani Sentinel (družice Landsat byla vypuštěna v roce 2013 a Sentinel v roce 2015). Bylo by možné porovnat výsledky klasifikace snímků z roku 2014 (z bakalářské práce) pouze s výsledky klasifikace snímků z družice Landsat. Dále byla provedena klasifikace snímků z družice Landsat 8 a Sentinel-2 a jejich porovnání pro rok 2017.

Na obrázku 5 je zobrazen záběr scény datové sady nasnímané družicí Sentinel-2. Záběr scény je ze severu ohraničený Trutnovem a Turnovem až na jih k Humpolci a Novému Městu na Moravě. Z východu je scéna ohraničena Českou Třebovou až na západ k Mladé Boleslavi. Přibližná velikost scény je 110 km (sever-jih) × 110 km (východ-západ). Data byla nasnímaná

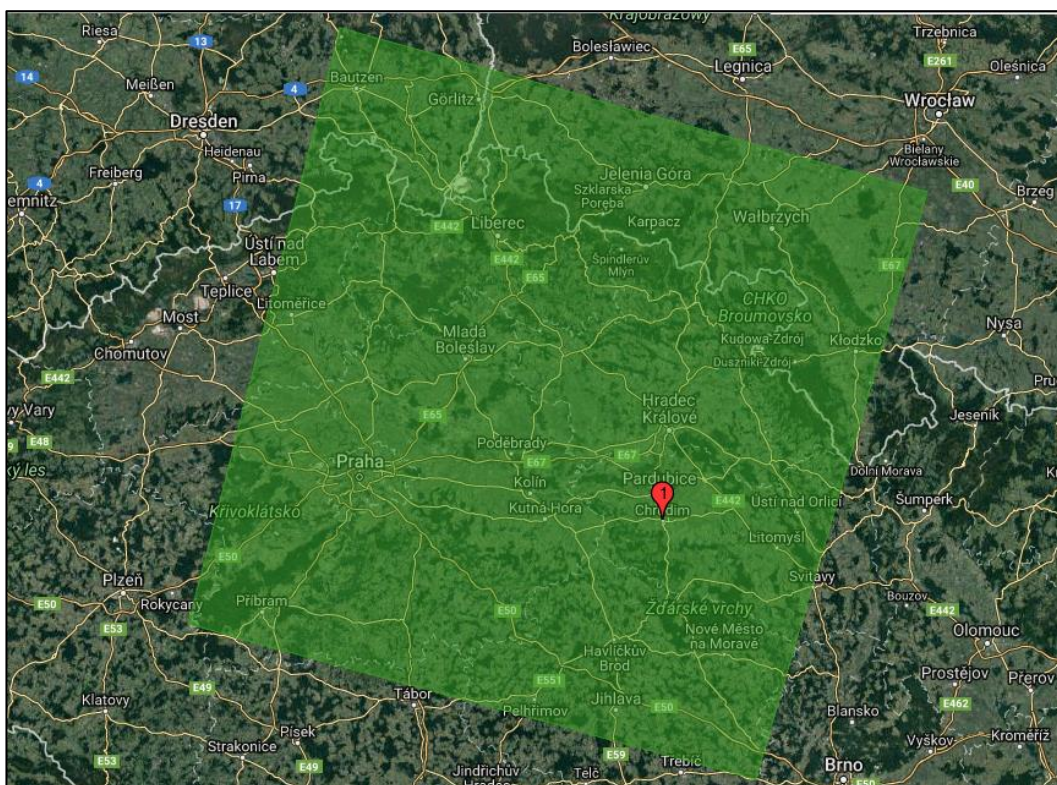
20. 6.2017 v souřadnicovém systému WGS 1984 UTM Zone 33N. Pořízený a stažený snímek je zobrazen v příloze 2.



Obrázek 5 - Záběr scény snímané družicí Sentinel-2

Zdroj: [15]

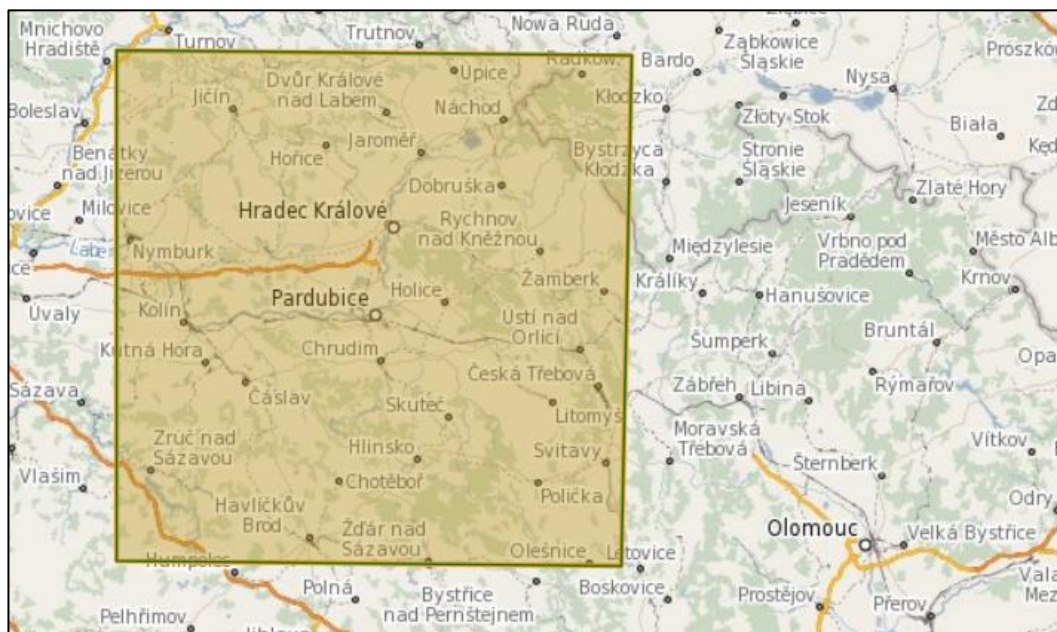
Na následujícím obrázku 6 je znázorněn záběr scény datové sady nasnímané družicí Landsat 8. Záběr této scény na severu sahá za hranice Polska a na jihu je ohraničen Pelhřimovem. Z východu je scéna ohraničena Dolní Moravou až na západ k Litoměřicím. Přibližná velikost scény je 195 km (sever-jih) × 191 km (východ-západ). Data byla nasnímaná 20. 6. 2017 v souřadnicovém systému WGS 1984 UTM Zone 33N. Pořízený snímek z družice Sentinel-2 naleznete v příloze 3.



Obrázek 6 - Záběr scény snímané družicí Landsat 8

Zdroj: [15]

Obrázek 7 obrazuje záběr scény datové sady z družice Sentinel-2A získané z Copernicus Open Access Hub. Data byla nasnímána 20. 6. 2017 v souřadnicovém systému WGS 1984.



Obrázek 7 - Záběr scény snímané družicí Sentinel-2A (Copernicus Open Access Hub)

Zdroj: [7]

8.4 Zpracování a klasifikace dat

Pro snímek z družice Sentinel-2A byla vybrána úroveň „Level-1C“, která se podle [64] sestává z dlaždic o velikosti 100 km² (ortorektifikovaných snímků) a produkty této úrovně jsou převzorkovány metodou Ground Sampling Distance (GSD) na prostorové rozlišení 10 m, 20 m, 60 m v závislosti na prostorovém rozlišení různých spektrálních kanálů.

Snímek pořízený družicí Landsat 8 je v úrovni „Level 1TP“. Tato úroveň podle [76] znamená, že snímek má radiometrické a systematické geometrické korekce. Daná úroveň je ke stažení ve formátu TIFF, který obsahuje obrazová data ze všech kanálů (bandů), s nimiž družice pracuje.

U stažených snímků nebyly autorkou provedeny žádné další korekce. Snímky byly pořízeny za bezoblačného počasí. Procentuální podíl zastínění země a snímané scény oblačností z družice Landsat 8 bylo jen 0,01 % a u snímků pořízených z družice Sentinel-2 bylo zastínění oblačností 0 %. Proto nebylo nutné provádět atmosférické korekce. Geometrické a radiometrické korekce byly u obou družic provedeny už od poskytovatele dat.

Po nahrání stažených dat do programu ArcGIS Desktop 10.5.1 bylo nutné jednotlivé snímky ořezat. V návaznosti na zvolené zájmové území byla použita již vytvořená obalová zóna z bakalářské práce [70] (zona_500.shp). Obalová zóna byla zvolena 500 metrová, aby zahrnovala největší změny od obchvatu. Stažené družicové snímky byly pořízeny 20. 6. 2017 z družice Sentinel-2A a Landsat 8 v souřadnicovém systému WGS 1984 UTM Zone 33N. Obalová zóna 500_m byla vytvořena v souřadnicovém systému S-JTSK_Krovak_East_North. Daná obalová zóna byla transformována do stejného souřadnicového systému, tedy WGS-84. Transformace byla provedena pomocí nástroje „Projected“. Poté byly snímky jednotlivých pásem oříznuty. Tvar území je stejný jako v bakalářské práci. Snímek zvoleného zájmového území pro klasifikaci dat z družice Sentinel-2 naleznete v příloze 4, snímek území pro klasifikaci dat z družice Landsat 8 v příloze 5.

Pro klasifikaci z datové sady Sentinel-2 bylo použito 10 pásem. Vyřazena byla tři pásma (pásma 1, 9 a 10). Pásma slouží pro detekci aerosolu, vodních par a cirrusových mraků, proto jsou v této práci nepoužitelné. Tato pásma byla vyřazena hlavně z hlediska jejich velkého prostorového rozlišení (60 m) oproti ostatním pásmům (10 m a 20 m). Zmíněné velké prostorové rozlišení narušuje klasifikaci. Všechna pásma z družice Sentinel-2 ořezaná se zájmovým územím jsou zobrazeny v příloze 6.

Pro klasifikaci z pořízené datové sady Landsat 8 bylo použito 8 pásem. Vyřazeno bylo nové infračervené pásmo (pásmo 9), které slouží pro detekci cirrusových mraků a je pro tuto diplomovou práci nepoužitelné. Také byla vyřazena dvě tepelná pásma (pásmo 10 a 11). Důvodem je jejich velké prostorové rozlišení (100 m), oproti ostatním pásmům s prostorovým rozlišením (30 m) narušuje klasifikaci. Zmíněná pásma z družice Landsat 8 ořezaná se zájmovým územím jsou v příloze 7.

Po ořezání snímků a vyřazení pásem bylo sestaveno klasifikační schéma, tedy definování kategorií, podle kterých byl povrch v okolí města Chrudim dělen.

8.4.1 Klasifikační schéma

Při sestavování klasifikačního schématu bylo nutné zohlednit nejen strukturu zkoumaného území, ale i vlastnosti použitých družicových snímků. V již zmíněné bakalářské práci bylo dělení využití země podrobnější, než tomu je v této práci. Klasifikaci jednotlivých ploch pro rok 2014, (z bakalářské práce) nalezete v následující tabulce 3.

Klasifikace jednotlivých ploch 2014	
ID	Vrstva
11	zástavba
21	silnice
22	silnice ve výstavbě
23	zpevněná cesta
24	nezpevněná cesta
25	železnice
31	orná půda
32	sady a zahrady
33	zatravněné plochy
41	les
51	vodní tok

Tabulka 3 - Klasifikace ploch v roce 2014

Zdroj: [70]

Vzhledem k prostorovému rozlišení dat musely být v diplomové práci některé skupiny sloučeny do jedné třídy. Například původní kategorie sady a zahrady, zatravněná plocha, železnice, vodní tok a les byly sloučeny do kategorie les a zatravněné plochy. Železnice a vodní





tok byly do této kategorie zařazeny, protože jejich linií lemují stromy, které jsou na snímcích zřetelnější než samotné kategorie. Tento krok byl zvolen především z toho důvodu, že není možné s přesností klasifikovat jednotlivé povrchy pro nižší prostorové rozlišení. Stejně tak byla provedena agregace u kategorií silnice, silnice ve výstavbě zpevněná cesta a nezpevněná cesta. Tyto plochy byly sloučeny do kategorie silnice, protože v roce 2017 již byla dokončena výstavba silničního obchvatu města. Agregací vznikly nové kategorie, které jsou znázorněny v následující tabulce 4.

Klasifikace jednotlivých ploch 2017	
ID	Vrstva
11	zástavba
21	silnice
31	orná půda
41	lesní zatravněné plochy

Tabulka 4 - Klasifikace ploch v roce 2017

Zdroj: vlastní zpracování

Po vytvoření kategorií, se kterými se pracovalo, bylo sestaveno klasifikační schéma, kde byla určena barevná paleta RGB s jednotlivými hodnotami pro každou kategorii.

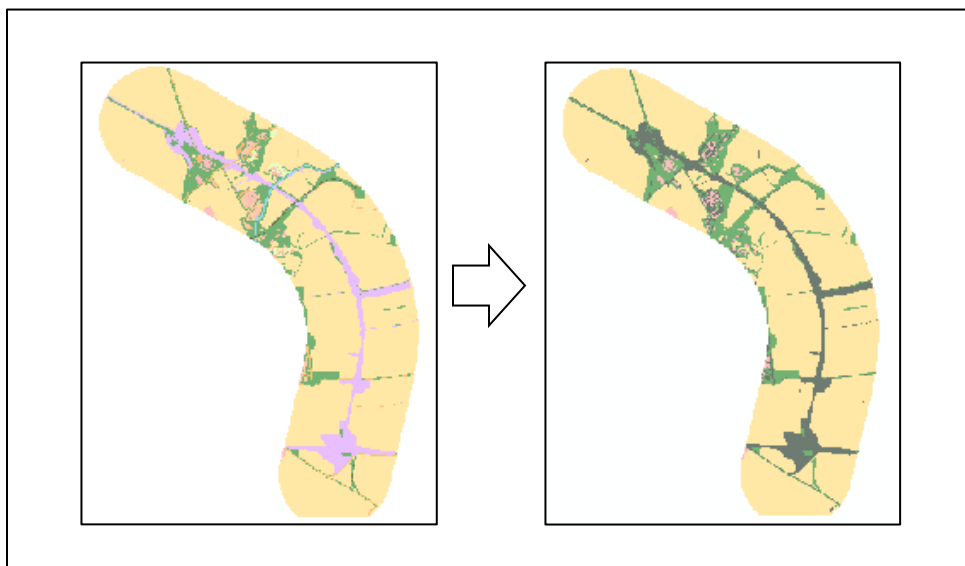
ID	Název	Barva v legendě	Barevná paleta RGB		
			R	G	B
11	Zástavba		254	190	190
21	Silnice		109	123	113
31	Orná půda		255	232	166
41	Lesní a zatravněná plocha		116	178	115

Tabulka 5 - Kategorie pro klasifikaci

Zdroj: vlastní zpracování

Následně byla provedena klasifikace využití půdy ve vybraném zájmovém území. Klasifikace byla provedena vybranými algoritmy, které programové prostředí ArcGIS Desktop 10.5.1 nabízí, jedná se o jednu metodu neřízené klasifikace ISO Cluster a o metody klasifikace řízené Maximum Likelihood Classification a Class Probability. Pro práci s vybranými nástroji pro klasifikaci bylo potřeba v softwaru zapnout podporu rozšíření (extension) – záložku Customize – Spatial analyst.

Po vytvoření všech klasifikací bylo provedeno zjištění přesnosti oklasifikovaných snímků. Pomocí geoprocesinového nástroje „Create Accuracy Assessment Point“, který ArcGIS Desktop 10.5.1 nabízí, byla vygenerována sada náhodných bodů na výsledcích z jednotlivých klasifikací. Pro každou kategorii bylo vytvořeno 10 náhodných bodů. Body byly následně vizuálně porovnány s referenčními daty. Jako referenční data byly použity výsledky manuální klasifikace zájmového území pro rok 2014 prováděné autorkou v bakalářské práci. Mapový výstup ruční klasifikace je zobrazen v příloze 8. Tyto výsledky musely být převedeny do rastrové podoby, která je zobrazena v příloze 9. Rastrová data byla ještě reklasifikována na požadovaný počet tříd, tedy 4 třídy, což je znázorněno na následujícím obrázku 8. Jako data vzorová byl zvolen výstup z klasifikace automatické.



Obrázek 8 - Reklasifikace referenčních dat

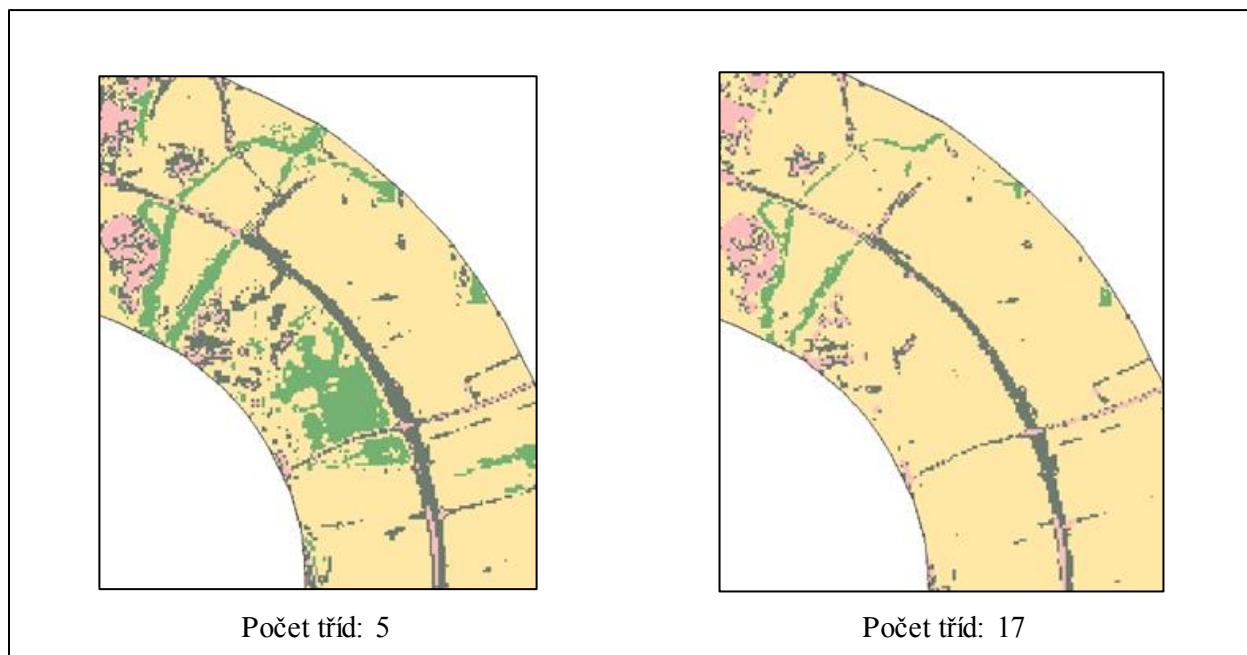
Zdroj: vlastní zpracování

8.4.2 ISO Cluster

Nejprve byla provedena metoda ISO Cluster Unsupervised Classification, která je jedinou metodou z neřízených klasifikací v programu ArcGIS Desktop 10.5.1. Zmíněný nástroj je pro uživatele jednoduchý. Nejprve bylo nutné přidat pásma, podle kterých bylo klasifikováno a poté zadat požadovaný počet tříd, do kterých klasifikátor jednotlivé pixely rozdělil. Ostatní parametry byly ponechány v defaultním nastavení.

Pro data z družice Sentinel-2 bylo použito různé množství tříd (2-20). Při různém nastavení tříd algoritmus vytvářel různé výsledky. Například při nastavení 5 tříd a spuštění algoritmu bylo vytvořeno zvolených 5 tříd a následně pomocí funkce „Reclassify“ provedeno sjednocení do 4

tříd (zástavba, silnice, orná půda, les a zatravněná plocha). V případě nastavení 17 tříd algoritmus vytvořil 17 tříd, poté bylo opět provedeno sjednocení do 4 zvolených tříd (zástavba, silnice, orná půda, les a zatravněná plocha). Na obrázku 9 jsou zobrazeny náhledy na klasifikaci při použití metody ISO Cluster z dat Sentinel-2. Mapové výstupy těchto klasifikací jsou přiloženy v příloze 10 a 11.



Obrázek 9 - Náhled na klasifikace metodou ISO Cluster z dat Sentinel-2

Zdroj: vlastní zpracování

Postklasifikační úpravy výstupu z klasifikace byly prováděny, ale ukázalo se, že při použití majoritního filtru dojde k odstranění důležitých objektů v krajině, a proto nebyly použity.

Pro zjištění přesnosti klasifikace metodou ISO Cluster při nastavení 5 tříd bylo vygenerováno pro každou kategorii 10 bodů a bylo porovnáváno, zda vygenerované body patří do dané kategorie či nepatří. Pro kategorii zástavba bylo zařazeno 5 bodů správně, do kategorie silnice bylo zařazeno 7 bodů správně, pro kategorii orná půda byly zařazeny všechny body správně a pro kategorii les a zatravněné plochy byl zařazen pouze 1 bod správně (v porovnání s referenčními daty). Přřazení daných bodů do kategorií pro tuto metodu je zobrazeno v tabulce 6.

TŘÍDA		REFERENČNÍ DATA				
		Zástavba	Silnice	Orná půda	Zatrávněná plocha	Celkem
KLASIFIKACE	Zástavba	5	3	2	0	10
	Silnice	0	7	0	3	10
	Orná půda	10	0	0	0	10
	Zatrávněná plocha	1	0	9	0	10

Tabulka 6 - Zařazení bodů do kategorie metodou ISO Cluster z dat Sentinel-2 (5 tříd)

Zdroj: vlastní zpracování

Stejným způsobem byly porovnávány vygenerované body u metody ISO Cluster pro 17 tříd. V tomto případě byly do kategorie zástavba zařazeny 4 body správně, do kategorie silnice 7 bodů správně, kategorii orná půda tvoří 7 správně zařazených bodů a kategorii les a zatrávněná plocha tvoří pouze 1 správně zařazený bod. Tabulka 7 zobrazuje zařazení bodů do zvolených kategorií.

TŘÍDA		REFERENČNÍ DATA				
		Zástavba	Silnice	Orná půda	Zatrávněná plocha	Celkem
KLASIFIKACE	Zástavba	4	3	2	1	10
	Silnice	0	7	1	2	10
	Orná půda	0	1	7	2	10
	Zatrávněná plocha	0	1	8	1	10

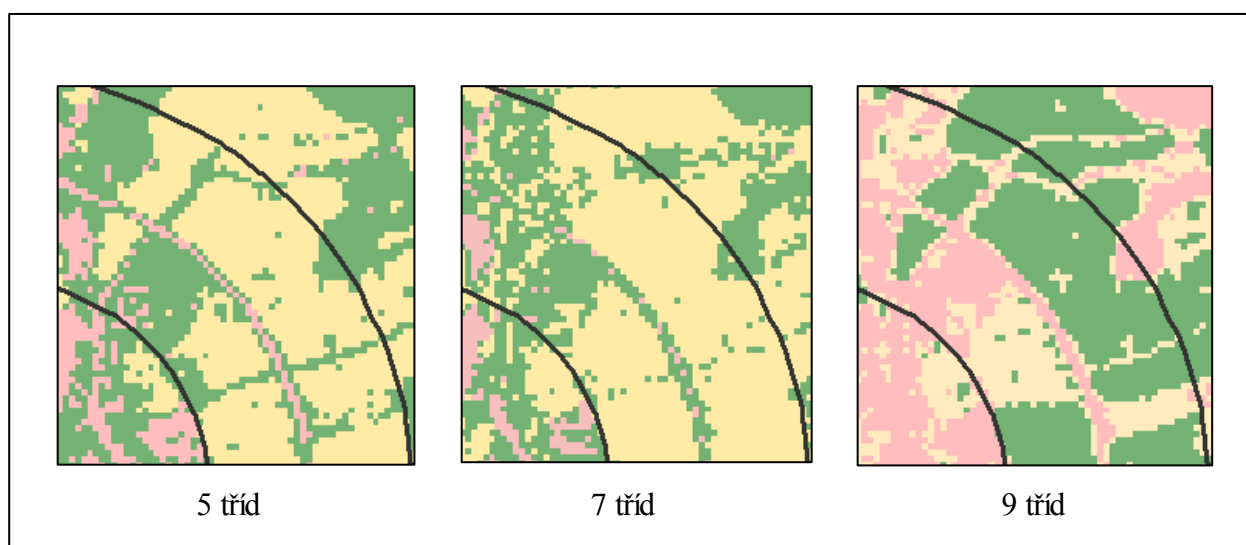
Tabulka 7 - Zařazení bodů do kategorie metodou ISO Cluster z dat Sentinel-2 (17 tříd)

Zdroj: vlastní zpracování

Pro data z družice Landsat 8 bylo zvoleno stejné množství tříd jako v předchozím případě, tedy nastavení 5 a 17 tříd pro algoritmus ISO Cluster Unsupervised Classification. Poměrně dobré výsledky algoritmus přináší při nastavení 5 tříd. Avšak při nastavení většího počtu tříd (10 a více) nejsou výsledky klasifikace použitelné a s větším počtem jsou výsledky klasifikace horší. Proto není možné vytvořit mapový výstup při zvolení 17 tříd. Dále bylo experimentálně vyzkoušeno, do jakého počtu tříd jsou výsledky klasifikace přijatelné. Například při nastavení 7

tříd, algoritmus vytvořil 4 kategorie využití půdy. Ty byly následně reklasifikovány do tří kategorií, do kategorie zástavba (zastavěná plocha a komunikace), ostatní plochy a zatravněné plochy (lesní plochy a holá půda a orná půda).

Lze říci, že algoritmus neřízené klasifikace pro tento snímek není schopen klasifikovat zvláště zástavbu (domy, haly) a komunikaci (silnici). Výsledky klasifikace jsou ovlivněny nízkým prostorovým rozlišením snímku z družice Sentinel 8. Na následujícím obrázku 10 jsou zobrazeny náhledy na klasifikaci při použití metody ISO Cluster z dat Landsat 8. Mapový výstup klasifikace se zvolením 5 tříd je přiložen v příloze 12.



Obrázek 10 - Náhled na klasifikace metodou ISO Cluster z dat Landsat 8

Zdroj: vlastní zpracování

Z pohledu zjištění přesnosti pro metodu ISO Cluster při nastavení 5 tříd z dat Landsat 8 bylo opět vygenerováno 10 bodů. Pro kategorii orná půda byly zařazeny všechny body správně. Pro kategorii zástavba bylo zařazeno 9 bodů správně, přičemž tato metoda sloučila silnice a zástavbu do jedné kategorie. Pro kategorii les a zatravněné plochy bylo zařazeno 9 bodů správně. V následující tabulce 8 je znázorněno zařazení bodů do jednotlivých kategorií.

TŘÍDA		REFERENČNÍ DATA			
		Zástavba a silnice	Orná půda	Zatrávněná plocha	Celkem
KLASIFIKACE	Zástavba a silnice	9	0	1	10
	Orná půda	10	0	0	10
	Zatrávněná plocha	0	1	9	10

Tabulka 8 - Zařazení bodů do kategorie metodou ISO Cluster z dat Landsat 8 (5 tříd)

Zdroj: vlastní zpracování

8.4.3 Metoda Maximum Likelihood Classification

Metoda maximální shody je metoda řízené klasifikace, která pracuje na principu výpočtu pravděpodobnosti. Tento algoritmus vyžaduje vytvoření trénovacích množin. Jedním z nezbytných předpokladů je, že shluky pixelů v trénovacích datech jsou v normálním rozložení. Principem této metody je zařazení klasifikovaného pixelu do třídy, do které s největší pravděpodobností spadá. Klasifikátor je velmi citlivý na příkladné nedostatky v trénovacích datech. [37]

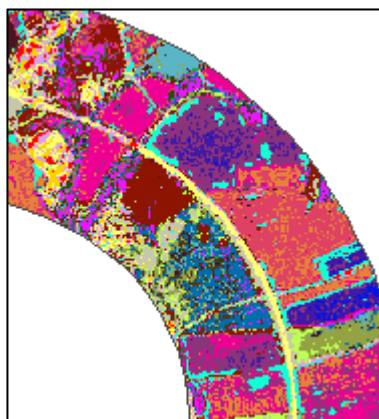
Před použitím této metody bylo nutné vytvořit tzv. „Signature file“. Signature file obsahuje trénovací plochy a na základě těchto ploch se následně vypočítají statistické charakteristiky, které se označují jako signatury. Trénovací plochy byly vytvořeny pomocí nástroje „Draw polygon“. Natrénování ploch bylo provedeno na základě pořízeného snímku. V případě některých kategorií (zástavba a orná půda) bylo vytvořeno více kategorií. Pro řízenou klasifikaci bylo zvoleno celkem 25 tříd: 1 - 3 zastavěná plocha, 4 - silnice, 5 - 22 zemědělská plocha, 23 - orná půda s prvky vegetace, 24 - lesní plocha a 25 - zatrávněná plocha. Výběr a vytvoření těchto ploch pro jednotlivé třídy je vyobrazen na obrázku 11.



Obrázek 11 - Vytvořené trénovací plochy z dat Sentinel-2

Zdroj: vlastní zpracování

Při klasifikaci metodou Maximum Likelihood je třeba přidat pásma, dle kterých se bude klasifikovat, vložit soubor s vytvořenými natrénovanými množinami a vybrat místo uložení souboru. Daný algoritmus provedl klasifikaci do 25 zvolených tříd. Na následujícím obrázku 12 je zobrazen náhled na provedenou klasifikaci algoritmem.



Obrázek 12 - Náhled na klasifikaci před provedením reklasifikace z dat Sentinel-2

Zdroj: vlastní zpracování

Poté bylo třeba pomocí funkce „Reclassifý“ sjednotit různé třídy orné půdy do jedné. Sjednocení bylo provedeno u kategorie zástavba a zatravněné plochy a lesy. Na obrázku 13 je

zobrazen náhled na klasifikaci při použití metody Maximum Likelihood z dat Sentinel-2. Mapový výstup této klasifikace je přiložen v příloze 13.



Obrázek 13 - Náhled na klasifikaci metodou Maximum Likelihood z dat Sentinel-2

Zdroj: vlastní zpracování

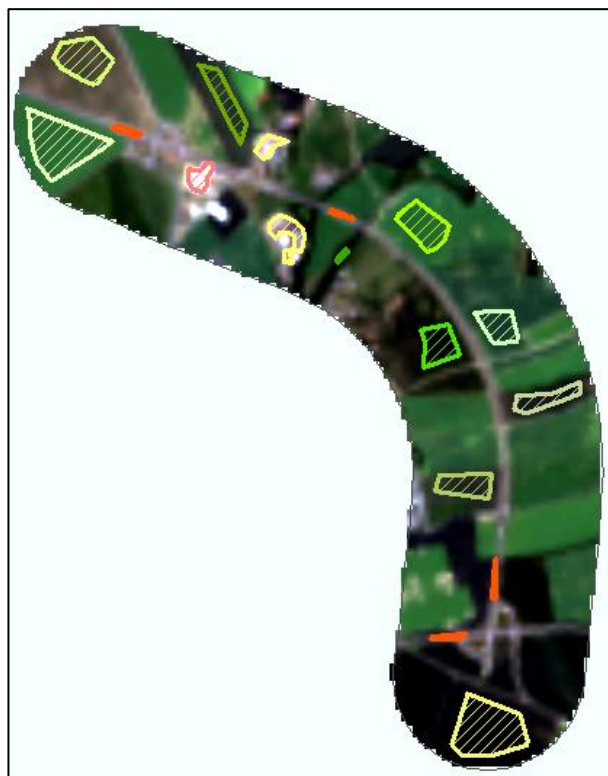
Algoritmus Maximum Likelihood v porovnání s referenčními daty vykazuje velmi dobré výsledky z hlediska přesnosti díky vyššímu prostorovému rozlišení. Do kategorie zástavba bylo zařazeno 5 bodů správně, kategorie silnice a orná půda zahrnují všech 10 vygenerovaných bodů. Do kategorie les a zatravněné plochy byly zařazeny 2 body správně. Body přiřazené ke zvoleným kategoriím jsou znázorněny v tabulce 9.

TŘÍDA		REFERENČNÍ DATA				
		Zástavba	Silnice	Orná půda	Zatravněná plocha	Celkem
KLASIFIKACE	Zástavba	5	5	0	0	10
	Silnice	0	10	0	0	10
	Orná půda	0	0	10	0	10
	Zatravněná plocha	0	1	7	2	10

Tabulka 9 - Zařazení bodů do kategorie metodou Maximum Likelihood z dat Sentinel-2

Zdroj: vlastní zpracování

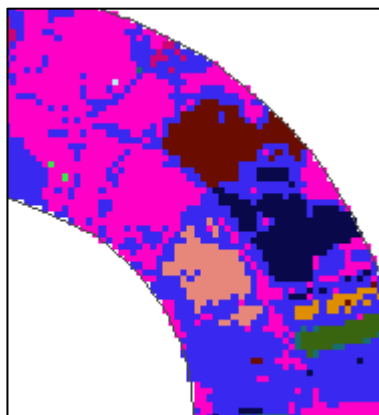
Obdobným způsobem byly vytvořeny trénovací plochy pro snímek dat z družice Landsat 8, kde bylo třeba vytvořit více než 1 třídu jak pro kategorii zástavba, tak pro kategorii orná půda.



Obrázek 14 - Vytvořené trénovací plochy z dat Landsat 8

Zdroj: vlastní zpracování)

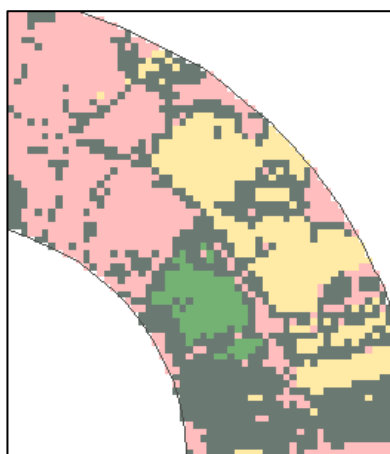
Na obrázku 15 je zobrazen náhled na klasifikaci při použití metody Maximum Likelihood z dat Landsat 8.



Obrázek 15 - Náhled na klasifikaci před provedením reklasifikace z dat Landsat 8

Zdroj: vlastní zpracování

Poté bylo potřeba opět sjednotit různé třídy orné půdy do jedné. Na obrázku 16 je zobrazen náhled na klasifikaci při použití metody Maximum Likelihood z dat Sentinel-2 po reklasifikaci. Mapový výstup této klasifikace je přiložen v příloze 14.



Obrázek 16 - Náhled na klasifikaci metodou Maximum Likelihood z dat Landsat 8

Zdroj: vlastní zpracování

Celkově jsou výsledky této klasifikace nedostatečné, což je zapříčiněno nízkým prostorovým rozlišením snímku pořízeným z družice Landsat 8. Z pohledu zjištění přesnosti byly pro kategorii zástavba zařazeny 2 body správně a pro kategorii silnice 4 body. Pro kategorii orná půda byly všechny vygenerované body zařazeny správně. Pro kategorii les a zatravněné plochy byl zařazen pouze 1 bod správně v porovnání s referenčními daty. V následující tabulce 6 je znázorněno zařazení bodů do jednotlivých kategorií.

TŘÍDA		REFERENČNÍ DATA				
		Zástavba	Silnice	Orná půda	Zatravněná plocha	Celkem
KLASIFIKACE	Zástavba	2	4	0	4	10
	Silnice	0	5	3	2	10
	Orná půda	0	0	10	0	10
	Zatravněná plocha	0	0	9	1	10

Tabulka 10 - Zařazení bodů do kategorie metodou Maximum Likelihood z dat Landsat 8

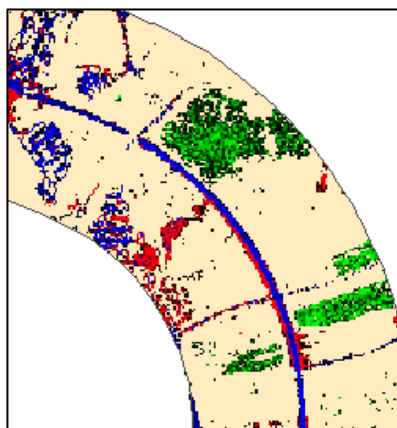
Zdroj: vlastní zpracování

8.4.4 Metoda Class Probability

Další metodou řízené klasifikace je metoda Class Probability. Předpokladem metody je vytvoření trénovacích množin, přidání pásem, podle kterých se bude klasifikovat a zvolit pravděpodobnost, podle které bude daný pixel přiřazen. [5]

Pro tuto metodu byly použity vytvořené trénovací plochy z předchozí metody Maximum Likelihood. Po vložení souboru s vytvořenými trénovacími plochami a po výběru místa uložení daného klasifikovaného souboru, proběhla klasifikace.

Na obrázku 16 je zobrazen náhled na klasifikaci při použití metody Class Probability z dat Sentinel-2. Tento algoritmus udává výsledky klasifikace v RGB kompozici. V tomto případě nebylo možné změnit RGB kompozici do potřebných barev, které byly zvoleny v rámci klasifikačního schématu. Vygenerované barvy byly ponechány. Náhled na klasifikaci metodou Class Probability je zobrazen na obrázku 17. Mapový výstup této klasifikace je přiložen v příloze 15.



Obrázek 17 - Náhled na klasifikaci metodou Class Probability z dat Sentinel-2

Zdroj: vlastní zpracování

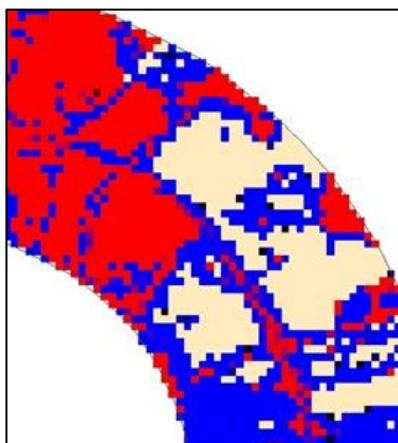
Přesnost zařazení bodů klasifikace metody Class Probability z dat Sentinel-2 byla následující. Do kategorie zástavba zařazeny 2 body správně a do kategorie silnice 8 bodů správně. Pro kategorii orná půda byly všechny vygenerované body zařazeny správně. Kategorie les a zatravněné plochy tvoří 3 správně zařazené body.

TŘÍDA		REFERENČNÍ DATA				
		Zástavba	Silnice	Orná půda	Zatrávněná plocha	Celkem
KLASIFIKACE	Zástavba	2	4	4	0	10
	Silnice	2	8	0	0	10
	Orná půda	0	0	10	0	10
	Zatrávněná plocha	0	0	7	3	10

Tabulka 11 - Zařazení bodů do kategorie metodou Class Probability z dat Sentinel-2

Zdroj: vlastní zpracování

Stejně jako u dat z družice Sentinel-2 byly pro tuto metodu použity vytvořené trénovací plochy z předchozí metody Maximum Likelihood pro klasifikaci dat z družice Landsat 8. Na následujícím obrázku 18 je zobrazen náhled na klasifikaci při použití metody Class Probability z dat Landsat 8. Stejně jako v předchozím případě algoritmus udává výsledky klasifikace v RGB kompozici, tudíž vygenerované barvy byly ponechány. Mapový výstup této klasifikace je přiložen v příloze 16.



Obrázek 18 - Náhled na klasifikaci metodou Class Probability z dat Landsat 8

Zdroj: vlastní zpracování

V tomto případě z pohledu zjištění přesnosti byly body pro kategorii zástavba zařazeny správně 4 body, pro kategorii orná půda bylo zařazeno všech 10 bodů a pro kategorii les a zatrávněné plochy byly zařazeny pouze 2 body správně (v porovnání s referenčními daty). Je třeba brát v úvahu, že v tomto případě algoritmus sloučil kategorie zástavba a silnice do jedné. V tabulce 12 je znázorněno zařazení bodů do kategorií.

TRÍDA		REFERENČNÍ DATA			
		Zástavba a silnice	Orná půda	Zatrávněná plocha	Celkem
KLASIFIKACE	Zástavba a silnice	4	3	3	10
	Orná půda	0	10	0	10
	Zatrávněná plocha	0	2	8	10

Tabulka 12 - Zařazení bodů do kategorie metodou Class Probability z dat Landsat 8

Zdroj: vlastní zpracování

8.4.5 Porovnání klasifikačních metod

V následujících tabulkách 13 a 14 jsou znázorněny výsledky provedených klasifikačních algoritmů pro datovou sadu Sentinel-2 a Landsat 8. Výsledky jsou seřazeny od nejlepších po nejhorší.

Metody, kde ISO = ISO Cluster, ML = Maximum Likelihood, CP = Class Probability, jsou řazeny na základě správně klasifikovaných bodů.

Metoda	Datová sada	Počet tříd	Správně klasifikované body
ML	Sentinel-2	4	27
ISO	Sentinel-2	17	26
ISO	Sentinel-2	5	23
CP	Sentinel-2	4	23

Tabulka 13 - Porovnání klasifikačních metod z dat Sentinel-2

Zdroj: vlastní zpracování

Metoda	Datová sada	Počet tříd	Správně klasifikované body
ISO	Landsat 8	5	28
ML	Landsat 8	4	17
CP	Landsat 8	4	16

Tabulka 14 - Porovnání klasifikačních metod z dat Landsat 8

Zdroj: vlastní zpracování

Přestože některé výsledky klasifikačních metod prováděných z dat družice Landsat 8 vykazují menší počet špatně klasifikovaných bodů, díky nízkému prostorovému rozlišení dat, jsou hodnoceny jako nevyhovující. Například při metodě ISO Cluster a nastavení většího počtu tříd než 10, výsledky algoritmu nebyly použitelné. Při nastavení 5 tříd u stejného algoritmu, došlo ke sjednocení zástavby (domy) a silnice do jedné kategorie. V případě metody Maximum Likelihood i přes natrénování dat (kde byla vytvořena trénovací plocha jak pro silnice, tak pro zástavbu) algoritmus tyto dvě kategorie sloučil do jedné. Stejně tomu tak bylo při algoritmu Class Probability. Již při pohledu na mapové výstupy klasifikací z dat družice Landsat 8 je zřejmé, že výsledky nejsou vhodné. Z výše uvedených důvodů byly výsledky klasifikace z dat Sentinel-2 upřednostněny (díky vyššímu prostorovému rozlišení).

Nejlepší metodou klasifikace je metoda Maximum Likelihood Classification z dat družice Sentinel-2. Při této klasifikaci jsou trénovací plochy vybírány uživatelem, podle kterých algoritmus klasifikuje. Z výsledků této klasifikace byly následně vypočítány rozlohy jednotlivých ploch.

8.5 Výpočty rozloh

Vzhledem k tomu, že výsledky automatické klasifikace byly porovnávány s výsledky ruční klasifikace, bylo třeba vypočítat rozlohy jednotlivých ploch.

Rozlohy byly vypočítány z klasifikace, která vykazovala nejlepší výsledky, tedy z provedené klasifikace metodou Maximum Likelihood Classification z dat Sentinel-2.

Pro výpočet rozloh bylo potřeba převést hodnoty z rastru na polygony, kterým byla přiřazena třída jednotlivých kategorií. Výpočet rozloh jednotlivých ploch byl proveden pomocí funkce „Calculate Geometry“, kde byly nastaveny jednotky výpočtu hektary (ha). Všechny vypočítané

plochy touto funkcí se zapsaly do atributové tabulky. Dále byly vypočítány součty jednotlivých ploch. Pro tento krok byla využita funkce „Summary Statistic“.

Tabulka 15 udává celkovou výměru kategorie pro rok 2017 v hektarech a poměrné zastoupení v procentech (podíl výměry kategorie na celkové ploše, vynásobené stem).

Poměrné zastoupení jednotlivých kategorií v roce 2017		
Kategorie	Výměra (ha)	Výměra (%)
Zástavba	31.20	6.38
Silnice	24.59	5.03
Orná půda	395.42	80.82
Lesní a zatravněná plocha	38.05	7.78
CELKEM	489.27	100.00

Tabulka 15 - Poměrné zastoupení kategorií v roce 2017

Zdroj: vlastní zpracování

V této práci je porovnáván rok 2014 – kdy probíhala výstavba silničního obchvatu města, respektive probíhala finalizace a rok 2017 – kdy již byly skončeny veškeré stavební práce a klasifikovaná část obchvatu byla vystavěna.

V již zmíněné bakalářské práci byly vypočítány výměry ploch, kde byl porovnáván rok 2009 - doba před zahájením výstavby silničního obchvatu, a rok 2014 - období kdy již výstavba probíhala. Z výsledků manuální klasifikace vyplývá, že díky výstavbě silničního obchvatu města Chrudim, došlo ke změně využití krajiny. Největší změnou prošla kategorie orná půda, která měla největší plošné zastoupení a její rozloha se znatelně zmenšila v porovnání s ostatními kategoriemi. Do komunikací byl zahrnut i nově vybudovaný obchvat, který byl vybudován na úkor orné půdy a zatravněných ploch.

Vzhledem k tomu, že v bakalářské práci bylo klasifikováno více kategorií, bylo nutné některé kategorie sloučit a jejich výměry sečíst. Tabulka 16 udává celkovou výměru kategorie pro rok 2014 v hektarech a poměrné zastoupení v procentech (podíl výměry kategorie na celkové ploše, vynásobené stem).

Poměrné zastoupení jednotlivých kategorií v roce 2014		
Kategorie	Výměra (ha)	Výměra (%)
Zástavba	7.19	1.48
Silnice	50.05	10.28
Orná půda	378.99	77.82
Lesní a zatravněná plocha	50.79	10.43
CELKEM	487.02	100.00

Tabulka 16 - Poměrné zastoupení kategorií v roce 2014

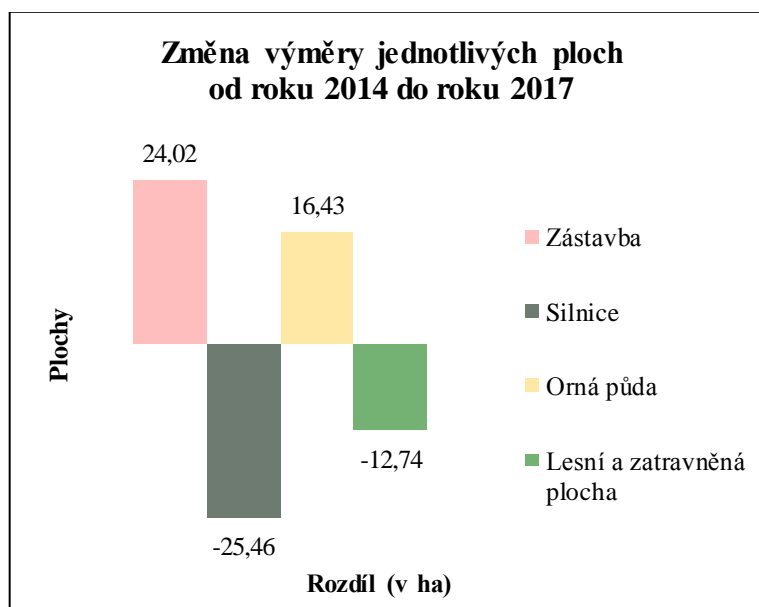
Zdroj: vlastní zpracování

Na základě předchozích tabulek byla vypočítána změna výměry jednotlivých ploch od roku 2014 do roku 2014. Změna výměry jednotlivých ploch je zobrazena v grafu 1.

Změna výměry jednotlivých ploch od roku 2014 do roku 2017		
Kategorie	Rozdíl (v ha)	Rozdíl (v %)
Zástavba	24.02	4.90
Silnice	-25.46	-5.25
Orná půda	16.43	3.00
Lesní a zatravněná plocha	-12.74	-2.65

Tabulka 17 - Změna výměry

Zdroj: vlastní zpracování



Graf 1 - Změna výměry ploch

Zdroj: vlastní zpracování

9 INTERPRETACE VÝSLEDKŮ

V diplomové práci byla provedena klasifikace využití půdy ve vybraném zájmovém území v okolí nově vybudovaného silničního obchvatu města Chrudim. Tato klasifikace byla provedena vybranými algoritmy a jednotlivé výsledky byly následně porovnány a vizualizovány. V práci byla využita družicová data z družice Sentinel-2 a Landsat-8.

Před samotnou klasifikací bylo nutné stažené snímky z obou družic oříznout, vybrat a případně vyřadit jednotlivá pásma, vybrat kategorie pro klasifikaci, sestavit klasifikační schéma a provést klasifikace vybranými algoritmy. Po vytvoření klasifikací byla vybrána nejlepší klasifikace, která měla nejmenší počet špatně zařazených bodů, které byly porovnávány s referenčními daty. Na základě provedené klasifikace metodou Maximum Likelihood Classification z dat Sentinel-2 byly vypočítány výměry jednotlivých kategorií a porovnány s referenčními daty, kterými byly výsledky manuální klasifikace provedené v bakalářské práci.

Pro data z družice Sentinel-2 bylo při využití algoritmu ISO Cluster bylo použito různé množství tříd. Při nastavení 5 tříd a spuštění algoritmu bylo vytvořeno zvolených 5 tříd a následně provedeno sjednocení do 4 zvolených tříd (zástavba – 1 třída, silnice – 1 třída, orná půda – 2 třídy, les a zatravněná plocha – 1 třída. V případě nastavení 17 tříd bylo opět provedeno sjednocení do 4 zvolených tříd (zástavba – 1 třída, silnice – 1 třída, orná půda – 12 tříd, les a zatravněná plocha – 1 třída).

Pro data z družice Landsat 8 při využití algoritmu ISO Cluster bylo třeba brát ohled na volbu tříd. Vzhledem k nízkému prostorovému rozlišení družicového snímku nám algoritmus poskytuje horší výsledky, především při nastavení vyššího počtu tříd. Poměrně dobré výsledky algoritmus přináší při nastavení 5 tříd. Ty byly následně reklasifikovány do tří kategorií. Do kategorie zástavba (zastavěná plocha a komunikace), ostatní plochy a zatravněné plochy (lesní plochy a holá půda a orná půda), protože algoritmus neřízené klasifikace pro tento snímek není schopen klasifikovat zvláště zástavbu (domy, haly) a komunikaci (silnici).

Při využití algoritmu Maximum Likelihood Classification bylo nutné vytvořit trénovací plochy. Ty byly vytvořeny pro obě datové sady. V případě dat z družice Sentinel-2 bylo vytvořeno 25 tříd trénovacích ploch. Důvodem tak vysokého počtu je především to, že na snímku je orná půda znázorněna v několika různých skupinách (holá orná půda, nesklizená orná půda, aj.) Bylo zvoleno celkem 25 tříd: 1 - 3 zastavěná plocha, 4 - silnice, 5 - 22 zemědělská plocha, 23 - orná půda s prvky vegetace, 24 - lesní plocha a 25 - zatravněná plocha. Na základě trénovacích ploch daný algoritmus provedl klasifikaci do 25 zvolených tříd. Poté byly

sjednoceny různé třídy orné půdy do jedné. Sjednocení bylo provedeno také u kategorie zástavba a zatravněné plochy a lesy.

V případě datové sady z družice Landsat 8 algoritmus Maximum Likelihood vytvořil 12 kategorií, což odpovídá vytvořeným trénovacím plochám. Výsledky klasifikace byly opět sjednoceny do 4 kategorií. Vzhledem k nízkému prostorovému rozlišení snímku algoritmus vykazuje špatné výsledky.

Pro dosažení výsledků metody Class Probability byly jak u dat ze Sentinelu-2, tak z dat z Landsatu 8, bylo využito trénovacích ploch, které byly vytvořeny v předchozí metodě. Oba výstupy z klasifikací algoritmus vytvořil v RGB kompozici.

Lze říci, že klasifikace zvoleného zájmového území je velmi ovlivněna prostorovým rozlišením daných snímků. Vzhledem k tomu, že snímek pořízený družicí Landsat 8 má prostorové rozlišení nízké, výsledky klasifikací nejsou vyhovující. Klasifikace obrazu dat družice Sentinel-2 vykazuje mnohem lepší výsledky.

Pro porovnání správnosti klasifikace jednotlivých algoritmů náhodně vygenerováno 10 bodů, které byly vizuálně porovnávány s referenčními daty, kterými byly výsledky manuální klasifikace provedené v bakalářské práci. Dle přesnosti zařazení bodů lze říci, že algoritmus Maximum Likelihood Classification pro datovou sadu pořízené družicí Sentinel-2 vykazuje nejlepší výsledky.

Na základě nejpřesnější klasifikace vybraným algoritmem byly provedeny výpočty jednotlivých kategorií a následně porovnány.

Celková výměra zájmového území v roce 2017, které bylo automaticky digitalizováno, je zhruba 490 ha. Největší plošné zastoupení má orná půda, která zaujímá 80,82 % (395,42 hektarů) zájmové oblasti. Druhé nejvyšší plošné zastoupení má kategorie les a zatravněná plocha (sady, zahrady, lesy, ostatní zeleň), která se rozprostírá na 38,05 hektarech, což odpovídá 7,78 % výměry studované oblasti. Naopak nejmenší velikost zaujímá kategorie silnice (24,59 hektarů). Kategorie zástavba tvoří 6,38 % studované oblasti (31,20 hektarů).

Oproti tomu v roce 2014, kdy byla prováděna klasifikace manuálně, nejmenší plochu vykazovala kategorie zástavba, která se rozprostírala pouze na 7,19 hektarech. Kategorie orná půda měla největší plošné zastoupení o rozloze 378,99 hektarů, což odpovídá 77,82 %. Druhé nejvyšší plošné zastoupení měla kategorie les a zatravněná plocha, která se rozprostírá na 50,79 hektarech, což odpovídá 10,43 %. V roce 2014 měla kategorie silnice výměru 50,05 hektarů.

Při porovnání výše zmíněných časových horizontů lze říci, že kategorie orná půda zaujímá pro oba roky největší plochu, avšak pro rok 2017 její výměra vzrostla o 16,43 hektarů. Plošné zastoupení kategorie silnice se oproti roku 2014 zmenšila o 24,46 hektarů (5,73 %). Důvodem této změny je pravděpodobnost, že v roce 2014 byly do kategorie silnice započítány i plochy, které sloužili převážně jako přístupové dopravní trasy při výstavbě obchvatu a v roce 2017 již nebyly započítávány. Plošné zastoupení kategorie zástavba vzrostlo o 24,02 hektarů (4,93 %). To může být zapříčiněno novou zástavbou v obcích spadajících do zvoleného zájmového území. Tuto skutečnost je možné očekávat i do budoucna. Lze říci, že díky výstavbě nových domů došlo ke snížení výměry kategorie les a zatravněné plochy. Les a zatravněná plocha se zmenšila o 12,76 hektarů.

Manuální klasifikace byla prováděna nad leteckými snímky a automatická klasifikace byla prováděna nad družicovými. Při porovnání dat pro klasifikaci jsou letecké snímky (pro zjišťování změn v krajině) díky velkému prostorovému rozlišení vhodnější než snímky družicové. Manuální klasifikace poměrně časově náročná a zpracovatel provádí poměrně jednoduchou rutinní práci. Řízená klasifikace je díky algoritmům rychlá, naproti tomu příprava dat pro klasifikaci může být občas časově náročnější.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo zjistit změny v krajině, konkrétně v okolí nově vybudovaného silničního obchvatu města Chrudim, na základě družicových snímků při využití automatické klasifikace v návaznosti na bakalářskou práci „Detekce změn v krajině vybrané části Chrudimi na základě leteckých snímků“. Výsledky klasifikací a rozlohy ploch byly porovnány.

Podkladem této práce jsou stažené družicové snímky z družice Sentinel-2 a Landsat 8 ze dne 20. 6. 2017. V práci je nejprve objasněna obecná charakteristika a objasnění pojmů dálkového průzkumu Země, digitálního zpracování obrazu, družicových systémů a jejich rozdělení dle prostorového rozlišení. Dále je popsána Evropská kosmická agentura a její společné projekty s Evropskou komisí, charakteristiky vybraných klasifikací obrazu a automatická klasifikace s využitím vybraných metod pro detekci změn v krajině.

Veškerá práce se zpracováním družicových snímků, byla prováděna v prostřední programu ArcGIS Desktop 10.5.1., stejně tak jako klasifikace dat v rámci vybraných algoritmů a výpočet rozloh jednotlivých ploch.

Celkem bylo provedeno 7 klasifikací obrazu. Díky nízkému prostorovému rozlišení družicového snímku pořízeným družicí Landsat 8 výsledky klasifikací nebyly vyhovující. Oproti tomu výsledky klasifikace z datové sady družice Sentinel-2 vykazovaly výsledky velmi dobré. Nejlepší výsledky vykazoval algoritmus Maximum Likelihood Classification. Výsledky tohoto algoritmu byly použity při výpočtu výměry jednotlivých ploch, které byly klasifikovány a porovnány s referenčními daty.

Při porovnání výsledků z automatické (rok 2017) a manuální (rok 2014) klasifikace lze říci, že kategorie orná půda zaujímá pro oba roky největší plošné zastoupení. Výměra kategorie silnice se zmenšila. Naopak výměra kategorie zástavba vzrostla částečně na úkor kategorie les a zatravněná plocha.

Pokud porovnáme způsoby klasifikace, tak každý způsob má svá pozitiva a negativa. Manuální klasifikace je oproti řízené časově mnohem náročnější, avšak zpracovatel provádí poměrně jednoduchou rutinní práci. Řízená klasifikace je poměrně rychlá, protože klasifikaci provádí algoritmy, ale příprava dat pro klasifikaci může mít svá úskalí. Pro automatickou klasifikaci je velmi důležitá míra prostorového rozlišení pořízených družicových snímků.

Práce je určena nejen pro pracovníky magistrátu města Pardubice a pro studenty zabývající se sledováním změn v krajině nebo zpracováním družicových dat, ale také pro laickou veřejnost, která se zajímá o rozvoj města Chrudim a jeho okolí.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ArcGIS for Desktop: key features. Esri [online]. 2014 [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop/features>
- [2] ArcGIS Pro: Desktopový GIS. In: ARCDATA PRAHA [online]. Praha: ARCDATA PRAHA [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/arcgis/desktopovy-gis/arcgis-pro>
- [3] BLÁHOVEC, Jiří. Využití knihoven spektrálních křivek pro detekci změn v krajině vybrané lokality. Pardubice, 2017. Diplomová práce. Univerzita Pardubice (UPa). Vedoucí práce Mgr. Pavel Sedlák, Ph.D.
- [4] BUTT, A., SHABBIR, R., AHMAD, S. S., AZIZ, N. Land use change mapping and analysis using remote sensing and GIS: A case study of Simly watershed, Islamabad, Pakistan. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science [online]. 2015, vol. 18, iss. 2. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982315000332>.
- [5] Class Probability. Esri [online]. 2017: Esri, 2015 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/class-probability.html>
- [6] Co je ESA? EUROPEAN SPACE AGENCY [online]. 24. 7. 2012 [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: http://www.esa.int/cze/ESA_in_your_country/Czech_Republic/Co_je_ESA
- [7] Copernicus Open Access Hub. Copernicus Open Access Hub [online]. Paris: ESA, ©ESA2014-2018 [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
- [8] Copernicus. Český kosmický portál [online]. © 2015-2017 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <http://www.czechspaceportal.cz/4-sekce/pozorovani-zeme/copernicus/>.
- [9] CROSETTO, M., MONSERRAT, O., DEVANTHÉRY, N., CUEVAS-GONZÁLEZ, M., BARRA, A., AND CRIPPA, B.: Deformation measurement using sentinel-1a/b imagery, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-2/W7, 597-600, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W7-597-2017>
- [10] DOBROVOLNÝ, Petr. Dálkový průzkum Země: Digitální zpracování obrazu. Brno: MU Brno, 1998, 210 s. ISBN 80-210-1812-7.

- [11] DOSTÁLOVÁ, A., HOLLAUS, M., MILENKOVIČ, M., and WAGNER, W.: Forest area derivation from sentinel-1 data, ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., III-7, 227-233, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-III-7-227-2016>
- [12] Dpž2: vdgp_dpž2. Mendelova univerzita v Brně: Ústav hospodářské úpravy lesů a aplikované geoinformatiky [online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014 [cit. 2017-12-21]. Dostupné z: http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/vgdp/vdgp_dpž2.pdf
- [13] Družice Sentinel. Geo/Copernicus v České republice [online]. CENIA, 2016 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <http://copernicus.gov.cz/druzice-sentinel>
- [14] Družicové a letecké snímkování. Změny prostředí: Atlas změn životního prostředí České republiky [online]. 2009 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <http://zmenyprostredi.wz.cz/obr/AtlasPDF/5.pdf>
- [15] EarthExplorer. U.S. Geological Survey [online]. US: U.S. Geological Survey, ©2018 [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- [16] EGNOS: European Geostationary Navigation Overlay Service. Český kosmický portál [online]. Odbor ITS, kosmických aktivit: NETservis s.r.o, ©2018 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/gnss-systemy/egnos/>
- [17] EISMANN, Michael T. a Joseph MEOLA. Hyperspectral Change Detection: Methodology and Challenges. IGARSS 2008 - 2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium [online]. IEEE, 2008, II-605-II-608 [cit. 2018-02-18]. DOI: 10.1109/IGARSS.2008.4779065. ISBN 978-1-4244-2807-6. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4779065/>
- [18] ENVI: Geografické informační systémy (GIS). ARCDATA [online]. Praha: ARCDATA PRAHA, 2005 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/envi>
- [19] ERDAS IMAGINE: World-Class Remote Sensing Software. Hexagon Geospatial [online]. USA: Hexagon Geospatial, ©2018 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <https://www.hexagongeospatial.com/products/power-portfolio/erdas-imagine/erdas-imagine-remote-sensing-software-package>
- [20] ESA. EUROPEAN SPACE AGENCY [online]. 16. 1. 2015 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: http://www.esa.int/About_Us/Welcome_to_ESA/Funding.
- [21] Evropská kosmická agentura. Národní portál pro evropský výzkum [online]. 2016: Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy, ©MŠMT2012-2018 [cit. 2018-02-19].

Dostupné z: <https://www.evropskyvyzkum.cz/cs/nastroje-spoluprace/mezinarodni-organizace/esa>

- [22] Evropská Úmluva o krajině čl. 1
- [23] FORMAN, Richard T. Krajinná ekologie. 1. vyd. Praha: Academia, 1993. ISBN 80-200-0464-5.
- [24] GALIDAKI, G. Mediterranean forest species mapping using hyperspectral imagery: disertační práce. Trieste: University of Trieste, 2012. [online]. [cit. 2017-12-22]. Vedoucí práce Enrico Feoli. Dostupné <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10106049.2014.883439>
- [25] GALILEO – Evropský globální navigační družicový systém. Český kosmický portál [online]. © 2015 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <http://www.czechspaceportal.cz/3sekce/gnss-systemy/galileo/>
- [26] GALILEO. EUROPEAN SPACE AGENCY [online]. 27. 6. 2014 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_future_Galileo/What_is_Galileo.
- [27] Gisat/Družicová data: Dodávaná data: Nízké a střední rozlišení. Gisat [online]. Praha: Gisat spol. s r. o., 2015 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <http://gisat.cz/content/cz/druzicova-data/dodavana-data/nizke-a-stredni-rozlisi>
- [28] Gisat/Družicová data: Dodávaná data: Velmi vysoké rozlišení rozlišení. Gisat [online]. Praha: Gisat spol. s r. o., 2015 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <http://gisat.cz/content/cz/druzicova-data/dodavana-data/velmi-vysoke-rozlisi>
- [29] Gisat/Družicová data: Dodávaná data: Vysoké rozlišení. Gisat [online]. Praha: Gisat spol. s r. o., 2015 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <http://gisat.cz/content/cz/druzicova-data/dodavana-data/vysoke-rozlisi>
- [30] Gisat/Družicová data: Družicová data. Gisat [online]. Praha: Gisat spol. s r. o., 2015 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <http://gisat.cz/content/cz/druzicova-data>
- [31] Gisat/Přehled družicových systémů: Sentinel-2A. Gisat [online]. Praha: Gisat, 2015 [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/prehled-druzicovych-systemu/satelite/sentinel-2-a>
- [32] Gisat/Vyhodnocení dat: Služby. Gisat [online]. Praha: Gisat spol. s r. o., 2015 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <http://www.gisat.cz/content/cz/sluzby/zpracovani-dat/vyhodnoceni-dat>

- [33] Gisat/Základní pojmy: Družicová data. Gisat [online]. Praha: Gisat s.r.o, 2015 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <http://www.gisat.cz/content/cz/druzicova-data/objednani-dat/zakladni-pojmy>
- [34] GUDMUNDSDOTTIR, Brynja. Detection of potential arable land with remote sensing and GIS: A Case Study for Kjósarhreppur. Lund, 2014. Master degree thesis. Lund University, Sweden. Vedoucí práce Dr. Helena Eriksson.
- [35] Habrov: Přírodní rezervace Habrov. Topol s topoláci [online]. Topol: P. Snětina, 2008 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <http://topolaci.unas.cz/habrov.htm>
- [36] HALOUNOVÁ, Lena a Karel PAVELKA. Dálkový průzkum Země. 1. vyd. Praha:Vydavatelství ČVUT, 2005, 192 s. ISBN 80-01-03124-1.
- [37] How Maximum Likelihood Classification works. Esri [online]. 2017: Esri, 2015 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-maximum-likelihood-classification-works.htm>
- [38] HOZMAN, J. Základní metody předzpracování obrazu. [online] [cit. 2017-12-22] Dostupné na Internetu: http://webzam.fbmi.cvut.cz/hozman/Zprac_obr_prisp_kurz_UEM_3_2003.pdf
- [39] HROMÁDKO, Tomáš. Využití leteckých snímků pro analýzu vývoje krajiny v okolí obce Staré Jesenčany. Pardubice, 2009. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice (UPa).
- [40] Informace o Galileo navigace. Galileo navigace [online]. © 2010-2017 [cit. 2017-12-21]. Dostupné z: <http://www.galileonavigace.cz/>.
- [41] KALINOVÁ, Magdalena. Využití spektrálních indexů při monitoringu zeleně vybrané části Pardubického kraje. Pardubice, 2015. Diplomová práce. Univerzita Pardubice (UPa). Vedoucí práce Mgr. Pavel Sedlák, Ph.D.
- [42] KOLÁŘ, Jan. Dálkový průzkum země. 1. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-03-00517-5.
- [43] KUPKOVÁ, Lucie a Luboš KRÁL. Země očima satelitů: vzdělávací modul Geografie: výukový a metodický text. 1. Vyd. Praha: Nakladatelství P3K s. r. o., 2011, 51 s. ISBN 978-80-87186-55-8.
- [44] KUPKOVÁ, Lucie. Geografické rozhledy: Země z nadhledu (2. část): Metody snímání v DPZ, digitální snímek [online]. Praha: Česká geografická společnost, 2010 [cit. 2018-02-

- 18]. Dostupné z: <<http://geography.cz/geograficke-rozhledy/wp-content/uploads/2010/04/10-11.pdf>>.
- [45] Landsat 8 OLI (Operational Land Imager) and TIRS (Thermal Infrared Sensor). USGS [online]. Reston: USGS, 2015 [cit. 2017-06-14]. Dostupné z: <https://lta.cr.usgs.gov/L8>
- [46] Landsat 8 Overview. Landsat Science [online]. Washington: NASA, 2017 [cit. 2017-06-14]. Dostupné z: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-overview/>
- [47] Landsat 8: Přehled družicových systémů. In: Gisat [online]. Praha: Gisat, 2015 [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/prehled-druzicovych-systemu/satelite/landsat-8>
- [48] LENA HALOUNOVÁ, Karel Pavelka. Dálkový průzkum Země: revue littéraire mensuelle. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 978-800-1031-247.
- [49] Li Chen, Xiucheng Yang, Guangwei Zhen, Potential of Sentinel-2 data for alteration extraction in coal-bed methane reservoirs, *Ore Geology Reviews*, 2017, ISSN 0169-1368, <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.10.009>
- [50] Lillesand, T. M. - Kiefer, R.W.: *Remote Sensing and Image Interpretation*. - John Wiley and Sons, N.York, 2000.
- [51] Lokoč R., Lokočová, M. *Vývoj krajiny v české republice*. 1. vyd., Lipka - školské zařízení pro environmentální vzdělávání, Brno, 2010, 43 stran, ISBN: 9788090480735. Dostupná na World Wide Web: http://www.lowaspo.cz/_soubory/KR_kniha.pdf
- [52] MALÁ, Zuzana. *Studentská mapa Pardubic*. Pardubice, 2015. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice (UPa). Vedoucí práce Mgr. Pavel Sedlák Ph.D.
- [53] *Nové členské státy*. EUROPEAN SPACE AGENCY [online]. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: http://www.esa.int/About_Us/Welcome_to_ESA/New_Member_States.
- [54] *Obchvat města Chrudim: Popis stavby*. *Obchvat Chrudim* [online]. Chrudim: Město Chrudim, 2016 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://www.obchvatchrudim.cz/popis-stavby-obchvat-chrudim-medlesice/>
- [55] PEŠEK, Radek. *Identifikace vodních ploch v obrazových datech*. Pardubice, 2017. Diplomová práce. Univerzita Pardubice (UPa). Vedoucí práce Doc. Ing. Jitka Komárková, Ph.D.

- [56] PLECHÁČOVÁ, Šárka. Hyperspektrální analýza obrazu při detekci změn v krajině v okolí Pardubic. Pardubice, 2016. Diplomová práce. Univerzita Pardubice (UPa). Vedoucí práce Mgr. Pavel Sedlák, Ph.D.
- [57] POPELKA, Stanislav. Co je nového v ERDAS IMAGINE 2011. GEOBUSINESS [online]. 17. 1. 2011 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.geobusiness.cz/2011/01/co-je-noveho-v-erdas-Imagine-2011>
- [58] Pracovníci a lokality. EUROPEAN SPACE AGENCY[online]. 5. 12. 2008 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: http://www.esa.int/cze/ESA_in_your_country/Czech_Republic/Pracovnici_a_lokality
- [59] Program Copernicus - základní informace: Copernicus. Geo/Copernicus v České republice [online]. Praha: CENIA, 2016, 2016 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <http://copernicus.gov.cz/zakladni-informace>
- [60] Přístup k družicovým datům: Copernicus. Geo/Copernicus v České republice [online]. CENIA, 2016, 2016 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <http://copernicus.gov.cz/pristup-k-druzicovym-datam>
- [61] Radarová data. ARCDATA PRAHA [online]. Praha 1: ARCDATA PRAHA [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <http://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/druzicova-data/radarova-data>
- [62] ROZEHNAL, Vladimír. Města Pardubického kraje: Pardubice, Chrudim, Svitavy, Česká Třebová, Ústí nad Orlicí, Vysoké Mýto, Moravská Třebová, Hlinsko, Litomyšl, Lanškroun, Polička. 1. vyd. Pardubice: e-smile.cz, 2015, 123 s. ISBN 978-80-88050-00-1.
- [63] SEDLÁK, P. Geografické informační systémy II. (přednáška) Pardubice: UPCE
- [64] Sentinel 2 – Datové specifikace: Úrovně zpracování dat. In: CollGS: Data z družic Sentinel v ČR [online]. Praha: NETservis, ©2018 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://collgs.czechspaceportal.cz/sentinel-2-datove-specifikace/>
- [65] Sentinel Toolboxes. In: Sentinel Online [online]. Paris: ESA, ©ESA2000-2018 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/toolboxes>
- [66] SEYDI, S. T. a M. HASANLOU. Land cover change detection based on genetically feature selection and image algebra using hyperion hyperspectral imagery. Isprs - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences [online]. 2015, XL-1-W5, 669-673 [cit. 2018-02-18]. DOI:

- 10.5194/isprsarchives-XL-1-W5-669-2015. ISSN 2194-9034. Dostupné z: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-1-W5/669/2015/>
- [67] SVATOŇOVÁ, Hana a Lubomír LAUERMANN. Dálkový průzkum Země - aktuální zdroj geografických informací: poema. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2010, 96 s. ISBN 978-80-210-5162-1.
- [68] TRAGANOS D., REINARTZ P., Mapping Mediterranean seagrasses with Sentinel-2 imagery, *Marine Pollution Bulletin*, 2017, ISSN 0025-326X, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.075>.
- [69] TROJOVSKÁ, Eva. Využití automatické klasifikace obrazu pro analýzu vývoje krajiny v obci Staré Jesenčany. Pardubice, 2012. Diplomová práce. Univerzita Pardubice (UPa). Vedoucí práce Mgr. Pavel Sedlák Ph.D.
- [70] VLAČIHOVÁ, Martina. Detekce změn v krajině vybrané části Chrudimi na základě leteckých snímků. Univerzita Pardubice, 2016. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice (UPa). Vedoucí práce Mgr. Pavel Sedlák, Ph.D.
- [71] VYČÍTAL, Jarmil a ERDAS. Extenze ArcGIS od firmy ERDAS. In: *GEOBUSINESS* [online]. Praha: Springwinter, 2018, 27. 10. 2011 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <http://www.geobusiness.cz/extenze-arcgis-od-firmy-erdas/>
- [72] WESSELS, K. J., DE FRIES, R. S., DEMPEWOLF, J., ANDERSON, L. O., HANSE, A. J., POWELL, S. L., MORAN, E. F. Mapping regional land cover with MODIS data for biological conservation: Examples from the Greater Yellowstone Ecosystem, USA and Pará State, Brazil. *Remote Sensing of Environment* [online]. 2004, vol. 92, iss. 1. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425704001397>
- [73] YUAN, Yuan, Haobo LV a Xiaoqiang LU. Semi-supervised change detection method for multi-temporal hyperspectral images. *Neurocomputing* [online]. 2015, 148, 363-375 [cit. 2018-02-18]. DOI: 10.1016/j.neucom.2014.06.024. ISSN 09252312. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092523121400767X>
- [74] Základní informace - Chrudim. [Http://www.chrudim.eu/](http://www.chrudim.eu/) [online]. 2011 [cit. 2018-02-18] Dostupné z: <http://www.chrudim.eu/mesto/o-chrudimi/zakladni-informace.html>
- [75] Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny §3 odst1 písm. m).

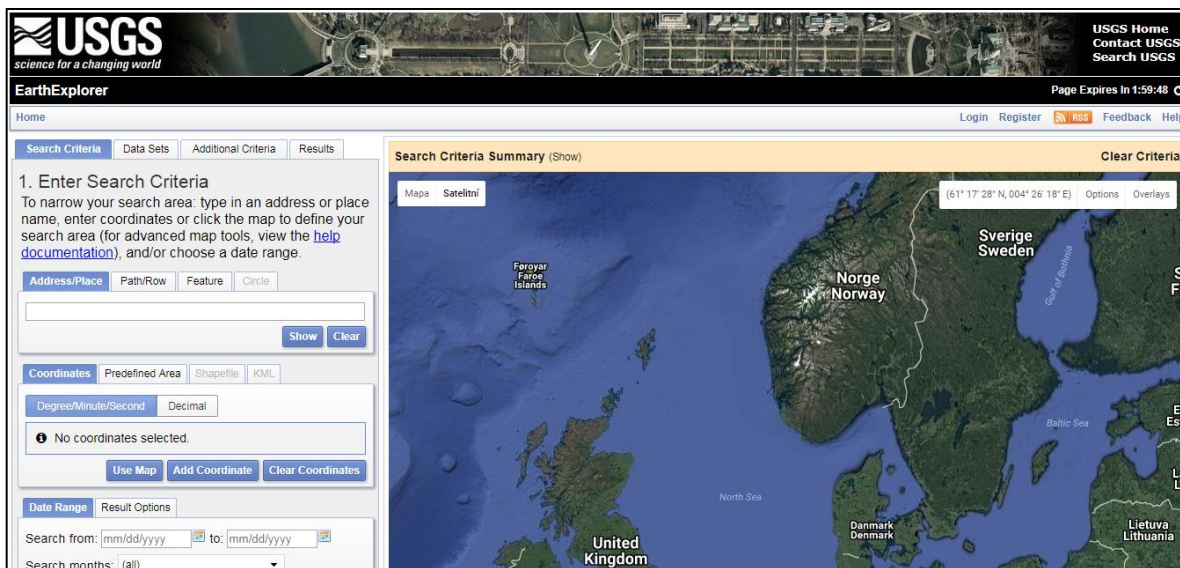
- [76] Získání dat z družice Landsat. In: Geo/Copernicus v České republice [online]. CENIA, 2016, 2016 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z:
http://copernicus.gov.cz/documents/19/29344/Dostupnost_dat_Landsat/4445ac5a-1495-423e-9f77-5b78f921da87

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 - Návod na stažení dat z družice Sentinel-2.....	83
Příloha 2 - Pořízený snímek z družice Sentinel-2	89
Příloha 3 - Pořízený snímek z družice Landsat 8	90
Příloha 4 - Vybrané zájmové území pro klasifikaci data družice Sentinel-2 v roce 2017	91
Příloha 5 - Vybrané zájmové území pro klasifikaci data družice Landsat 8 v roce 2017	92
Příloha 6 - Pásma z družice Sentinel-2.....	93
Příloha 7 - Pásma z družice Landsat 8	95
Příloha 8 - Mapový výstup ruční klasifikace z bakalářské práce	96
Příloha 9 - Rastrová podoba referenčních dat	97
Příloha 10 - Klasifikace území metodou ISO Cluster z dat Sentinel-2 při nastavení 5 tříd.....	98
Příloha 11 - Klasifikace území metodou ISO Cluster z dat Sentinel-2 při nastavení 17 tříd.....	99
Příloha 12 - Klasifikace území metodou ISO Cluster z dat Landsat 8 při nastavení 5 tříd.....	100
Příloha 13 - Klasifikace území metodou Maximum Likelihood z dat Sentinel-2.....	101
Příloha 14 - Klasifikace území metodou Maximum Likelihood z dat Landsat 8	102
Příloha 15 - Klasifikace území metodou Class Probability z dat Sentinel-2	102
Příloha 16 - Klasifikace území metodou Class Probability z dat Landsat 8	104

Příloha 1 - Návod na stažení dat z družice Sentinel-2

Zde je ukázka stručného průvodce stažením dat z družice Sentinel.



Obrázek 19 - Úvodní obrazovka EarthExplorer

Zdroj: [15]

V prvním kroku je potřeba do políčka „Address/Place“ (adresa/místo) napsat oblast, ze které se požaduje družicový snímek. Vzhledem k tomu, že prováděna klasifikace území v okolí města Chrudim, tak se do tohoto políčka napsalo právě město Chrudim.

Ve druhém kroku stačilo kliknout na tlačítko „Show“ (ukázat) a následně se zobrazilo vyhledávané místo. Jelikož město Chrudim je v ČR pouze jedno, tak se zobrazil pouze jeden výsledek.

Ve třetím kroku následovalo kliknutí na dané místo. Po výběru na požadované místo (město Chrudim) se automaticky vyplní souřadnice.

1. Enter Search Criteria
To narrow your search area: type in an address or place name, enter coordinates or click the map to define your search area (for advanced map tools, view the [help documentation](#)), and/or choose a date range.

Address/Place Path/Row Feature Circle

Chrudim

Show Clear

Click on an Address/Place to show the location on the map and add coordinates to the Area of Interest Control.

Num	Address/Place	Latitude	Longitude
3)	Chrudim, Česko	49.9497	15.7951

Coordinates Predefined Area Shapefile KML

Degree/Minute/Second Decimal

No coordinates selected.

Use Map Add Coordinate Clear Coordinates

Date Range Result Options

Search from: mm/dd/yyyy to: mm/dd/yyyy

Search months: (all)

Data Sets Additional Criteria Results

Obrázek 20 - Stažení dat: Krok 1 - 3

Zdroj: upraveno podle [15]

Po automatickém vyplnění souřadnic ve čtvrtém kroku již stačí kliknout na tlačítko „Data Sets“ (datové sady). Zde je ještě možnost vybrat časové rozpětí pořízená družicových snímků. Pro tuto práci byly vybrány nasnímané snímky z 20. 6. 2017, proto byla potřeba tyto údaje vyplnit dle požadovaného formátu (06/20/2017).

Obrázek 21 - Stažení dat: Krok 4

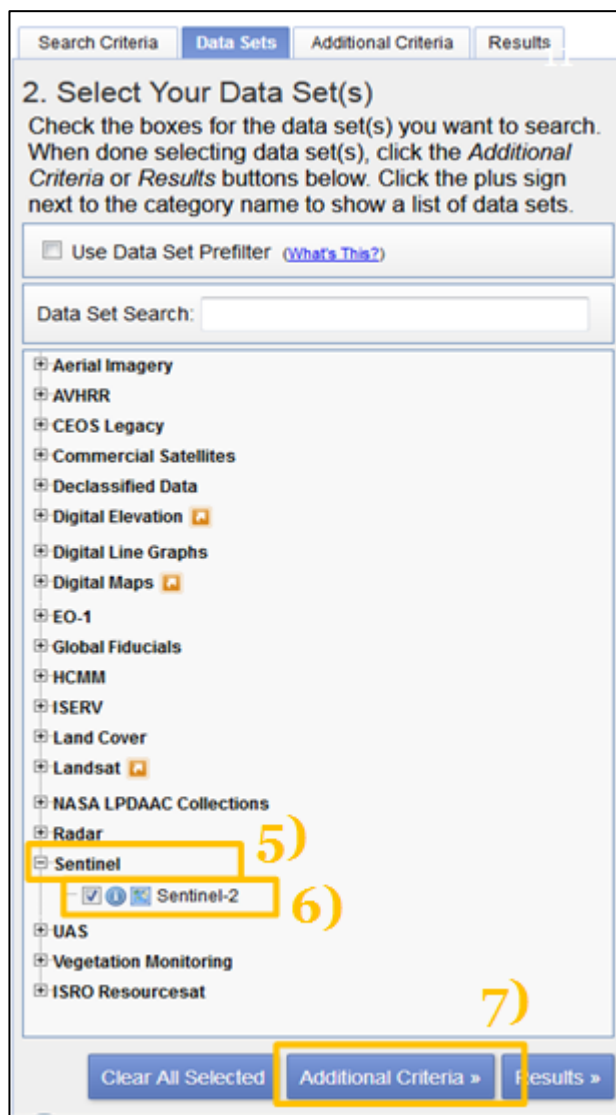
Zdroj: upraveno podle [15]

Po kliknutí na tlačítko „Data Sets“ (datové sady) se zobrazí karta Data Sets (datové sady).

V pátém kroku se vybere požadovaná datová sada. V práci byly využity data z družice Sentinel-2, proto se vybrala datová sada „Sentinel“.

Následuje šestý krok, kde se vybere datová sada „Sentinel-2“.

V sedmém kroku je zapotřebí kliknout na tlačítko „Additional Criteria“ (další kritéria), kde se definují další kritéria na družicové snímky. Popsané kroky je zobrazeny na obrázku 35.



Obrázek 22 - Stažení dat: Krok 5 - 7

Zdroj: upraveno podle [15]

Po kliknutí na tlačítko „Additional Criteria“ (další kritéria) se ukáže záložka „Additional Criteria“ (další kritéria), kde se nastavují kritéria pro zobrazení družicových snímků.

V osmém kroku se nastavují různá kritéria pro zobrazení družicových snímků. V této příkladové studii se požaduje oblačnost menší než 10 %.

Poté následuje devátý krok a to kliknutí na tlačítko „Results“ (výsledky).

Obrázek 23 - Stažení dat: Krok 8 - 9

Zdroj: upraveno podle [15]

V desátém kroku je potřeba vybrat datový soubor a to kliknutím na požadovaný soubor.

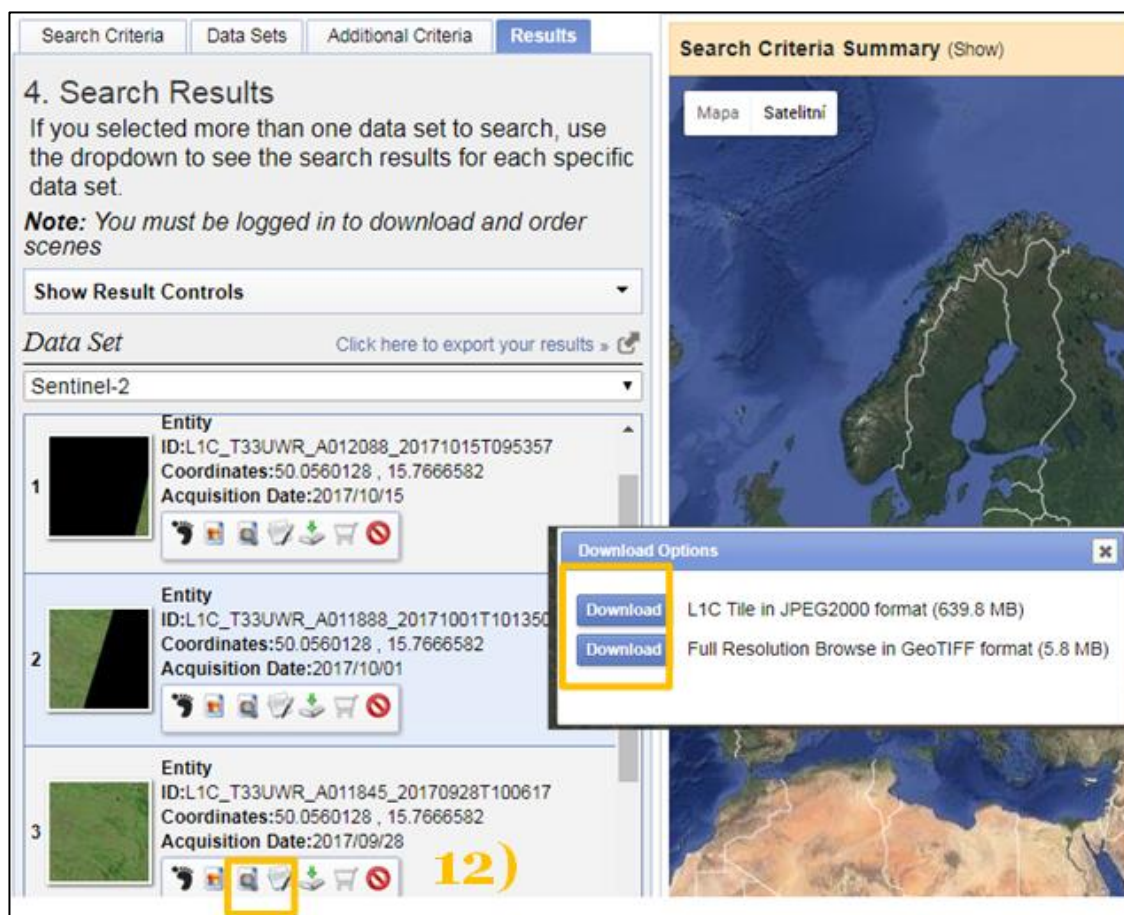
V jedenáctém kroku je zobrazena možnost ukázky záběru scény „Show footprint“ vybrané datové sady nasnímané družicí Sentinel.



Obrázek 24 - Stažení dat: Krok 10 - 11

Zdroj: upraveno podle [15]

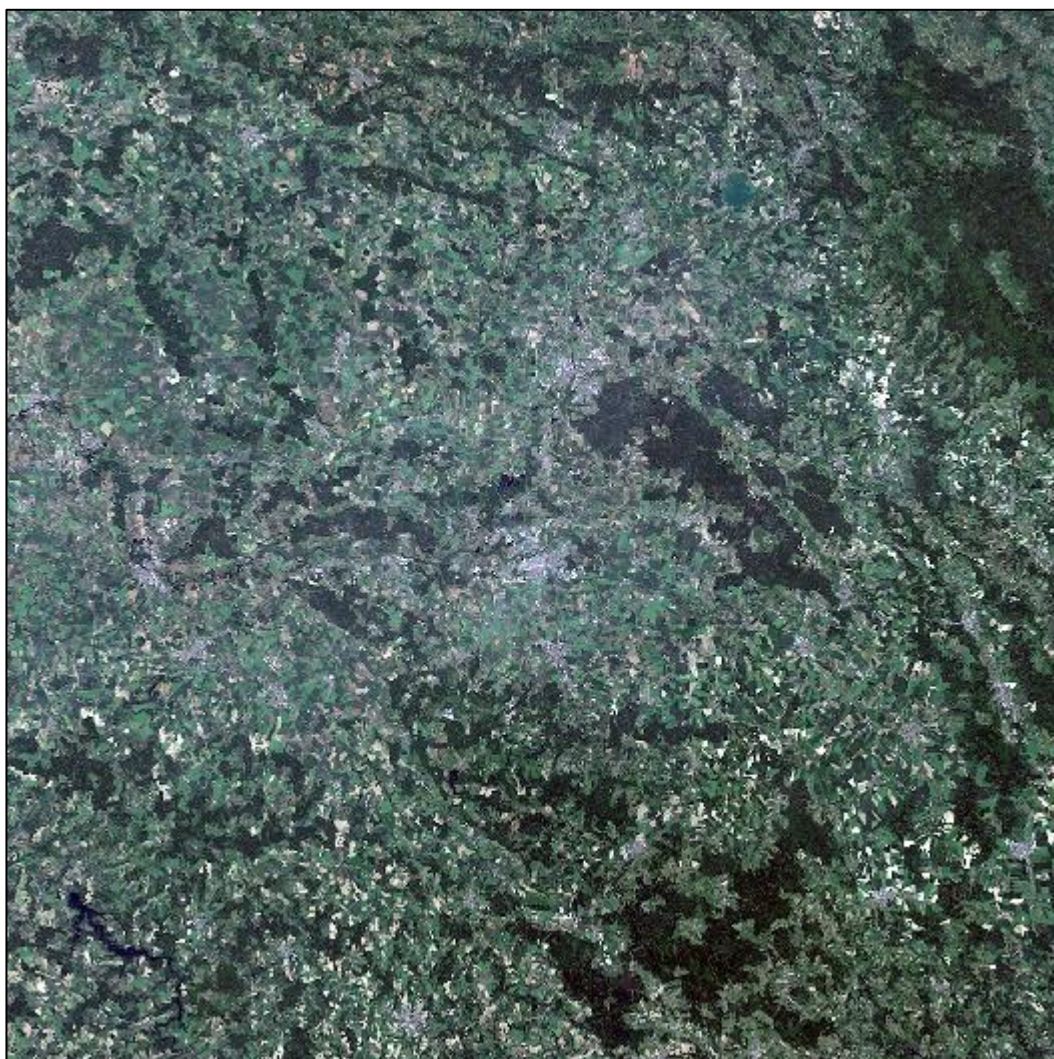
Posledním, dvanáctým krokem je stažení dat.



Obrázek 25 - Stažení dat: Krok 12

Zdroj: upraveno podle [15]

Příloha 2 - Pořízený snímek z družice Sentinel-2



Obrázek 26 - Pořízený snímek z družice Sentinel-2

Zdroj:[15]

Příloha 3 - Pořízený snímek z družice Landsat 8



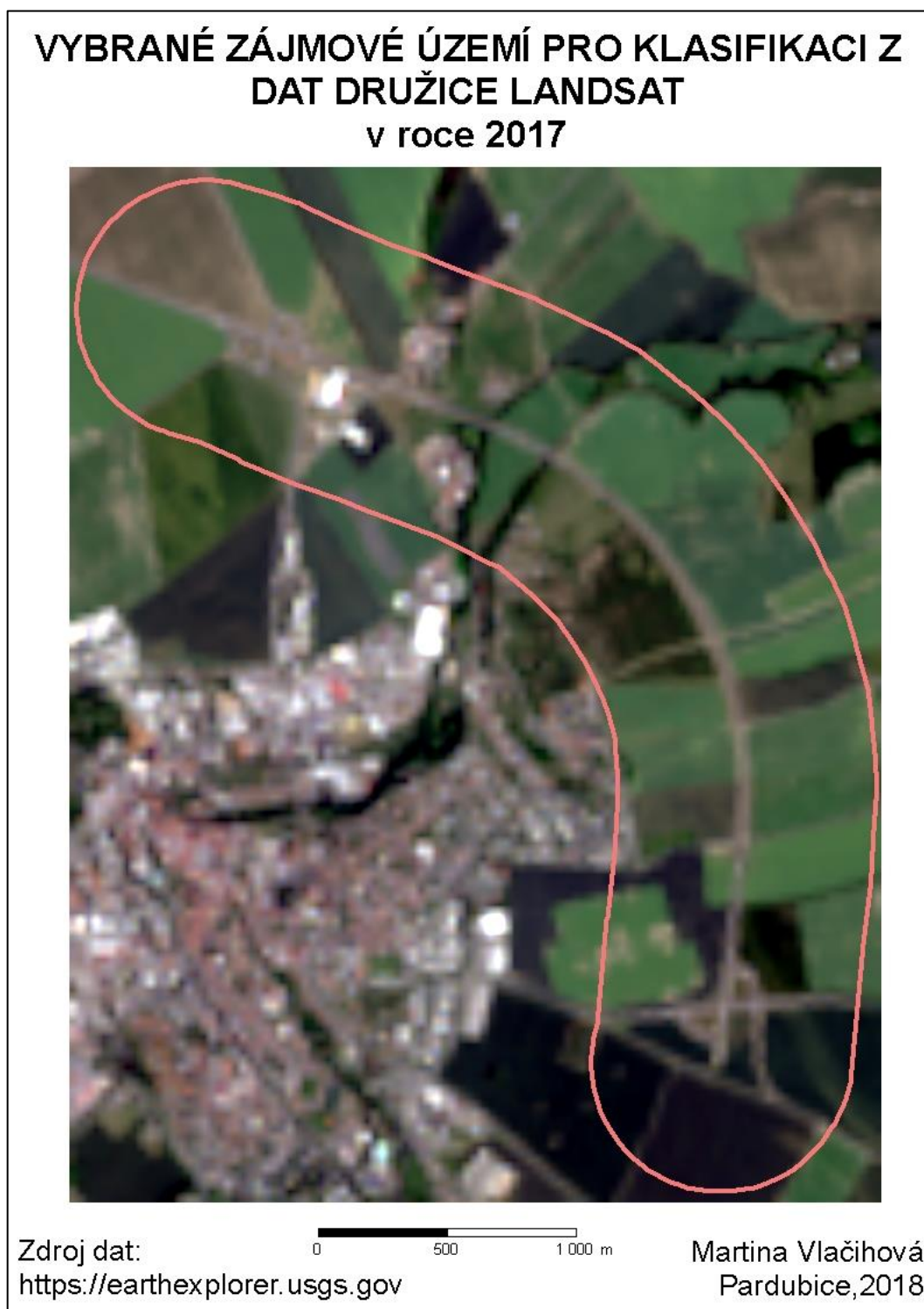
Obrázek 27 - Pořízený snímek z družice Landsat 8

Zdroj:[15]



Obrázek 28 - Vybrané zájmové území (Sentinel-2)

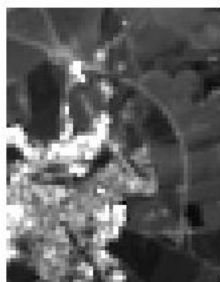
Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 29 - Vybrané zájmové území (Landsat 8)

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 6 - Pásma z družice Sentinel-2



Pásmo 1



Pásmo 2



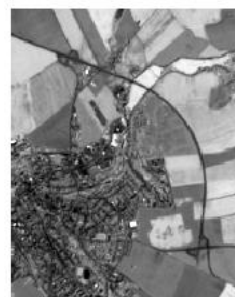
Pásmo 3



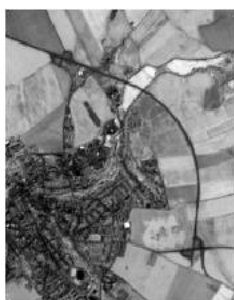
Pásmo 4



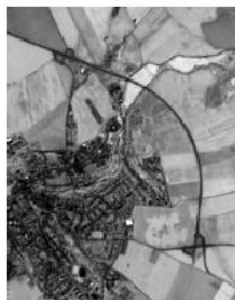
Pásmo 5



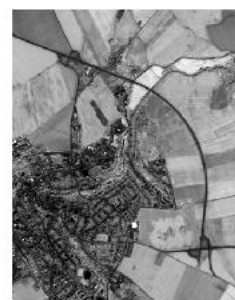
Pásmo 6



Pásmo 7



Pásmo 8A



Pásmo 8B



Pásmo 9



Pásmo 10



Pásmo 11

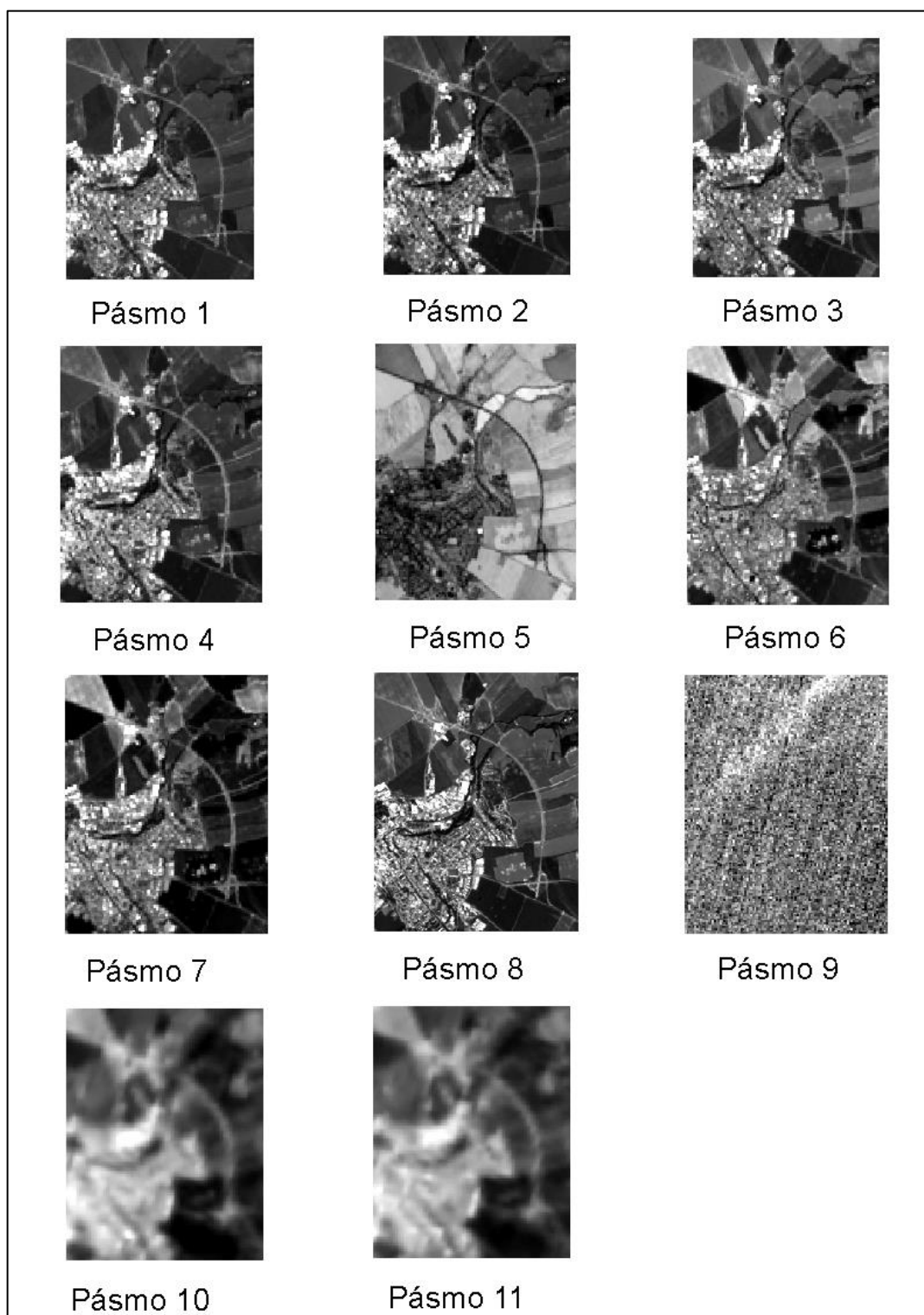


Pásmo 12

Obrázek 30 - Přehled pásem pořízených z družice Sentinel-2

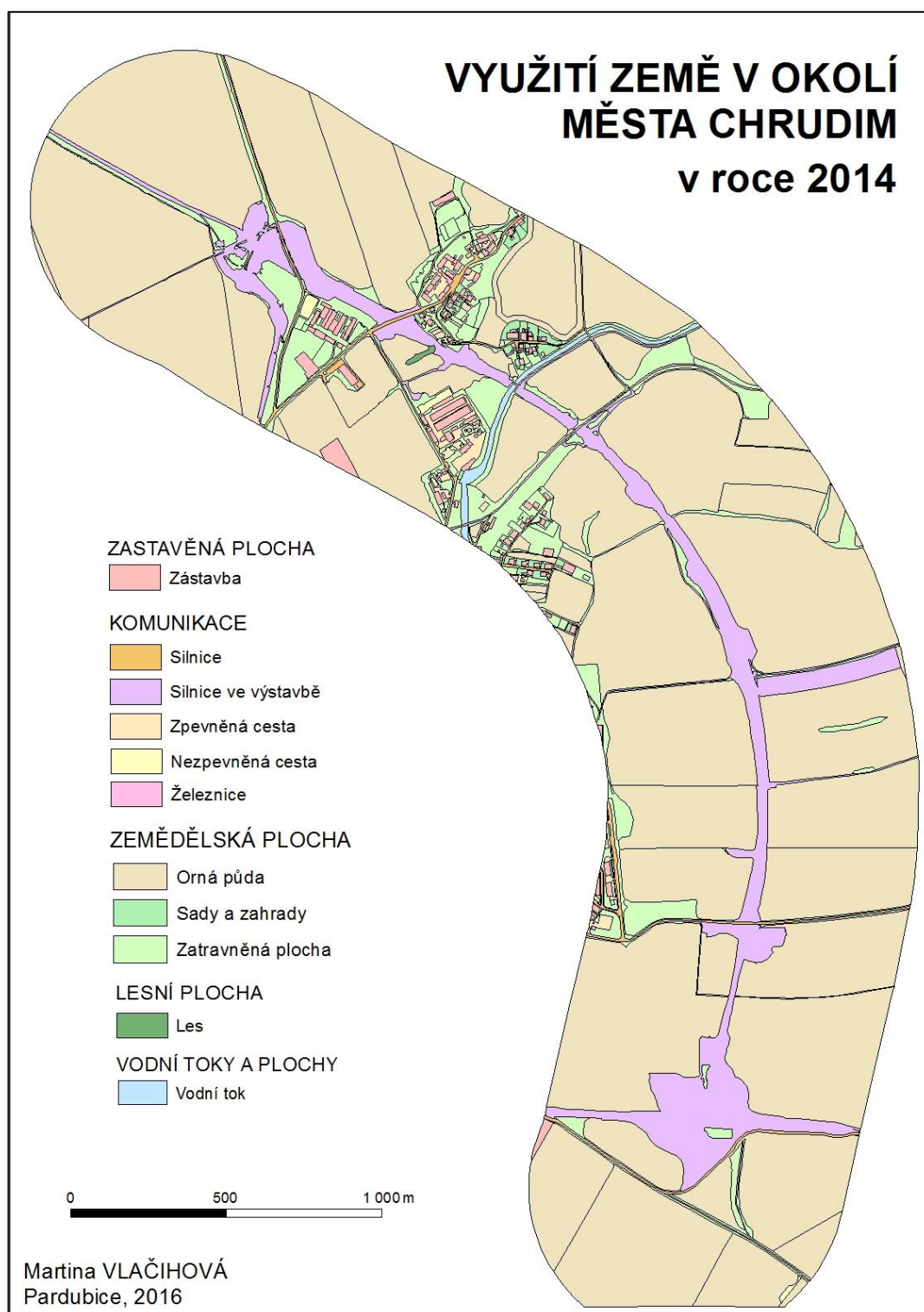
Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 7 - Pásma z družice Landsat 8



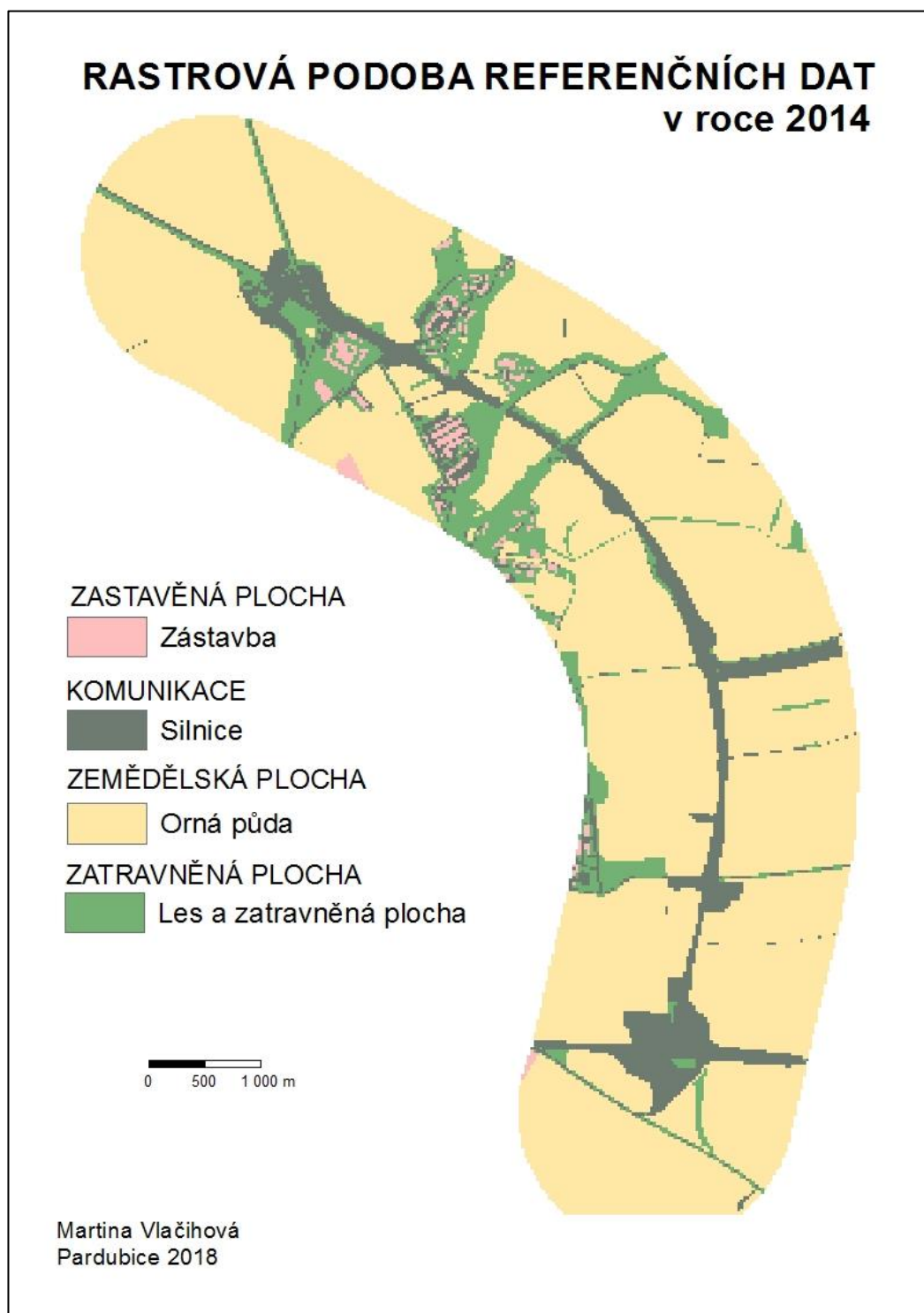
Obrázek 31 - Přehled pásem pořízených z družice Landsat 8

Zdroj: vlastní zpracování



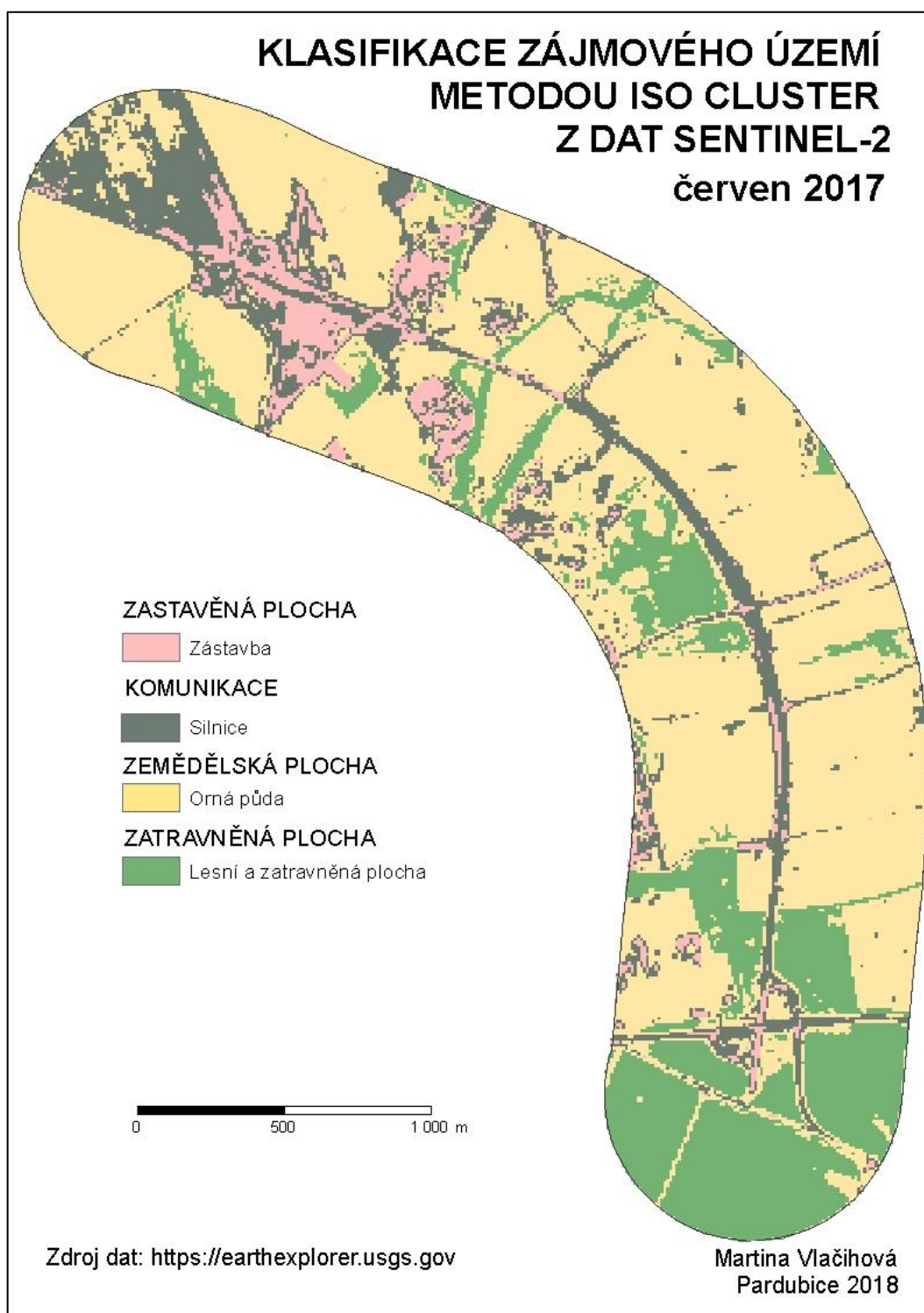
Obrázek 32 - Mapový výstup ruční klasifikace z bakalářské práce

Zdroj: [70]



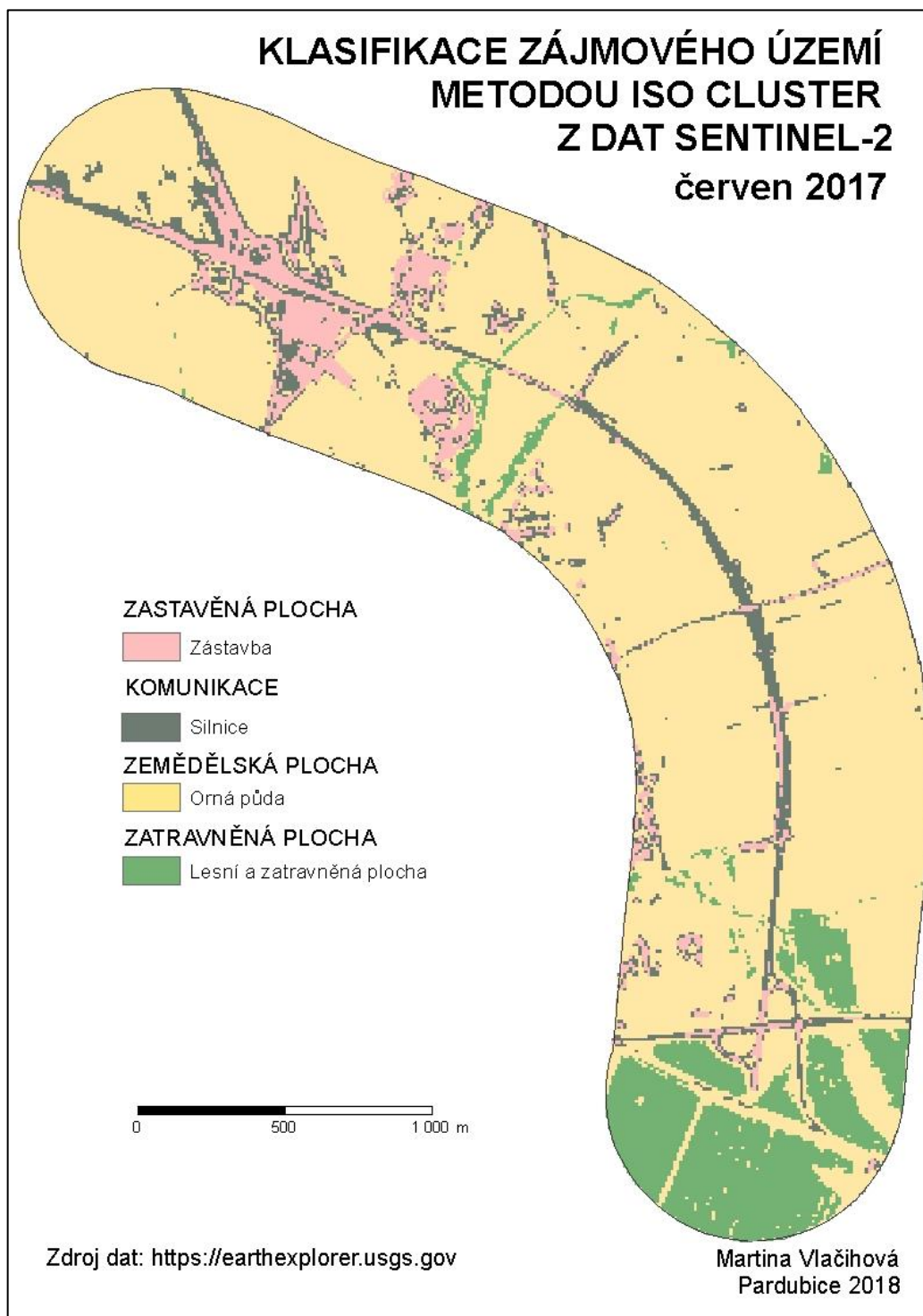
Obrázek 33 - Rastrová podoba referenčních dat

Zdroj: vlastní zpracování



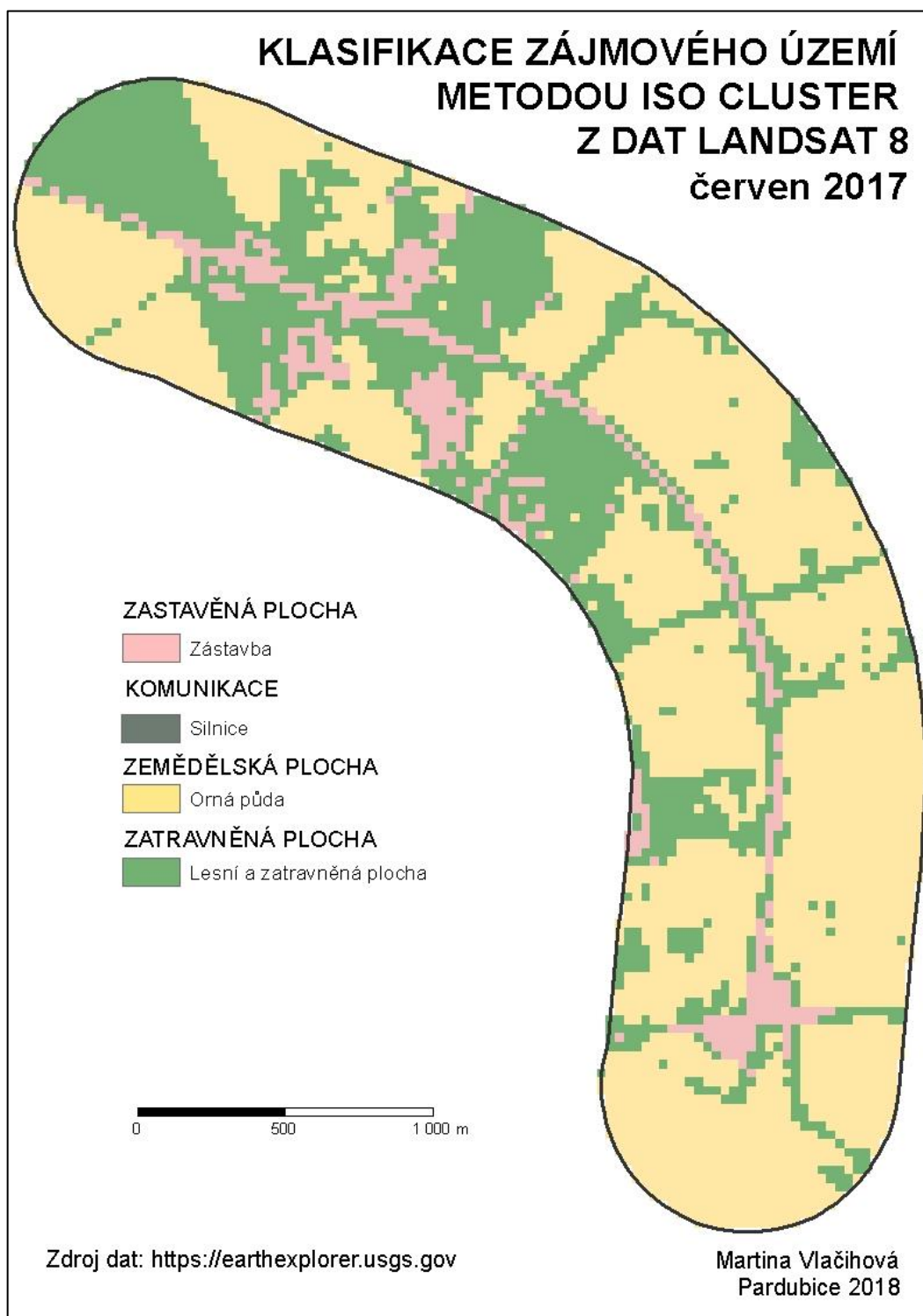
Obrázek 34 - Klasifikace území metodou ISO Cluster (5 tříd) z dat Sentinel-2

Zdroj: vlastní zpracování



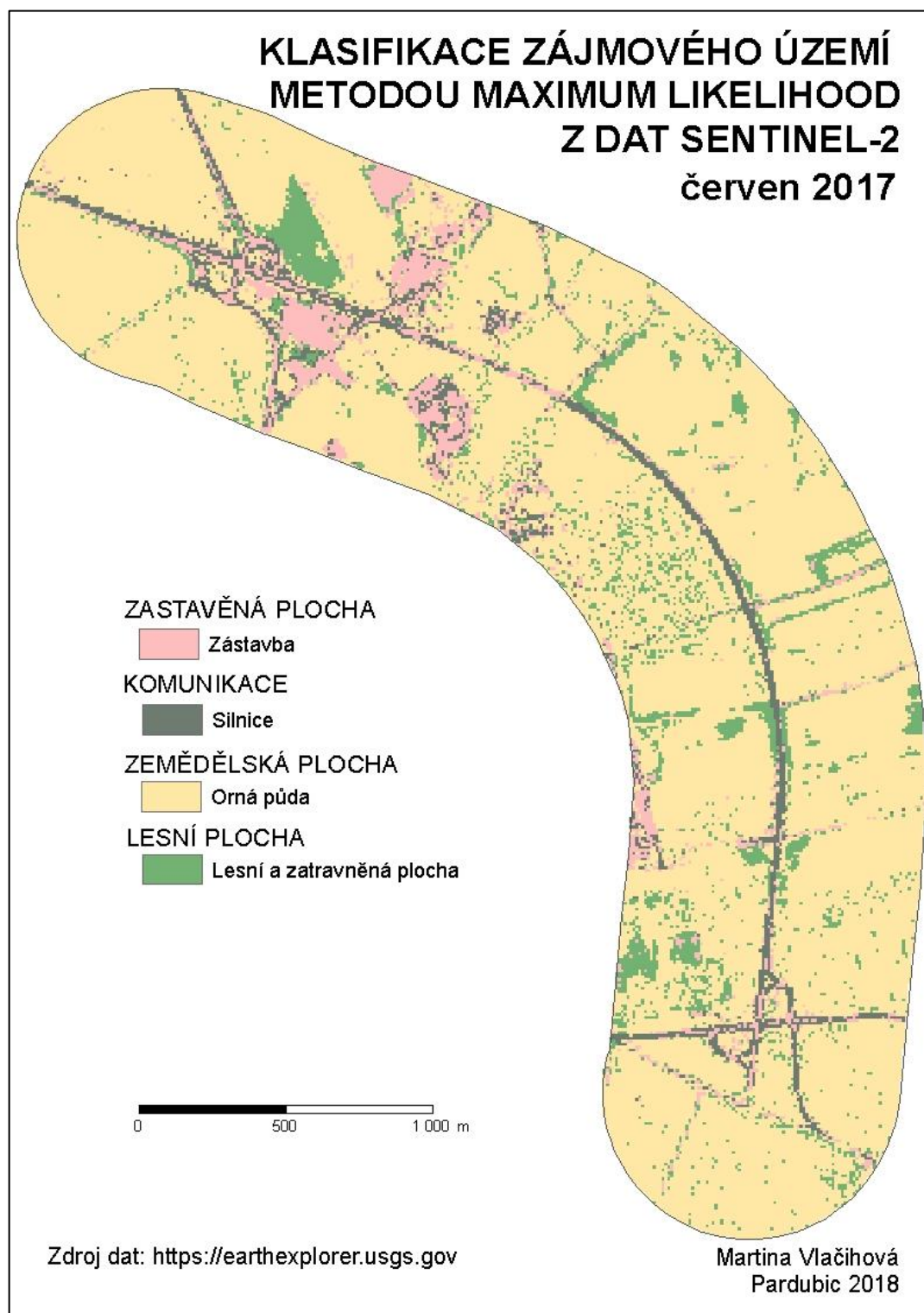
Obrázek 35 - Klasifikace území metodou ISO Cluster (17 tříd) z dat Sentinel-2

Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 36 - Klasifikace území metodou ISO Cluster (5 tříd) z dat Landsat 8

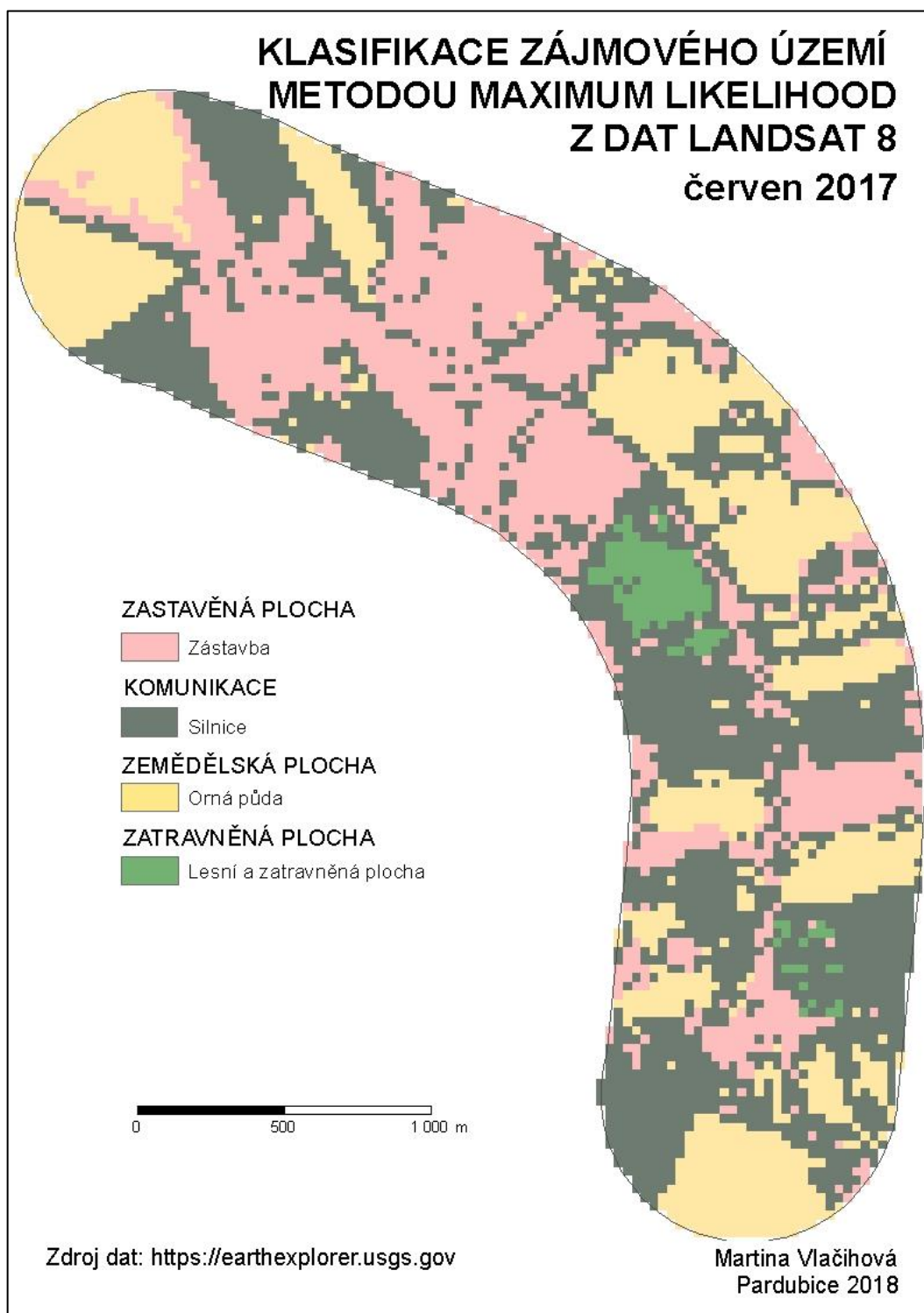
Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 37 - Klasifikace území metodou Maximum Likelihood z dat Sentinel-2

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 14 - Klasifikace území metodou Maximum Likelihood z dat Landsat 8

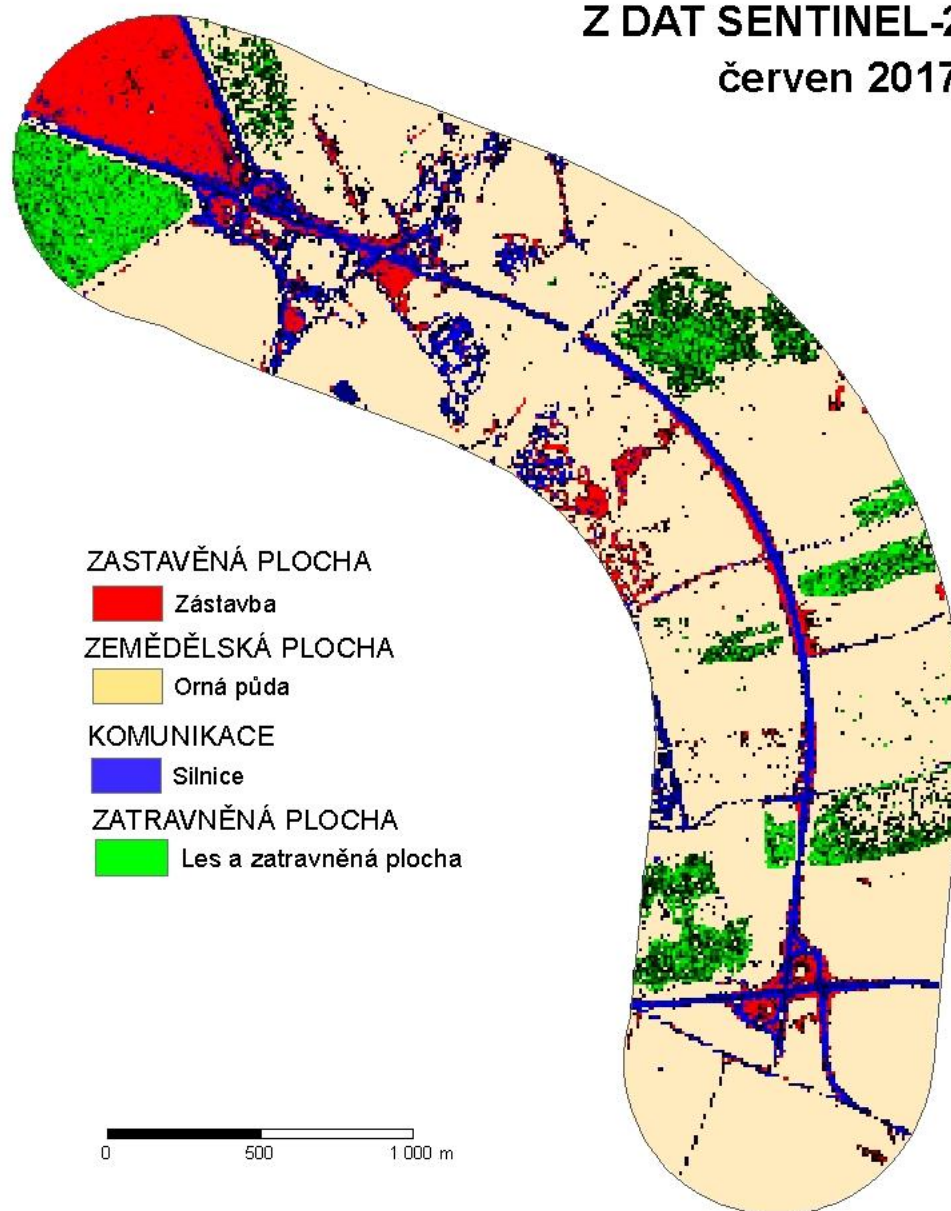


Obrázek 38 - Klasifikace území metodou Maximum Likelihood z dat Landsat 8

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 15 - Klasifikace území metodou Class Probability z dat Sentinel-2

KLASIFIKACE ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ METODOU CLASS PROBABILITY Z DAT SENTINEL-2 červen 2017

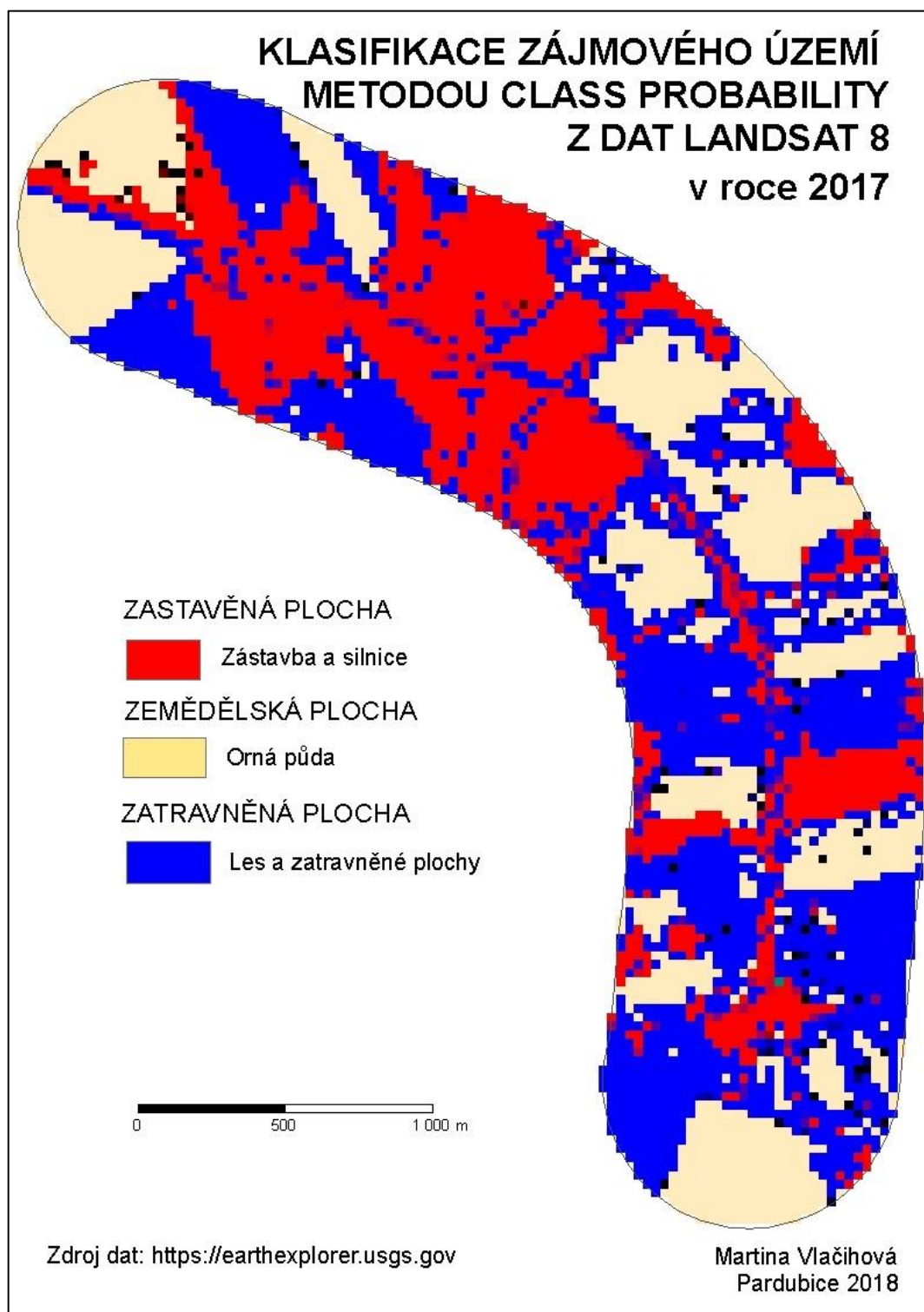


Zdroj dat: <https://earthexplorer.usgs.gov>

Martina Vlačihová
Pardubice 2018

Obrázek 39 - Klasifikace území metodou Class Probability z dat Sentinel-2

Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 40 - Klasifikace území metodou Class Probability z dat Landsat 8

Zdroj: vlastní zpracování

