

**Univerzita Pardubice**

**Fakulta ekonomicko-správní**

**Využití knihoven spektrálních křivek pro detekci změn v krajině  
vybrané lokality**

**Bc. Jiří Bláhovec**

**Diplomová práce  
2017**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří Bláhovec**  
Osobní číslo: **E15663**  
Studijní program: **N6209 Systémové inženýrství a informatika**  
Studijní obor: **Regionální a informační management**  
Název tématu: **Využití knihoven spektrálních křivek pro detekci změn v krajině vybrané lokality**  
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 knihoven spektrálních křivek při detekci změn v krajině vybrané lokality. Práce bude obsahovat charakteristiku vybraných spektrálních knihoven a příkladovou studii s využitím vybraných knihoven spektrálních křivek pro detekci změn v krajině vybrané lokality.

Osnova:

- Dálkový průzkum Země a zpracování obrazu
- Spektrální knihovny
- Změny v krajině
- Stávající stav řešené problematiky
- Případová studie
- Interpretace výsledků



Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **55 stran**

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

Seznam odborné literatury:

**DOBROVOLNÝ, Petr.** Dálkový průzkum Země: digitální zpracování obrazu. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 1998. ISBN 80-210-1812-7.

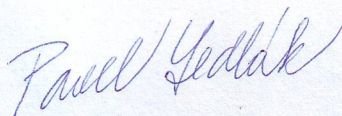
**CAMPBELL, James B. a Randolph H. WYNNE.** Introduction to remote sensing. 5th ed. New York: Guilford Press, c2011. ISBN 16-091-8176-X.

**LIANG, S.** Advances in Land Remote Sensing: Systém, Modeling, Inversion and Application. ISBN 978-1-402-06449-4.

**LILLESAND, Thomas M., Ralph W. KIEFER a Jonathan W. CHIPMAN.** Remote sensing and image interpretation. 6th ed. New York: John Wiley, c2008. ISBN 978-0-470-05245-7.

**TUČEK, Ján.** Geografické informační systémy: principy a praxe. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 1998. CAD & GIS. ISBN 80-7226-091-X.

**VOŽENÍLEK, Vít.** Geografické informační systémy. 1. vyd. Olomouc: Vydavatelství Univerzity Palackého, 1998. ISBN 80-7067-802-X.



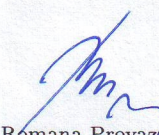
Vedoucí diplomové práce:

**Mgr. Pavel Sedlák, Ph.D.**

Ústav systémového inženýrství a informatiky

Datum zadání diplomové práce: **4. září 2016**

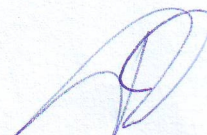
Termín odevzdání diplomové práce: **28. dubna 2017**



doc. Ing. Romana Provozňiková, Ph.D.

děkanka

L.S.



doc. Ing. Pavel Petr, Ph.D.

vedoucí ústavu

V Pardubicích dne 4. září 2016



## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji:

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

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

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

V Pardubicích dne

Jiří Bláhovec



## **PODĚKOVÁNÍ:**

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce Mgr. Pavlu Sedlákovi, Ph.D. za jeho odbornou pomoc, cenné rady a poskytnuté materiály, které mi pomohly při zpracování diplomové práce.



## **ANOTACE**

*Práce se zabývá využitím knihoven spektrálních křivek pro detekci změn v krajině vybrané lokality. V práci byly použity různé metody řízené i neřízené klasifikace obrazu s využitím hyperspektrálních snímků. Součástí práce je také vytvoření vlastní spektrální knihovny a porovnávání spektrálních křivek ve vytvořené knihovně s křivkami původního snímku.*

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

*Spektrální knihovny, Dálkový průzkum země, Krajina, Detekce změn, Hyperspektrální analýza*

## **TITLE**

Use of libraries of spectral curves to detect changes in the landscape of the selected site

## **ANNOTATION**

*The thesis deals with the use of spectral curve libraries for detecting changes in the landscape of the selected site. Various methods of controlled and uncontrolled image classification using hyperspectral images were used in the work. Part of the thesis is also the creation of its own spectral library and the comparison of spectral curves in the created library with the curves of the original image.*

## **KEYWORDS**

*Spectral library, Hyperspectral analysis, Remote sensing, Change detection, Landscape*



# OBSAH

ÚVOD .....	10
<b>1 DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ.....</b>	<b>12</b>
1.1 HISTORIE DPZ .....	13
1.2 METODY DPZ.....	14
1.3 ELEKTROMAGNETICKÉ SPEKTRUM.....	15
<b>2 DIGITÁLNÍ ZPRACOVÁNÍ OBRAZU.....</b>	<b>18</b>
2.1 PŘEDZPRACOVÁNÍ OBRAZU.....	18
2.1.1 Geometrické korekce .....	18
2.1.2 Radiometrické korekce .....	19
2.1.3 Atmosférické korekce.....	19
2.2 ZVÝRAZNĚNÍ OBRAZU.....	20
2.3 KLASIFIKACE .....	21
2.4 POSTKLASIFIKAČNÍ ÚPRAVY .....	22
<b>3 SPEKTRÁLNÍ CHOVÁNÍ OBJEKTŮ A HYPERSPEKTRÁLNÍ SNÍMKY .....</b>	<b>23</b>
3.1 HYPERSPEKTRÁLNÍ DATA .....	25
3.2 HYPERSPEKTRÁLNÍ KNIHOVNY .....	26
<b>4 SLEDOVÁNÍ ZMĚN V KRAJINĚ .....</b>	<b>28</b>
4.1 STRUKTURA KRAJINY.....	28
4.2 ZÁKLADNÍ TYPY KRAJINY .....	29
4.2.1 Přírodní krajina.....	29
4.2.2 Přírodně blízká krajina.....	30
4.2.3 Produkční kulturní krajina .....	30
4.2.4 Kulturní krajina regulovaná.....	30
4.2.5 Kulturní krajina technická.....	30
4.3 DETEKCE ZMĚN V KRAJINĚ POMOCÍ DPZ.....	31
<b>5 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....</b>	<b>33</b>
<b>6 PŘÍKLADOVÁ STUDIE .....</b>	<b>37</b>
6.1 POSTUP ZPRACOVÁNÍ.....	37
6.2 ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ .....	37
6.3 POPIS DAT .....	39
6.4 ZPRACOVÁNÍ DAT .....	42
6.4.1 Předzpracování dat.....	42
6.4.2 Klasifikace .....	44
6.4.3 Detekce změn.....	50
6.4.4 Využití hyperspektrální analýzy snímků.....	51
<b>7 DISKUZE A INTERPRETACE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>59</b>
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>61</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>63</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>68</b>



## SEZNAM ILUSTRACÍ

Obrázek 1: Princip DPZ .....	13
Obrázek 2: Elektromagnetické spektrum .....	16
Obrázek 3: Propojení stupně šedi záznamu a hodnot pixelů .....	18
Obrázek 4: Princip hyperspektrálního snímání .....	23
Obrázek 5: Hyperspektrální datová kostka .....	24
Obrázek 6: Rozdíl mezi hyperspektrálními a multispektrálními daty .....	25
Obrázek 7: Příklad záznamu ze spektrální knihovny pro vybraný minerál .....	26
Obrázek 8: Postup zpracování .....	37
Obrázek 9: Zájmové území pro případovou studii v rámci kraje Vysočina .....	38
Obrázek 10: Umístění zájmového území .....	39
Obrázek 11: Postup získání vstupních dat .....	40
Obrázek 12: Umístění družicového snímku .....	42
Obrázek 13: Výřez zájmového území .....	43
Obrázek 14: Atmosférické korekce pomocí FLAASH v softwaru ENVI .....	44
Obrázek 15: Výsledky neřízené klasifikace nástrojem K-means .....	45
Obrázek 16: Možnosti nastavení vstupních parametrů u nástroje ISODATA .....	46
Obrázek 17: Výsledky neřízené klasifikace nástrojem ISODATA .....	46
Obrázek 18: Zájmové území v přirozených barvách (vlevo) a v nepřirozených barvách (vpravo) .....	47
Obrázek 19: Trénovací plochy jednotlivých tříd pro snímek z roku 2010 .....	47
Obrázek 20: Příklad snímku pravidel řízené klasifikace pomocí nástroje Spectral Angle Mapper .....	48
Obrázek 21: Porovnání výsledků řízené klasifikace .....	49
Obrázek 22: Klasifikační chybové matice pro jednotlivé snímky .....	50
Obrázek 23: Nástroj pro detekci změn v ENVI 5.1 .....	51
Obrázek 24: Zleva příklad spektrální křivky jednoho pixelu na snímku a výsledná kombinace křivek ve spektrální knihovně .....	52
Obrázek 25: Rozdíl mezi vytvořenými spektrálními knihovnami .....	53
Obrázek 26: Příklad výstupních snímků z nástroje Spectral Feature Fitting .....	54
Obrázek 27: Výsledný snímek po klasifikaci nástrojem SAM .....	55
Obrázek 28: Výsledná snímek po klasifikaci nástrojem Parallelepiped .....	56
Obrázek 29: Klasifikační chybové matice pro SAM .....	56
Obrázek 30: Detekce změn pro snímky využívající hyperspektrální knihovny .....	57
Obrázek 31: Výstupní snímek z nástroje THOR Change Detection .....	58

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Rozloha jednotlivých tříd v letech 2010 a 2013 .....	60
Graf 2: Změny v krajinné struktuře oproti snímku z roku 2010 .....	60

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Krajinná struktura pro zájmové území Humpolecko v letech 2010 a 2013 v [km <sup>2</sup> ] .....	59
---	----

## **SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK**

ČR	Česká Republika
DN	Digital Number
DPZ	Dálkový průzkum Země
EO-1	Earth Observing 1
FLAASH	Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes
GIS	Geografické informační systémy
ISODATA	Iterative Self-Organizing Data Analysis Techniques
LAC	Linear Etalon Imaging Spectrometer Array (LEISA) Atmospheric Corrector
MRSL	Metadata Rich Spectral Library
Např.	například
NASA	National Aeronautics and Space Administration
ORP	Obec s Rozšířenou Působností
RMS	Root Mean Square
ROI	Region Of Interest
SAM	Spectral Angle Mapper
THOR	Tactical Hyperspectral Operations Source
USGS	United States Geological Survey
WMS	Web Mapping Service

## ÚVOD

Dálkový průzkum Země patří mezi moderní metody geoinformačních technologií. Pomocí leteckých a družicových snímků umožňuje studovat objekty a jevy na zemském povrchu bez nutnosti vydat se do terénu a mapovat zkoumané území. V současné době jsou při mapování a vyhodnocování změn krajiny nedílnou součástí družicové snímky. Se stále se rozvíjejícími technologiemi je kladen větší důraz na získávání kvalitnějších informací. Důsledkem toho je rozvoj hyperspektrálního snímkování. Klasické metody dálkového průzkumu Země, které jsou známy a používají se pro zkoumání jevů v krajině, jsou mnohdy nedostačující, protože poskytují pouze omezené informace o zkoumaných objektech či jevech na zemském povrchu v předem definovaných úzkých pásích vlnových délek (multispektrální režim) a z těchto omezených informací je možné detekovat pouze základní druhy povrchů, jako les, vodní plochy a holé půdy atd. Krajina jako taková byla vždy oblastí zájmu člověka a nyní, více než kdy dříve, nabývá na významu i sledování změn, které v krajině probíhají, ať se změny týkají například zdravotního stavu vegetace nebo rozrůstání urbanistických sídel. Aby bylo možné pomocí metod dálkového průzkumu Země sledovat a popsat například i hustě urbanizované oblasti, bylo nutné vytvořit nové přístupy a metody, které by poskytly podrobné informace o zkoumaném území nebo jevu. Jako jedna z vhodných metod se ukázala hyperspektrální analýza.

Hyperspektrální analýza má uplatnění napříč mnoha obory. Například se jedná o studium vlastností a složení půd (eroze, hledání ložisek nerostných surovin, obsah minerálů v půdě), sledování zdravotního stavu vegetace (obsah chlorofylu vody, dusíku). Využití nalezne také u sledování kvality vod (kontrola chemického znečištění). Uplatnění je tedy velmi rozsáhlé a to díky množství informací, které hyperspektrální snímky obsahují. U hyperspektrálních dat je díky snímání v širokém spektrálním rozmezí uchován kontinuální záznam odrazových vlastností povrchů. Následně díky hyperspektrální analýze je možná získání výstupů z hyperspektrálních dat využít při rozpoznávání jednotlivých druhů povrchů. Druhy povrchů jsou rozpoznávány pomocí unikátních odrazových charakteristik v různých vrstvách hyperspektrální kostky. Soubory těchto charakteristik se nazývají knihovny spektrálních charakteristik. Tato práce se zaměřuje na problematiku knihoven spektrálních křivek především pro detekci změn v krajině. Právě díky těmto knihovnám spektrálních křivek je možné velice detailně zmapovat družicové snímky pořízené v hyperspektrálním režimu a získat tak výstupy, které mají velkou vypovídající hodnotu.

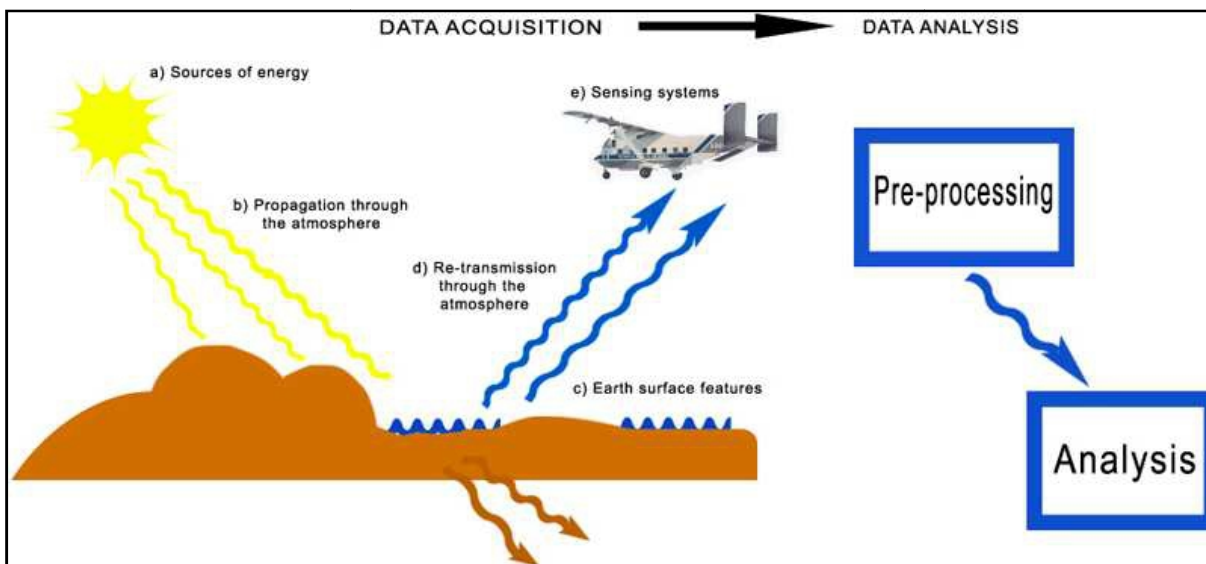


Cílem této práce je využití knihoven spektrálních křivek a hyperspektrálních dat pro detekci změn v krajině. Součástí práce je také aplikace získaných znalostí a vytvoření příkladové studie s aplikací vybraných spektrálních knihoven pro detekci změn v krajině vybrané lokality.

# 1 DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ

Zemský povrch je transformován stále více a stále rychlejším způsobem. Největší podíl na tom má člověk, který rozvojem technologií zapříčiňuje některé ekologické problémy, jako je například emise skleníkových plynů, oteplování, nedostatek vody a zemědělské půdy. Tyto mnohdy nevratné změny mohou mít mnohem větší dopad nejen pro životní prostředí, ale v důsledku i na celou lidskou společnost, a proto je nezbytné mít rychle k dispozici přesné údaje o zemském povrchu. Dálkový průzkum země (DPZ) se stává klíčovou oblastí nejen pro řešení těchto problémů. Pro dálkový průzkum země existuje mnoho různých definic. Například Lillesand a Kiefer [29] uvádějí definici DPZ takto: „Dálkový průzkum země je věda i umění získávat užitečné informace o objektech, plochách či jevech prostřednictvím dat měřených na zařízení, která s těmito zkoumanými objekty, plochami či jevy nejsou v přímém kontaktu.“ James B. Campbell [4] uvádí definici DPZ tímto způsobem: „Dálkový průzkum je způsob získávání informací o zemském povrchu i vodních plochách s využitím snímků pořízených z ptáčí perspektivy, využívá elektromagnetického záření v jednom nebo více intervalech spektra, toto záření je odráženo nebo emitováno ze Země.“ Petr Dobrovolný [10] definuje dálkový průzkum země jako: „Dálkový průzkum znamená získávání informací o objektech a jevech na dálku – bez přímého kontaktu s těmito jevy či objekty, při kterém se využívá dvou základních poznatků.“ První z nich je, že člověk získává informace kvalitativní i kvantitativní o jevech a věcech, které ho obklopují, a druhý z nich říká, že tyto objekty a jevy určitým způsobem ovlivňují své okolí.

I přes to že všechny tyto definice jsou různé, tak mají společné jádro. Dalo by se obecně shrnout, že dálkový průzkum Země je jednou z nejmodernějších geoinformačních technologií umožňujících sbírat data, která popisují nebo se jinak váží k zemskému povrchu, analyzovat je a dále využívat, bez nutnosti přímého kontaktu se zkoumaným objektem či jevem. V posledních letech je DPZ neustále rozvíjen a rozšiřován a díky moderním technologiím je možné pořizování stále lepších a kvalitnějších družicových snímků s velkým rozlišením v různých spektrech. DPZ nachází své uplatnění v různých odvětvích, počínaje geologií, geomorfologií, přes hydrologii, meteorologii až po astronomii. Výsledky získané pomocí metod DPZ mohou být využívány dále například při zjišťování stavu životního prostředí. [10], [49]



Obrázek 1: Princip DPZ

Zdroj:[40]

## 1.1 Historie DPZ

Za počátek vývoje DPZ lze považovat pořízení prvních fotografií z roku 1858. Následně DPZ stále nabýval na významnosti. Systematické letecké fotografování se vyvinulo především pro vojenské účely na začátku 1. světové války. Svého vrcholu dosáhlo letecké snímkování v období studené války (1947 – 1991). Ve 2. polovině 20. století byly analogické fotografie nahrazeny digitálními obrazovými záznamy a především došlo k vývoji satelitů, které byly vypuštěny na oběžnou dráhu Země. Tím bylo umožněno dálkové snímání povrchu Země v globálním měřítku. Tyto umělé družice Země již poskytly mnoho cenných údajů jak pro civilní, vědecké, tak i vojenské využití. [10], [42]

Počítačové geografické informační systémy (GIS) se začaly používat v 60. letech 20. století. Hlavním centrem pokroku bylo USA. Historii GIS je možné rozdělit na 4 období. První období je nazýváno pionýrské, začíná počátkem 60. let 20. století a končí v roce 1975. Ve druhé fázi, která probíhala mezi lety 1973 a 1982, docházelo ke sjednocení pokusů a činností agenturami a institucemi na lokální úrovni. Ve třetí fázi, přibližně od roku 1982 do konce 80. let, převažuje komercializace problematiky. Ve čtvrté fázi má největší vliv vývoj uživatelského přístupu a soutěž mezi prodejci. Později se objevují první pokusy o standardizaci a budování otevřených systémů. Je zde především kladen důraz na uživatelské chápání GIS a možnosti použití. [38], [42], [10]

První pokusy o automatizaci činnosti při tematickém mapování začínaly v 50. letech v USA a Velké Británii. Používaly se děrné štítky a modifikovatelný tabulátor na predikci



map. Objevily se také první mapy v meteorologii vytvořené pomocí řádkových tiskáren. Koncem padesátých let je již používání počítačem generovaných map běžné. Americká armáda vyvinula zařízení, které umělo konvertovat radarové údaje do počítačem generovaných obrazů. Zařízení bylo součástí protivzdušné obrany. [10], [42], [38]

Canada Geographic Information System byl rozsáhlý systém, který vyvinula kanadská vláda koncem 60. let. Systém zahrnoval informace o zemědělství, lesnictví, životním prostředí, rekreaci, lidnatosti a využívání krajiny. Kanada tak byla první zemí, která využila geografické analýzy v oblasti přírodních zdrojů a ekonomické úrovně státu. [42], [10], [38]

Důležitý vliv na vývoj GIS měl rozvoj kvantitativních analýz, o něj se zasloužil švédský geograf Torsten Hagerstrand. Na mnoha pokrokových inovacích měly zásluhu univerzity, kde byl vyvinut i systém Synagraphic Mapping System, jehož autorem je Haward Fisher. Dalším krokem vpřed byl na začátku 60. Let 20. století v USA systém MIADS, který umožňoval ukládat a zpracovávat atributy přiřazené buňkám, vykonávat jednoduché matematické operace a vytvářet grafické výstupy. V 60. letech se začaly prosazovat digitizéry a plotry jako grafické terminály počítačů, což mělo pozitivní vliv na grafické výstupy. V 70. letech začínaly v tomto oboru působit i komerční firmy. Většina firem používala rastrovou reprezentaci objektů. První vektorový systém s názvem ARC/INFO uvedla na trh společnost ESRI. Tyto první GIS se soustředily na zpracování atributových údajů a geografické analýzy. Dochází také k rozvoji technologií CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Mapping). V 70. a 80. letech přispěl k rozvoji GIS vývoj technologií, zvyšování kapacit a rychlostí procesorů. Počátek 80. let znamenal rozvoj v oblasti hardwaru, zvláště pak zobrazovacích zařízení – monitorů a elektrostatických a tryskových plotrů. Dalším mezníkem byl vývoj integrace databázových principů s grafikou, později integrace údajů z různých zdrojů. V současné době se GIS a DPZ prolíná mnoha obory nejen výzkumu, ale i státní správou apod. Díky moderním technologiím jsou výstupy z DPZ a GIS denně využívány i v běžném životě (mapové výstupy, analýzy, simulace, apod.). [10], [42], [38], [4]

## **1.2 Metody DPZ**

Dálkový průzkum Země lze rozčlenit podle druhu pořízených dat na konvenční metody pořízení dat a nekonvenční pořízení dat. Elektromagnetické záření je možné zachytit buď ve formě fotografie, tyto analogové metody se nazývají konvenční, nebo lze zachytit elektromagnetické záření elektronicky, tyto metody se nazývají nekonvenční. [19], [4]

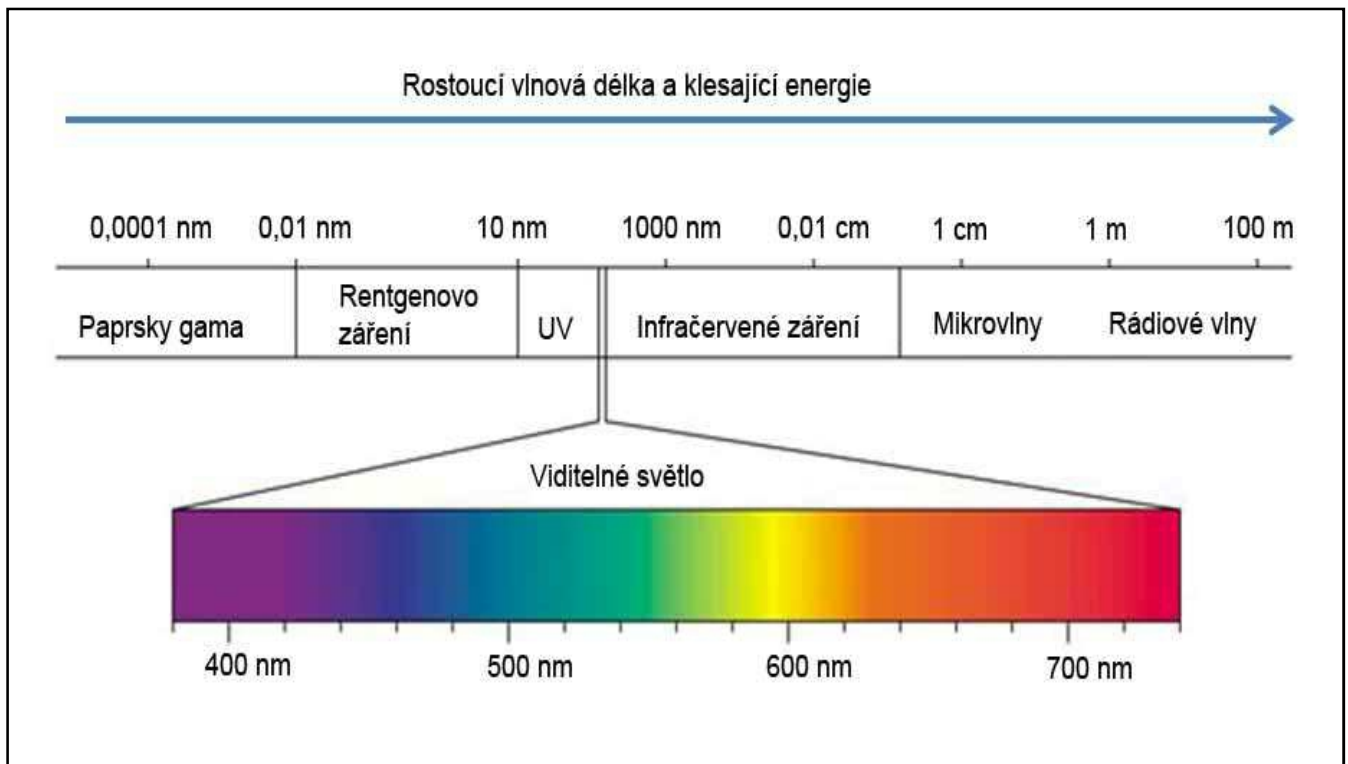
U konvenčních metod je kvalita výsledných pořízených dat silně závislá na podmínkách, za kterých byla data získána (počasí, světelné podmínky). Snímky lze pořídit jak z letadla, tak i z družic na oběžné dráze Země. Nevýhodou u těchto snímků je velmi malý rozsah vlnových délek, ve kterém je obrazový záznam pořízen. [19], [4]

Nekonvenční metody využívají digitální podobu pořizování dat. Výsledné snímky vznikají postupným skenováním po jednotlivých řádcích pomocí skenerů a radiometrů. Veškerá data jsou v digitální podobě, což sebou nese určitou míru rizika zkreslení a odchylek, naproti tomu digitální podoba dat umožňuje snadné následné zpracování a využití těchto dat. Tato metoda se využívá především při pořizování dat z družicových nosičů. [4], [19]

### **1.3 Elektromagnetické spektrum**

Nositelem informací o objektech a jevech v dálkovém průzkumu země je elektromagnetické záření, které je tvořeno elektromagnetickými vlnami. Elektromagnetické záření je charakterizováno pomocí vlnové délky ( $\lambda$ ) a frekvence ( $\nu$ ).

Elektromagnetické spektrum není v dálkovém průzkumu země využíváno v celém svém rozsahu. Využívány jsou primárně spektra ultrafialového, viditelného, infračerveného a mikrovlnného záření. [4]



Obrázek 2: Elektromagnetické spektrum

Zdroj: [15]

- **Ultrafialové záření**

Ultrafialové záření neboli UV záření lze využít především v geologii. Toto záření částečně prochází vodním sloupcem. Vlnová délka UV záření je v rozsahu 100-380 nm

- **Viditelné záření**

Viditelné záření je velmi silně pohlcováno atmosférickými jevy, jako je například oblačnost, mlha apod. Proto je možné zaznamenávat data v tomto spektru pouze za denního světla. Viditelné záření je v rozsahu vlnové délky 380-740 nm.

- **Infračervené záření**

Infračervené záření je možno dále rozdělit na infračervené záření blízké, infračervené záření střední a infračervené záření vzdálené. Tyto jednotlivé podkategorie infračerveného spektra se liší svou vlnovou délkou. Blízké infračervené spektrum navazuje na viditelné spektrum a jeho rozsah vlnové délky je 0,74-1,3  $\mu\text{m}$ , střední infračervené spektrum má rozsah vlnové délky 1,3-4  $\mu\text{m}$  a daleké infračervené spektrum s rozsahem vlnové délky 4  $\mu\text{m}$ -1 mm.

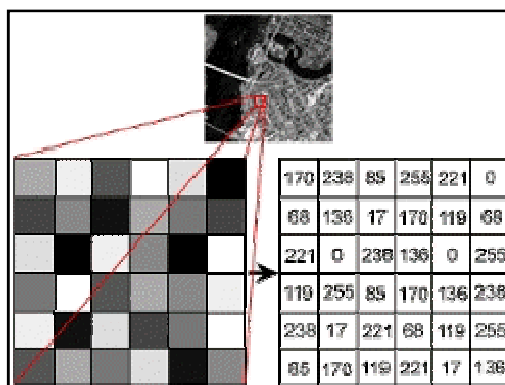


- **Mikrovlnné záření**

Mikrovlnné záření je silně zeslabováno dešťovými srážkami, čehož se také využívá především v meteorologii. Vlnová délka se pohybuje v rozmezí 1 mm-1 m. [4]

## 2 DIGITÁLNÍ ZPRACOVÁNÍ OBRAZU

Zpracování obrazu je druh zpracování informací, kde vstupem je obraz nebo fotografie a výstupem je obrázek nebo soubor parametrů odpovídajících vstupním datům. S pojmem zpracování obrazu se lze nejčastěji setkat u digitálního zpracování obrazu, kde tedy vstupem jsou digitální data. Tato data mohou být například ve formě naskenované letecké fotografie vizualizované ve tvaru matic a čísel. Digitální obraz se skládá z konečného počtu na sebe navazujících pixelů, kde každý má své místo a digitální hodnotu (DN). [10], [19]



Obrázek 3: Propojení stupně šedi záznamu a hodnot pixelů.

*Zdroj:[31]*

### 2.1 Předzpracování obrazu

Předzpracování zahrnuje řadu různých operací. Tyto operace jsou základem pro zlepšení kvality obrazu. Předzpracování umožňuje opravit data, která jsou poškozena. Poškození může být způsobeno digitalizací obrazu (vzniká šum). Také se opravují chyby způsobené nedokonalým snímacím zařízením (odstranění zkreslení), nebo atmosférickými jevy. Při předzpracování obrazu dochází ke zvýraznění nebo potlačení určitých rysů obrazu v závislosti na potřebě následného zpracování. Po předzpracování obrazu hodnota informace klesá, ale předpokládá se, že tato změna je určitým způsobem výhodná, jelikož dojde ke zvýraznění podstatných informací. Pro odstranění zkreslení se využívá geometrická, radiometrická a atmosférická korekce. [10], [29]

#### 2.1.1 Geometrické korekce

Geometrické zkreslení vzniká při snímání plochy optickým snímačem pod jiným úhlem než pravým. Neupravené družicové snímky není možné použít pro mapy, jelikož mají zkreslení, které je způsobeno zakřivením zemského povrchu. Geometrickými korekcemi lze dosáhnout odstranění zkreslení u obrazu způsobeného nestálostí geometrických podmínek při

měření takovým způsobem, aby výsledný obraz mohl být využit pro dané kartografické zobrazení nebo souřadný systém a tedy družicová data mohou být využita jako mapa.

Geometrická korekce se provádí pro účely:

- transformace obrazových dat do určité kartografické projekce
- propojení obrazových dat s vektorovou databází v GIS
- porovnání obrazových záznamů při sledování časových změn
- tvorba ortofotomap a vytváření fotomozaiky z několika obrazových záznamů

Geometrická korekce přenesení originální data z družicového snímání do geometricky správného výstupního snímku. [29], [10], [49]

### **2.1.2 Radiometrické korekce**

Cílem radiometrické korekce je zajištění co nejvěrnější podobnosti snímku se skutečností. Radiometrické korekce odstraňují náhodné chyby, vznikající v průběhu skenování. Přístroje mají vliv na naměřené hodnoty jasu pixelů v obraze. Rozdílnosti obrazového záznamu nejsou způsobeny rozdílnými objekty, ale například sezónními rozdíly, úhly osvětlení území nebo náhodnými chybami.

Radiometrické korekce zahrnují většinou tyto části:

- kompenzace sezónních rozdílů – snímky pořízené v průběhu různých částí roku vykazují jiné hodnoty. To je způsobeno rozdílným úhlem dopadajícího slunečního světla v závislosti na ročním období.
- náhodné chyby – projevují se nepřesným nebo chybějícím řádkem ve výstupním obraze obrazového záznamu. Tato chyba je způsobena špatnou kalibrací jednoho ze sensorů nebo chybou při přenosu signálu. Typickou chybou je takzvané páskování, kde dochází k periodickému opakování tmavšího, nebo světlejšího řádku. [29], [10], [49]

### **2.1.3 Atmosférické korekce**

Při družicovém snímání Země musí signál ze sensorů projít skrz atmosféru. Atmosféra způsobuje modifikaci snímaných hodnot, především díky svým rozptylovým a absorpčním schopnostem, které v důsledku zhoršují kvalitu obrazu. Rozptyl způsobuje přerozdělení dopadajícího světla v atmosféře a tím zamlžený vzhled výsledného obrazu, což snižuje rozlišovací schopnost obrazu. Absorpce atmosféry je schopnost částečně nebo zcela pohltit

určité vlnové délky záření. Například viditelné spektrum nedokáže proniknout přes atmosférické jevy jako je oblačnost. Cílem atmosférické korekce je získat absolutní hodnoty odrazivosti objektů, pomocí nichž lze určit vlastnosti těchto objektů kvantitativně.

Metody pro redukci atmosférických vlivů:

- metoda nejtmavšího pixelu – je odečtena konstantní hodnota od každého pixelu v určitém spektrálním pásmu. Metoda je založena na poznatku téměř nulové odrazivosti vodních objektů v oblasti blízkého infračerveného záření.
- modelování s využitím atmosférických modelů – z meteorologických údajů (teplota, vlhkost, znečištění, atd.), pořízených v době vytváření obrazového záznamu, lze do jisté míry určit, jakým způsobem atmosférické jevy ovlivnily výsledný obraz. [10], [29], [49]

## 2.2 Zvýraznění obrazu

Zvýraznění obrazu slouží k úpravě vzhledu snímků a k lepší vizuální interpretaci. Cílem je zvýraznění důležitých detailů u jednotlivých objektů a tím zvětšení množství informací, které je možné interpretovat. Zvýraznění umožňuje rozlišit drobné, mnohdy lidským okem nepostřehnutelné, detaily ve spektrálních a radiometrických vlastnostech objektů.

Dle [10], [29] lze Zvýraznění obrazu rozdělit na:

- Bodová zvýraznění – pracuje s jednotlivými pixely a jejich DN hodnotami. Operace s DN hodnotami v jednotlivých pixelech jsou nezávislé na okolních hodnotách. Zvýrazněná data se využívají pro interpretaci snímku a neměla by být použita jako vstupní data pro klasifikaci.
- Prostorová zvýraznění – neboli filtrace obrazu, je transformace, která převádí hodnoty pixelu vstupního obrazu na hodnoty pixelu výstupního obrazu. Primárně slouží ke zvýraznění či potlačení některých vlastností. Je zde zohledněno okolí pixelů, na jehož základě se vytváří nová hodnota.
- Spektrální rozlišení – využívá se při zpracování multispektrálních nebo hyperspektrálních dat. Princip je založen na barevné syntéze. Zobrazené území není zobrazeno ve stupních šedi, ale v přirozené či nepřirozené barevné kombinaci.

## 2.3 Klasifikace

Klasifikace digitálního obrazu je proces, při kterém probíhá zařazování jednotlivých pixelů do několika tříd. Přiřazuje se informační význam jednotlivým prvkům obrazu, pracuje s každým pixelem jako se samostatným prvkem, který je složen z hodnot v několika spektrálních pásmech. Porovnávají se radiometrické hodnoty původního snímku s hodnotami, u nichž je známý určitý informační význam, a zařazují se na základě podobnosti do jednotlivých tříd. Dle Lillesanda [29] lze obecně vyjádřit klasifikační postup jako přiřazení každého pixelu původního obrazu do třídy nebo tématu. Klasifikace se provádí podle tzv. klasifikátorů, na jejichž základě jsou pixely zařazovány do jednotlivých tříd. Klasifikátory jsou založeny na vlastnostech objektů. Dělí se podle časových, prostorových a spektrálních charakteristik. Klasifikace časového chování objektů se využívá u časových změn objektů, především ke sledování změn spektrálních a prostorových parametrů. Klasifikace prostorového chování objektu je založena na sledování prostorových vztahů s okolními objekty. Klasifikace založená na spektrálním chování objektů se považuje za nejpropracovanější a nejčastěji využívanou metodu pro automatickou klasifikaci. U tohoto druhu klasifikace se využívá multispektrálních či hyperspektrálních dat. Při zařazování jednotlivých prvků lze vycházet z předpokladu, že různé objekty mají různé spektrální chování na, dle svých schopností, odrazivosti. Dále lze klasifikaci dělit na řízenou a neřízenou. [10], [29], [4]

- **Řízená klasifikace**

U tohoto typu klasifikace je nezbytná určitá znalost území, které bude následně klasifikováno. Řízená klasifikace vyžaduje uživatelsky nadefinovat reprezentativní vzorek (trénovací plochu) pro každou třídu. Kvalita výsledné klasifikace se odvíjí od přesnosti, s jakou jsou definované trénovací plochy. Prvním a nejdůležitějším krokem u řízené klasifikace je vymezení trénovací plochy. Trénovací plocha by měla být dostatečně velkým reprezentativním vzorkem dané třídy, být homogenní a přesně vymezená. Následuje samotná klasifikace jednotlivých pixelů do předem nadefinovaných tříd. Výsledkem je nový snímek, například ve formě tematické mapy. [29], [10]

- **Neřízená klasifikace**

Pro tento druh klasifikace není nutná předešlá znalost klasifikovaného území. Při neřízené klasifikaci se tedy nedefinují trénovací plochy, ale jednotlivé pixely jsou nejprve automaticky rozděleny do tříd s podobnými spektrálními charakteristikami.



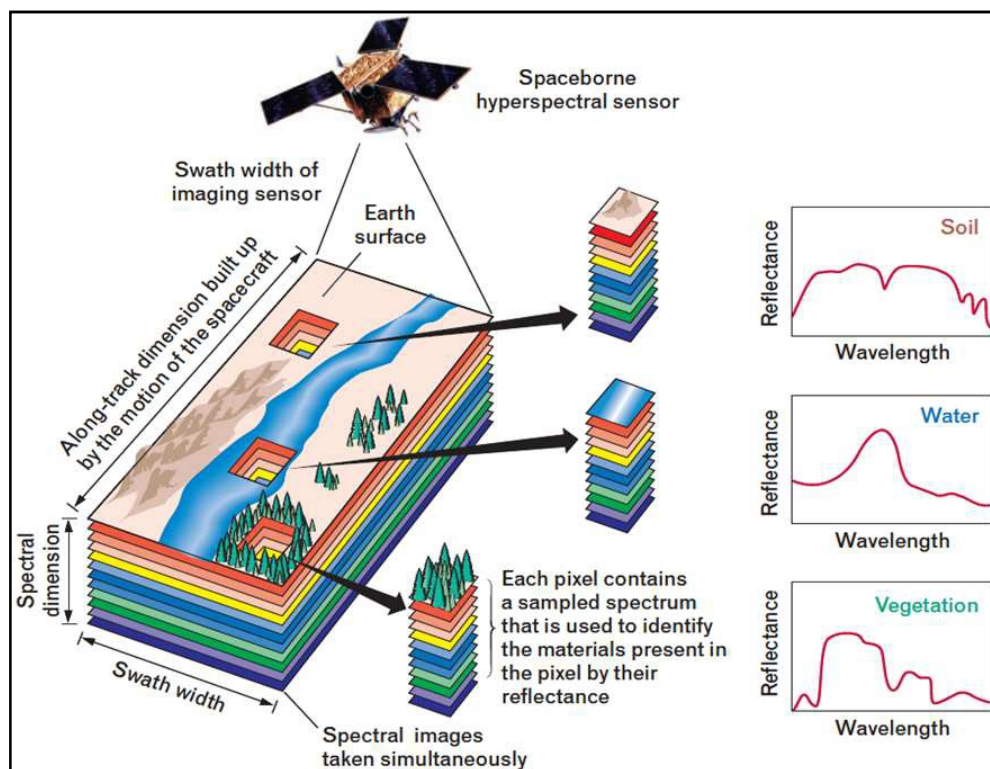
Nejdříve se vybírají dominantní shluky ze snímku s podobnými statistickými vlastnostmi, především spektrální odrazivostí, a teprve následně se zkoumá význam jednotlivých vytvořených tříd. Jednou z nejčastěji využívaných metod pro neřízenou klasifikaci je metoda „K-means“. [29], [10]

## **2.4 Postklasifikační úpravy**

Obraz po klasifikaci nebývá ve formě, která je vhodná k prezentaci, proto je potřeba udělat postklasifikační úpravy aplikováním filtrů. Snímek obsahuje značné množství osamocených pixelů, či malých skupin pixelů, díky kterým je nepřehledný. Podle Lillesanda [29] je nezbytné, aby postklasifikační algoritmus byl založený na logických operacích, nikoliv na aritmetických operacích. Jednou z možností postklasifikačních úprav je využití modálního filtru. Tento filtr ve formě okna přejíždí nad daty a centrální pixel je označen třídou, která je zastoupena v okně filtru nejčastěji. Stanovuje tedy majoritní třídu. Nemá-li žádný pixel v okně majoritní zastoupení, tak nedochází ke změně. Pro výpočet se vždy využívají originální data, nikoliv data upravená. [10]

### 3 SPEKTRÁLNÍ CHOVÁNÍ OBJEKTŮ A HYPERSPEKTRÁLNÍ SNÍMKY

V dálkovém průzkumu Země se lze setkat s pojmem spektrální rozlišení, které vymezuje množství a typ informace, jenž je získáván z družicových snímků. Spektrální rozlišení tedy udává šířku intervalu vlnových délek, ve kterých se pořizují družicové snímky. Dle spektrálního rozlišení je možno definovat několik skupin, do kterých lze družicové snímky rozdělit. První skupinou jsou panchromatické snímky, zde je snímáno pouze jedno široké pásmo. Druhou skupinou jsou multispektrální snímky, ty jsou snímány minimálně ve třech spektrálních pásmech, která většinou spadají do infračervené a viditelné části spektra (například snímky z družice Landsat 5). Třetí kategorií jsou hyperspektrální snímky. Hyperspektrální snímání dané oblasti probíhá ve stovkách velmi úzkých pásmech (například snímky z družice Hyperion). Další skupinou jsou radarové snímky, což je specifická kategorie družicových dat, kde snímání probíhá v mikrovlnné části elektromagnetického spektra. [11]



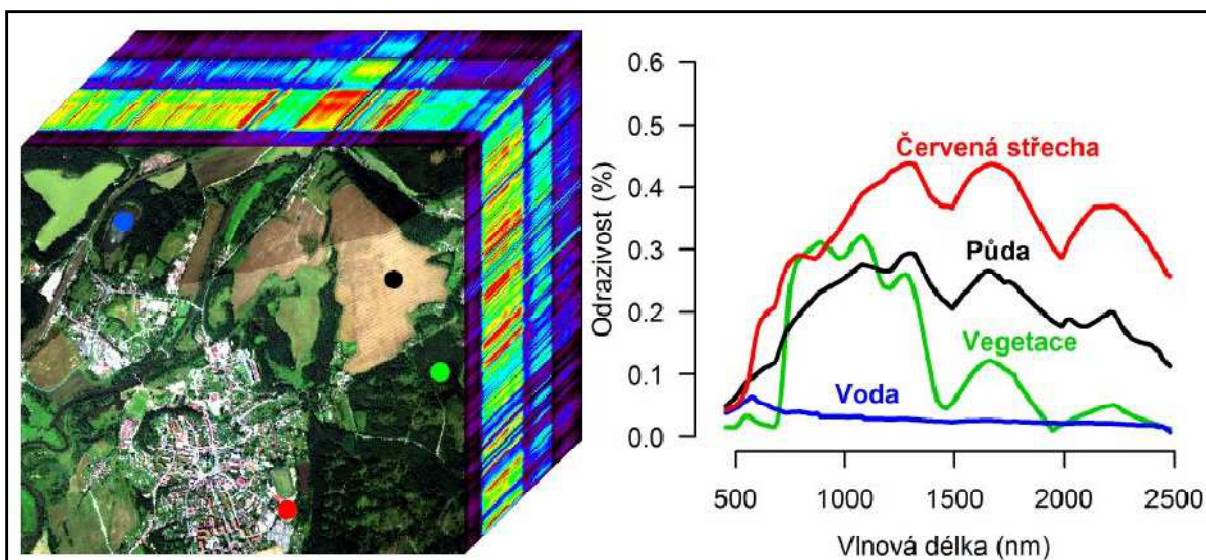
Obrázek 4: Princip hyperspektrálního snímání

Zdroj:[44]

Každý objekt na zemském povrchu odráží a emituje záření různých vlnových délek elektromagnetického spektra v závislosti na typu objektu, jeho fyzikálním stavu či na jeho okolí. Jak uvádí Dobrovolný [10], přes všechny vlivy atmosféry a reagování záření na zemském povrchu, i přes všechny vlivy způsobené fyzikálním stavem objektů, lze

konstatovat, že každá látka na zemském povrchu se vyznačuje svou vlastní spektrální charakteristikou. Pro daný objekt lze sestavit závislost mezi jeho odrazivostí a vlnovou délkou. Díky spektrálním vlastnostem objektů je možné jednoznačně určit, o jakou látku se jedná, protože charakteristika je typická pro danou látku. Tato charakteristika je označena jako spektrální křivka odrazivosti. Díky znalostem spektrálních charakteristik je pak následně možné určit druhové a stavové parametry. Druhové parametry určují, jaký druh látky byl zachycen na snímku (půda, voda, vegetace, apod.) a díky stavovým parametrům lze zjistit stav, ve kterém se látka nachází (homogenita, stáří, vlhkost). [10], [19]

Hyperspektrální snímky poskytují velké množství spektrálních údajů využitelných pro rozlišení a určení materiálů, které jsou si vzájemně podobné, ale přesto unikátní. Právě hyperspektrální data se výrazně odlišují od multispektrálních svou šířkou snímaného pásma, ve které se pořizují jednotlivé snímky a počtem těchto pásem. Jak už bylo řečeno, u multispektrálního režimu se snímají maximálně desítky pásem. U hyperspektrálního režimu se snímají stovky až tisíce pásem. Pro interpretaci následně tyto snímky lze skládat na sebe a tím vznikne tzv. hyperspektrální kostka. Tato kostka má tvar kvádrů, nebo krychle a tvoří ji nad sebou ležící vrstvy, kde každá obsahuje spektrální informace o snímaném povrchu v určitém rozsahu vlnových délek. [10], [19]



**Obrázek 5: Hyperspektrální datová kostka**

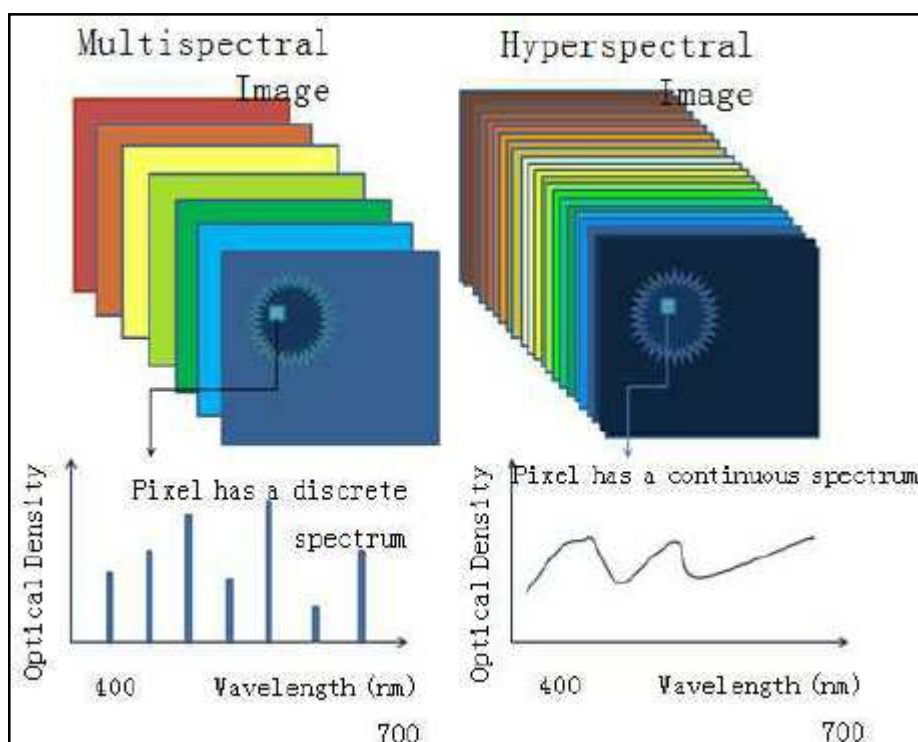
*Zdroj: [46]*

Na obrázku (Obrázek 5) je uveden příklad hyperspektrální datové kostky ze senzoru HyMap. Přední strana je zobrazena v pravých barvách. Hloubka kostky představuje spektrální dimenzi dat. Graf vpravo zobrazuje spektrální křivky povrchů. Barevné body určují, odkud byla získána data pro dané křivky. Obraz na hyperspektrální kostce poskytuje nejen

prostorovou informaci, díky barevné syntéze, ale i spektrální informaci o daném území pomocí barevného kódování ze strany kostky. Zjištěné spektrální charakteristiky zkoumaného objektu se následně porovnávají se spektrálními křivkami zjištěnými laboratorním měřením. [10], [46]

### 3.1 Hyperspektrální data

Pro práci s daty je nezbytné vědět, za jakých podmínek byla data získána. V případě DPZ se jedná především o vlnovou délku či interval vlnových délek, časové údaje a geometrické uspořádání. Při srovnání multispektrálních dat s hyperspektrálními, tak v případě multispektrálních dat (LANDSAT 8) je možno získat například pouze 8 hodnot o spektrálním chování objektu (Obrázek 6). U hyperspektrálních dat lze dosáhnout téměř kontinuální záznam hodnot. Hyperspektrální data se vyznačují svou velmi dobrou spektrální rozlišovací schopností. Je tedy možné díky těmto informacím určovat nejen například typ povrchu, jako voda, půda, les apod., ale zde jsou možnosti zkoumat objekt mnohem více do detailu, například určování jednotlivých druhů minerálů v půdě, nebo skladbu jednotlivých rostlinných druhů v rámci lesa. [10], [46], [18]

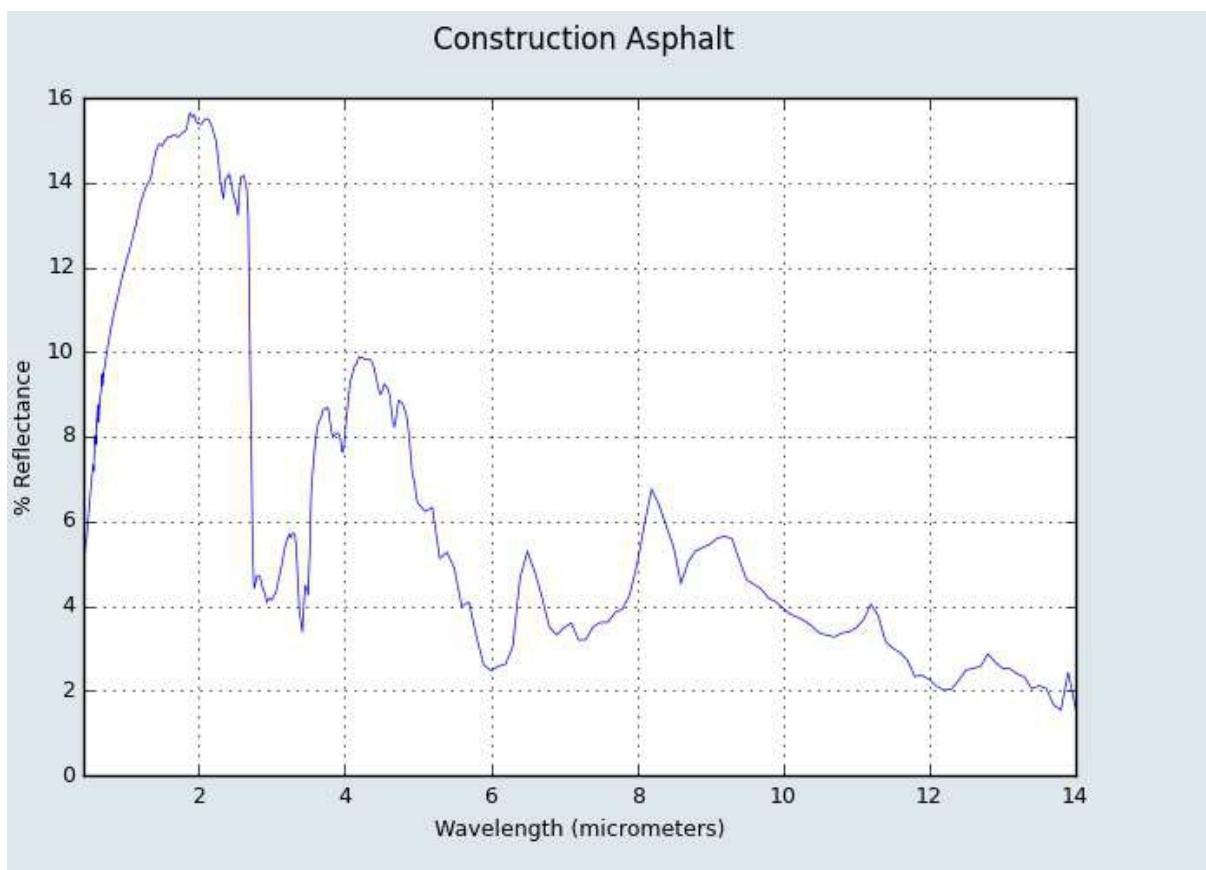


Obrázek 6: Rozdíl mezi hyperspektrálními a multispektrálními daty

Zdroj:[5]

## 3.2 Hyperspektrální knihovny

Hyperspektrální knihovny jsou soubory naměřených spektrálních vlastností jednotlivých objektů. Tato měření jsou prováděna v laboratorních podmínkách, aby byla zajištěna přesná spektrální charakteristika zkoumaného objektu. Díky těmto naměřeným hodnotám je možné následně porovnávat hyperspektrální snímky pořízené družicovými nebo leteckými hyperspektrálními senzory, s laboratorně naměřenými hodnotami v hyperspektrálních knihovnách. Porovnání může být na základě vizuálního srovnání obou spekter nebo na základě matematických postupů. Nejčastějším způsobem vizualizace spektrálních charakteristik je použití dvourozměrného grafu. Na ose X se zobrazuje vlnová délka a na ose Y pak odpovídající odrazivost (Obrázek 7). Pomocí grafu lze určit absorpční pásy, které mají své charakteristické rysy. Graf spektrálního chování objektu se nevytváří pouze z jednoho pixelu obrazu, ale využívá se průměrných hodnot daného pixelu a jeho okolí. [1]



Obrázek 7: Příklad záznamu ze spektrální knihovny pro vybraný minerál.

Zdroj:[2]

Spektrální knihovny lze rozdělit do čtyř kategorií z hlediska dostupnosti na komerčně šířené spektrální knihovny, spektrální knihovny volně dostupné na internetu, spektrální knihovny integrované do softwarových nástrojů a vlastní vytvořené spektrální knihovny.



Mezi nejsnáze dostupné a nejobsáhlejší knihovny je možné zařadit knihovny ASTER, USGS, ASU.

Nejrozsáhlejší knihovnou z hlediska počtu spekter je knihovna ASTER. Tato knihovna zahrnuje spektrální křivky z těchto jiných knihoven – the John's Hopkins University (JHU) Spectral Library, the United States Geology Survey (USGS) Spectral Library a the Jet Propulsion Laboratory (JPL) Spectral Library. Díky tomu knihovna obsahuje více jak 1700 záznamů spekter materiálů umělých i přírodních. Spektra jsou v knihovně rozdělena do 8 tříd materiálů. Nejpočetnější skupinou jsou minerály (1748 záznamů), horniny (473 záznamů), umělé materiály (84 záznamů), půdy (69 záznamů), meteority (60 záznamů), lunární materiály (17 záznamů), voda/sněh/led (9 záznamů), vegetace (4 záznamy). [2]

Další velkou spektrální knihovnou je knihovna Geologické služby Spojených států amerických (USGS Spectral Library). Tato knihovna je součástí knihovny ASTER, ale v samotné spektrální knihovně USGS jsou dostupná data z více měření stejného materiálu. Spektrální knihovna USGS je také volně dostupná na internetu. Tato knihovna je členěna na sedm kategorií. První kategorií jsou umělé materiály, druhá zahrnuje vrstvy, třetí kategorie se zabývá tekutinami, čtvrtá kategorie zahrnuje minerály, pátá kategorie jsou organické sloučeniny, šestá kategorie půdy, horniny a směsi a sedmá kategorie vegetace. [39]

## 4 SLEDOVÁNÍ ZMĚN V KRAJINĚ

Pojem krajina v odborné terminologii má několik možných definic. Z právního hlediska je krajina definována: „Krajina je část zemského povrchu s charakteristickým reliéfem, tvořená souborem funkčně propojených ekosystémů a civilizačními prvky.“ [7] Další definicí, jak uvádí Forman, může být: „Krajina je heterogenní část zemského povrchu, skládající se ze souboru vzájemně se ovlivňujících ekosystémů, který se v dané části povrchu v podobných formách opakuje.“ [16] V krajině většina jevů, ať přírodních či umělých, podléhá časovým změnám, je proto důležité tyto jevy sledovat. Pro každé místo, které lze zdokumentovat metodami DPZ, například pomocí družic, je možné jeho opakovaným snímkováním v určitém intervalu vytvořit časovou řadu. Aby bylo možné krajinu studovat, je zapotřebí vědět, jaké prvky krajinu tvoří a jaké vazby jsou mezi těmito prvky. Složky krajiny lze rozdělit na 2 základní kategorie tvořené přírodními a antropogenními složkami. Přírodní složky jde dále rozdělit na živé (flóra, fauna) a neživé (klima, reliéf, zemská kůra). Do antropogenních složek je možné zařadit například těžbu, dopravu, zemědělství atd. Monitorování změn v krajině zahrnuje velmi široké spektrum od krátkodobých jevů, jako vývoj sněhové pokrývky v období zimy či sledování povodní, až po dlouhodobé jevy, jako jsou procesy desertifikace. [10], [33]

### 4.1 Struktura krajiny

Struktura krajiny má vliv na funkčnost krajiny jako takové. Struktura je dána vztahy mezi jednotlivými prvky krajiny, rozložením energie a druhů organismů vzhledem k tvaru, velikosti a prostorovému uspořádání ekosystémů. Krajinnou strukturu je možno chápat jako horizontální a vertikální uspořádání krajiny. Vertikální uspořádání zahrnuje geomorfologii terénu. Dle horizontálního uspořádání lze obecně krajinu rozdělit na 3 základní stavební prvky. Těmito prvky jsou krajinné koridory, krajinné matrice a krajinné enklávy. [22], [16]

Podle vztahu k využívání krajiny člověkem jsou rozlišovány tři substrukтуры krajiny. Tyto substrukтуры jsou kombinací vertikální i horizontální struktury krajiny. Primární struktura je původní, člověkem nedotčená krajina (půda, reliéf, vegetace). Tato krajinná struktura se v ČR nevyskytuje. Sekundární struktura je člověkem ovlivněná nebo kompletně změněná krajina, včetně nově vytvořených umělých prvků. Tato struktura je tedy tvořena prvky land use (využití půdy) a land cover, neboli materiálními díly člověka. Terciární strukturu tvoří prvky socioekonomických jevů, které zde představují tzv. funkční zóny (např. těžební a průmyslové areály, dopravní plochy, zemědělské kategorie, rekreační areály, chráněná území). Tyto jevy se mohou prostorově překrývat, jelikož jsou nehmotné. [22]

## **Krajinné enklávy**

Enklávu je možno popsat jako plošný prvek, také se mu přezdívá ploška, která se svým vzhledem a podstatou liší od svého okolí. Typickým znakem enkláv je velikost, tvar a jejich způsob vzniku. Plošky se podle vzniku dělí na několik kategorií - plošky zdrojů prostředí, zbytkové plošky, obdělávané plošky a sídla, plošky vzniklé narušením. [36], [22]

## **Krajinné koridory**

Krajinný koridor je, na rozdíl od krajinné plošky, liniový prvek v krajině. Koridorem mohou být přirozené prvky krajiny (vodní tok) i prvky vytvořené člověkem (dálnice). Tudíž koridor je pás krajiny, který je obklopen odlišným prostředím. [36], [22]

## **Krajinné matrice**

Krajinná matrice je dominantní krajinná složka, je nejrozsáhlejší kategorií a má největší výměr ze složek krajiny. Za matici je považována ta složka, která převažuje na daném území (např. v lesnaté krajině je maticí les). Díky tomu matrice nejvíce ovlivňuje krajinu jako celek. [36], [22]

## **4.2 Základní typy krajiny**

Krajinu lze primárně rozdělit podle intenzity vlivu člověka na krajinu přírodní a krajinu kulturní. Nelze však krajinu rozdělit pouze do těchto dvou kategorií. Mezi přírodní a kulturní krajinou existuje řada mezistupňů, které se liší úrovní ovlivnění člověkem. Oba základní typy krajiny jsou nebývale pestré a rozmanité. Kritériem pro rozlišení různých krajin je jejich vzhled. Krajinu přírodní od krajiny kulturní rozlišíme podle vzhledu, avšak za tímto vzhledem se skrývá důmyslný systém vzájemně propojených vztahů, jejich fungování a dynamiky. [27], [36]

### **4.2.1 Přírodní krajina**

Tento typ krajiny je v současné době velmi vzácný. Existují určitá území, která nejsou ovlivněna lidskou činností, ale je jich velmi málo. Jako příklad lze uvést některé polární oblasti, části deštných pralesů či pouští. Jedná se o základní krajinný typ, z něhož se vyvinuly veškeré další krajinné typy. Přírodní krajina vznikla pouze působením přírodních jevů. Ze všech krajinných typů si uchovala svou původní strukturu a funkčnost, které nejsou ovlivněny člověkem a veškeré projevy, změny struktury apod., jsou čistě přírodního rázu. [27]

### **4.2.2 Přírodně blízká krajina**

Přírodně blízká krajina je typově velmi podobná přírodní krajině. Jedná se o typ krajiny, který se řídí výhradně přírodními faktory, ale jsou zde stopy dřívější lidské činnosti, v současné době je území lidmi opuštěno. Mezi stopy dřívější lidské činnosti lze zařadit terénní změny, které jsou v daném místě patrné v různém stádiu rozpadu, a začlenění do reliéfu. Mezi tyto oblasti lze zařadit území s dřívější lidskou činností jako například těžební úpravy povrchu, sídelní a vojenské objekty, které byly z nějakého důvodu dávno opuštěny, a dané území podléhá přírodním vlivům. Na základě jejich působení se dále vyvíjí. V ČR se tento krajinný typ vyskytuje především v nejvíce chráněných zónách národních parků a v chráněných krajinných oblastech. [27]

### **4.2.3 Produkční kulturní krajina**

Produkční kulturní krajina je typem krajiny, kde volně dochází k přírodním procesům, ale člověk je svou činností využívá ve svůj prospěch. O produkční kulturní krajině lze obecně říci, že biotická složka krajiny byla výrazně pozměněna a člověk svou činností na jejím místě vytvořil druhotnou krajinu. Jedná se tedy o oblasti, kde došlo k vytvoření ekologicky srovnatelných (vzhledem a funkcí) společenství, ze kterých člověk odebírá část biomasy, ale na oplátku dodává do krajiny vyživující látky (např. hnojením). V lepším případě by mělo docházet k nahrazení co nejpodobnějším umělým společenstvím původnímu. Tedy například ve stepní části krajiny nahradit obilninami, v lesních částech ovocnými sady apod. I přes to obhospodařování těchto umělých kultur má za následky významné snížení efektu ekologické ekvivalence. [27]

### **4.2.4 Kulturní krajina regulovaná**

V kulturní krajině regulované je krajina již silně přetvářena podle potřeb člověka. V tomto typu krajiny jsou zachovány především abiotické části krajiny, ale člověk v krajině vytvořil účelové objekty, které mu umožní ovlivňovat a téměř řídit přírodní procesy. Tyto objekty poskytují lidem možnosti pro výběr místa a času, kdy umožní průběh přírodním procesům. Jde například o umělé vodní nádrže, skleníky, plochy se speciálním biotickým povrchem (sportoviště), atd. [27]

### **4.2.5 Kulturní krajina technická**

Kulturní krajina technická je takové území, kde člověk kontroluje a aktivně mění většinu z přírodních složek krajiny a vlastnosti ostatních struktur účelově přizpůsobuje. Dynamika

této krajiny podléhá zájmům člověka a přírodní procesy jsou využívány tehdy, jsou-li člověku prospěšné. Nelze se zcela vyhnout působení přírodních faktorů (sluneční záření, vítr, apod.). Technická výstavba struktury, časová posloupnost a fungování však nevyklučuje dopady neočekávaných přírodních vlivů, které mohou mít za následek narušení kontroly a řízení procesů (povodně, zemětřesení, atd.). Technickou kulturní krajinou může být silně urbanizované, industriální, těžební a dopravní území. [27]

### **4.3 Detekce změn v krajině pomocí DPZ**

Pro detekci změn je třeba využít data pořízená v různých časových horizontech, pomocí nichž lze odhalit časové změny v krajině. Multitemporální data jsou taková, která jsou pro stejné místo pořizována distančními metodami (družicové snímky) opakovaně, v určitém časovém intervalu. Tato data pak spolu tvoří časovou řadu, kde je možné sledovat vývoj jednotlivých objektů v čase. Díky tomuto typu dále lze sledovat krátkodobé jevy, jako například průběh povodní, tak i dlouhodobé jevy, jako například změny ve využití krajiny. Podstatným požadavkem při detekci změn pomocí DPZ je přítomnost změny objektu, která se zaznamená. Zaznamenat se dají tři druhy změn objektu.

- Objektu se změnila prostorové charakteristiky a spektrální charakteristiky zůstaly zachovány. Např. objekt změnil svůj plošný rozsah.
- U objektu došlo ke změnám ve spektrálních charakteristikách a prostorové charakteristiky zůstaly zachovány. Např. kvalitativní změna objektu.
- Sledovanému objektu se změnila spektrální i prostorové charakteristiky. Např. objekt byl nahrazen jiným a původní přestal existovat.

V případě sledování změn prostřednictvím spektrálních charakteristik může stejný objekt či jeho stav, který je zachycen v různém čase, mít zaznamenány různé radiometrické hodnoty. Důležité pro správnou detekci časových změn je schopnost rozlišit podstatné změny, tedy ty, které chceme sledovat, od nepodstatných změn, které jsou způsobeny změnou dynamických parametrů. Tyto nepodstatné změny mohou být způsobeny například jiným osvětlením objektu nebo jeho vlhkostí. [10]

Podle Dobrovolného [10] by v ideálním případě data pro multitemporální analýzu měla splňovat následující podmínky:

- Obrazy tvoří chronologicky uspořádanou řadu nejméně dvou členů.



- Obrazy jsou pořízeny analogickým snímacím zařízením, které má pravidelnou periodu přeletů a zaznamenává stejnou část zemského povrchu.
- Obrazy jsou pořízeny ve stejnou denní a roční dobu.
- Data jsou pořízena ve stejném měřítku, pod stejným úhlem záběru a jsou eliminovány vlivy reliéfu na radiační hodnoty objektů.
- Data jsou pořízena ve stejných spektrálních pásmech a se stejným radiometrickým rozlišením. [10]

## 5 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Cílem této podkapitoly je uvést příklady současných prací a projektů, které se zabývají obdobným tématem. Tyto práce sloužili jako zdroj informací pro tuto práci. Na toto a podobná témata lze najít na internetu mnoho dostupných prací a je tak možné se s danou problematikou seznámit a získat určitý přehled. Ve většině prací jsou analyzovány snímky ze dvou i více časových období.

Prvním příkladem je například práce Tomáše Volka [34], která se řadí mezi jedny z prvních prací zabývajících se sledováním změn v krajině, v tomto případě katastry obcí Šošůvka a Ostrov u Macochy v letech 1950, 1976 a 1990. Pro vyhodnocení sledování změn byly použity programy Orient a MicroStation.

Zajímavou studii zpracoval ve své akademické práci Jan Juráš [25], který se zaměřil na detekci sněhové pokrývky. K tomu využil družicové hyperspektrální snímky tří různých území ze senzoru Hyperion. V této práci byly uvedeny praktické možnosti využití možnosti metod dálkového průzkumu Země na hyperspektrálních družicových datech.

Další zajímavou prací je práce od Barbory Vostracké [41]. Ta se ve své diplomové práci zaměřuje na využití družicových a leteckých snímků při mapování změn zástavby a aplikaci vizuální interpretace, vegetačních indexů a automatickou klasifikaci. Vycházela z databází CORINE Land Cover a dat ZABAGED.

V práci „Využití spektrálních indexů při monitoringu zeleně vybrané části Pardubického kraje“ se Magdalena Kalinová [26] zabývá spektrálními indexy. Při zpracování autorka použila software ArcGIS for Desktop s družicovými snímky ze skenerů MODIS Terra a Landsat.

Diplomová práce „Využití automatické klasifikace obrazu pro analýzu vývoje krajiny v obci Staré Jesenčany“ se také zabývá oblastí Pardubického kraje. Autorem je Eva Trojovská [37], která použila k interpretaci a následnému vytvoření mapových kompozic software ArcGIS for Desktop 10 a využila letecké i družicové snímky dané lokality ke zhodnocení využitých metod automatické klasifikace v jednotlivých časových horizontech a zanalyzování změn v krajině.

Problematika hyperspektrální analýzy je řešena v diplomové práci Miloslava Jančíka [23] s názvem „Vybrané geologické hyperspektrální analýzy“. Ke zpracování dat dálkového průzkumu byly využity programy ENVI 4.0 a ERDAS Imagine 8.7 na hyperspektrálních datech ze senzoru ASTER.

Dizertační práce Moniky Mulkové [32] se zabývá krajinou, která je změněna závažnými lidskými zásahy – těžbou nerostných surovin a následným zásahem do krajiny. Mulková využívá při zpracování letecké snímky již od roku 1947.

Hana Málková [30] přispěla také diplomovou prací „Klasifikace land cover z hyperspektrálních dat v rekultivovaných oblastech Sokolovské hnědouhelné pánve“. Hyperspektrální data byla nasnímána hyperspektrálním leteckým senzorem HyMap. Málková se snažila o vytvoření metodiky klasifikace vegetace za účelem vytvoření podkladové mapy pro studium vlivu těžby na zdravotní stav vegetace v okolí povrchových lomů na Sokolovsku.

Ze zahraničních prací lze uvést případovou studii vyhodnocující změnu území na povodních na území státu Pákistán, A. Butt et. al. [3] „Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS“. Autoři ve své studii použili pro klasifikaci multispektrální snímky získané z družice Landsat 5 a SPOT 5.

Další studií je akademická práce G. Galidaki [17] „Mediterranean forest species mapping using hyperspectral imagery“. Využívá dat ze senzoru Hyperion při mapování lesních druhů ve dvou typických řeckých lesích a ukazuje další možné využití dálkového průzkumu Země při použití hyperspektrálního snímkování.

S. T. Seydi a M. Hasanlou [35] publikovali článek na téma „Land Cover Change Detection Based on Genetically Feature Selection and Image Algebra Using Hyperion Hyperspectral Imagery“, který se zabývá tématem detekce změn v krajině různými metodami s využitím hyperspektrálních snímků ze senzoru Hyperion.

Práce, kterou vytvořili Michael T. Eismann a Joseph Meola [14] „Hyperspectral Change Detection: Methodology and Challenges“, je zaměřena na detekci změn potlačením pozadí snímku a zvýrazněním změn na hyperspektrálních snímcích. Práce současně pojednává o problémech, které detekci změn provázejí, jako 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 [45] se zaměřují na detekci změn v krajině pomocí částečně řízené metody Laplacian Regularized Metric Learning, kterou využívají pro snímky obsahující šum.

Řada projektů se zabývá dálkovým průzkumem Země nebo detekcí změn v krajině, zde jsou uvedeny příklady některých projektů.

Firma GISAT se v České republice zabývá dálkovým průzkumem Země v souvislosti s obchodováním. Hlavním cílem GISAT je nabídnout svým zákazníkům kompletní, inovativní, dostupné a kvalitní geoinformační služby založené na moderní technologii dálkového průzkumu Země. GISAT poskytuje svým zákazníkům kompletní portfolio služeb, počínaje distribucí družicových dat a geoinformačních programů, přes digitální zpracování družicových či leteckých snímků až po tvorbu geoinformačních systémů. Zákazníkům jsou tak poskytovány ucelené informační podklady a analytické výstupy pro monitoring a efektivní rozhodování o využívání přírodních či ekonomických zdrojů v krajině. Využití dálkového průzkumu Země pro mapování a sledování stavu životního prostředí a pro posuzování dopadů na životní prostředí je jednou z klíčových aktivit GISAT. Již více než desetiletí jsou odborníci GISAT zapojeni do ojedinelého programu evropského mapování krajiny (CORINE Land Cover) a řady dalších aplikací využívajících data typu land cover/land use pro hodnocení krajiny a vývoj řady agroenvironmentálních indikátorů. V letech 1997-2000 byl GISAT v čele mezinárodního projektu EEA PHARE Topic Link on Land Cover, v letech 2001 – 2006 byl členem EEA European Topic Centre on Terrestrial Environment (ETC-TE), v letech 2007-2010 členem navazujícího EEA European Topic Centre on Land Use and Spatial Information (ETC-LUSI) a od roku 2011 je členem EEA European Topic Centre on Spatial Information and Analysis (ETC-SIA). [18]

Zajímavým příkladem projektu z praxe je inventarizace krajiny CzechTerra. Jedná se o multizdrojové celorepublikové statistické šetření, které kombinuje analýzu leteckých snímků a pozemní šetření. Stav a změny základních krajinných charakteristik jsou sledovány v trvalé síti ploch na základě kvantifikovatelných údajů (indikátorů). Informace odvozené, tj. informace o konektivitě a fragmentaci krajiny, údaje o produkci apod., se vypočítávají standardními matematicko-statistickými postupy. Celý systém je tvořen sítí 1599 lokalit odpovídající výchozí hustotě rozmístění 7x7 km s pokrytím celého území České republiky. Toto měřítko zajišťuje dostatečnou statistickou průkaznost hlavních šetřených veličin. Systém je schopen zajistit relevantní informace o rozlohách všech kategorií využívání území (les, orná půda, louky a pastviny, mokřady a vodní plochy, zastavěná území, ostatní) a široké spektrum údajů o lesích a přírodě blízkých prvcích (zeleni) v krajině. Výsledky inventarizace krajiny a zejména údaje z opakovaných inventarizací mohou být využívány pro potřeby strategického plánování a ochrany krajiny a mezinárodního reportingu. Rozsáhlý soubor dat získávaných v rámci projektu CzechTerra skýtá velké možnosti různých, dosud často netradičních pohledů nejen na lesní ekosystémy, ale i na zeleň mimo les a na krajinu jako celek. [6]

Krajinným změnám se ve své práci věnuje i Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, veřejná výzkumná instituce, zřízená k 1. 1. 2007 za účelem výzkumu všech typů krajiny a souvisejících environmentálních rizik, výzkumu biologické rozmanitosti a její ochrany, odborné podpory ochrany přírody a péče o krajinu a výzkumu v oblasti okrasného zahradnictví. Část výzkumné činnosti zajišťuje pracoviště VÚKOZ v Brně. [43]

Změny krajiny byly zkoumány v rámci výzkumného záměru MSM 6293359101 Výzkum zdrojů a indikátorů biodiverzity v kulturní krajině v kontextu dynamiky její fragmentace, který byl zahájen v roce 2005 a skončil v roce 2011. Hlavním cílem výzkumného záměru bylo zachytit interakce mezi stavem biologické a krajinné rozmanitosti, společensko-ekonomickými hnacími silami, zátěží a odezvou na nepříznivý stav biodiverzity pomocí skupiny ukazatelů, které poskytují přehlednou informaci o vazbách mezi jednotlivými složkami biologické a krajinné rozmanitosti. [47]



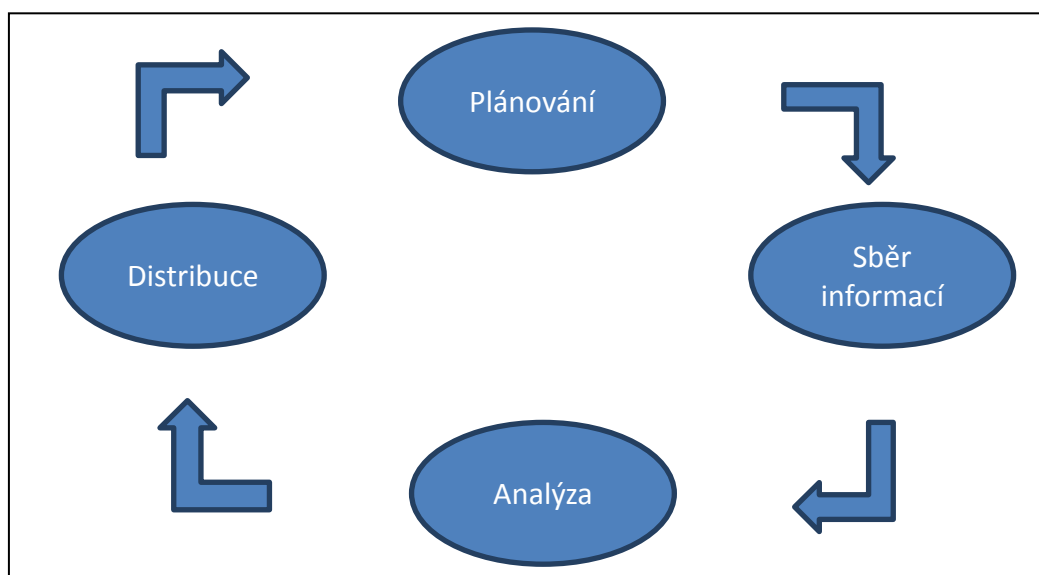
## 6 PŘÍKLADOVÁ STUDIE

Součástí této práce je i příkladová studie, která využívá knihovny spektrálních křivek pro detekci změn v krajině vybrané lokality.

### 6.1 Postup zpracování

Pro zpracování dat do příkladové studie byly využity softwarové nástroje ENVI 5.1 od společnosti Excelis a ArcGIS for Desktop verze 10.2.2 od společnosti Esri. Software ENVI byl využit pro samotnou analýzu dat a výstupy byly zpracovány softwarovým nástrojem ArcGIS for Desktop na grafické zpracování a vytvoření mapových výstupů.

Zpracování příkladové studie probíhalo podle následujících kroků - Plánování, Sběr informací, Analýza, Distribuce.



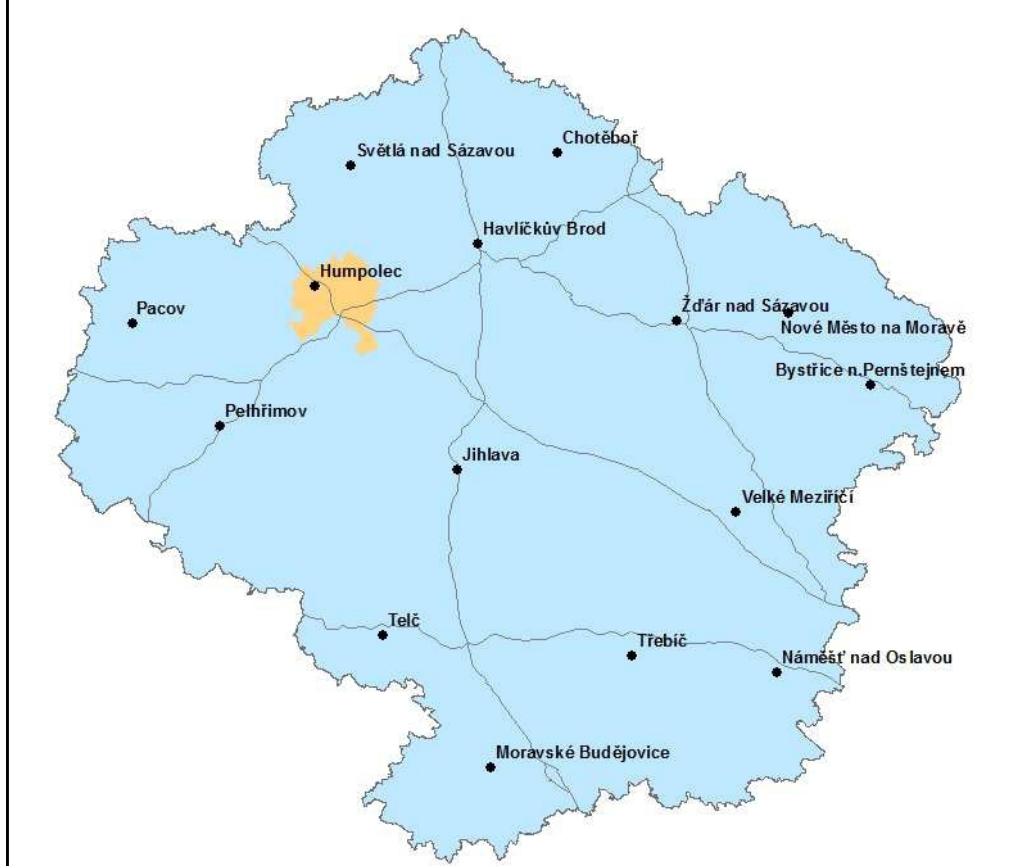
Obrázek 8: Postup zpracování

*Zdroj: Vlastní zpracování dle[48]*

### 6.2 Zájmové území

Pro příkladovou studii byla vybrána část zájmového území obce s rozšířenou působností Humpolec, které leží v severozápadní části kraje Vysočina (Obrázek 9). Toto území bylo vybráno s ohledem na dostupnost a použitelnost dat. Byly vybírány snímky zachycující snímky ČR s nejmenší oblačností. V zájmovém území se nachází jak několik významných krajinných prvků (rybníky, lesy), tak řada sídelních staveb včetně části nejfrekventovanější dálnice v ČR (dálnice D1).

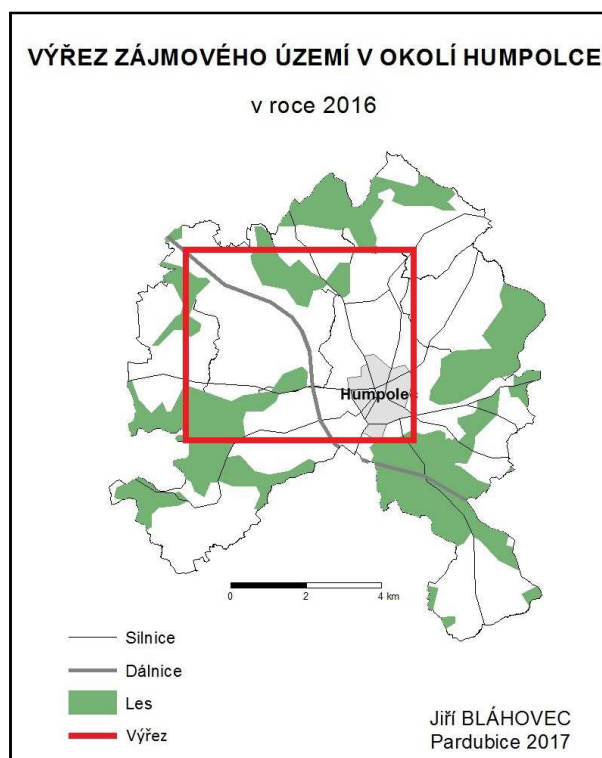
## ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ V RÁMCI KRAJE VYSOČINA v roce 2016



Obrázek 9: Zájmové území pro případovou studii v rámci kraje Vysočina

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Zájmové území zasahuje do katastrálních území celkem pěti obcí – Humpolec, Jiřice, Čejov, Budíkov a Horní Rápotice. Největší obcí je Humpolec s více jak 10 000 obyvateli. Pro příkladovou studii byl vybrán výřez území o velikosti 6600 m × 4530 m (Obrázek 10). Dominantními prvky zájmového území je nejen město Humpolec, jenž leží v jihovýchodní části, ale také dálnice D1, která vede středem zájmového území. Nachází se zde řada lesních porostů, velké množství zemědělské půdy a několik menších vodních ploch. [21]



**Obrázek 10:** Umístění zájmového území.

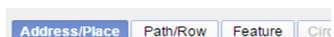
*Zdroj: Vlastní zpracování*

### 6.3 Popis dat

Pro příkladovou studii byly použity družicové snímky z družice Earth Observing 1 (EO-1). Družici EO-1 vypustila na oběžnou dráhu National Aeronautics and Space Administration (NASA) 21. 11. 2000 a je vybavena multispektrálními senzory Advanced Land Imager, hyperspektrálním senzorem Hyperion a LAC (Linear Etalon Imaging Spectrometer Array (LEISA) Atmospheric Corrector). Pro práci byly využity snímky ze senzoru Hyperion, který poskytuje snímky v hyperspektrálním rozlišení. Senzor Hyperion snímá ve 242 spektrálních pásmech širokých v průměru 10 nm s prostorovým rozlišením 30m. Spektrální rozsah senzoru Hyperion je od 356 nm do 2577 nm. Velikost jednotlivých snímků je přibližně 7,5 km × 100 km a snímky jsou pořízeny z výšky 705 km. Senzor Hyperion nemá kalibrovaná veškerá pásma. Z uváděných 242 pásem je kalibrovaných 197 pásem v rozsahu od 427nm do 2395 nm. Některá další kalibrovaná pásma však obsahují velké množství šumu, takže nebyla pro příkladovou studii použita. Celkem bylo pro příkladovou studii využito 175 spektrálních pásem v rozsahu 427-2395 nm. [13], [9]

Data jsou po registraci volně dostupná na internetovém portálu United States Geological Survey (USGS). Pro získání dat byla využita webová aplikace Earth Explorer. Tato aplikace umožňuje velkou variabilitu při vyhledávání různých druhů družicových snímků. Je možné

vybrat zájmové území, pro  
potřeba zobrazit (název dr  
zobrazených snímků, jako  
atd. Pro příkladovou studii  
EO-1 a senzor Hyperion, p  
než 20%. Aplikace zobrazí  
k dispozici 5 snímků, kter  
(Obrázek 11). [12]



**Obrázek 11: Postup získán**

Snímky ze senzoru Hy  
Produkt s označením Lev

provedeny geometrické korekce a není georeferencovaný, tento produkt je dostupný ve formátu HDF. Označení Level 1Gst značí, že snímek je radiometricky opraven, georeferencován a ortorektifikován a je poskytován ve formátu GeoTIFF. Označení Level 1T znamená, že snímek má radiometrické a systematické geometrické korekce zahrnující pozemní řídicí body, které byly použity pro digitální model terénu. Produkt je poskytován ve formátu GeoTIFF. Dále je možné stáhnout data ve formě obrázku v plném rozlišení ve formátu JPEG. Další možností je stažení datového produktu s označením GIS Ready Bundle, což značí, že snímek je možné stáhnout v plném rozlišení ve formátu JPEG s metadaty, které umožňují georeferencování obrázku JPEG v GIS softwarech. Posledním datovým produktem je produkt s označením WMS (Web Mapping Service) On-Demand, který umožňuje přístup webovým mapovým aplikacím ke georeferencovaným datům na USGS WMS serveru, bez nutnosti data stahovat. [39]

Ze zobrazených výsledných snímků v Earth Exploreru byly vybrány dva snímky. První snímek z roku 2010 a druhý snímek z roku 2013. Mezi snímky je časový odstup 3 roky. Snímek z roku 2010 byl pořízen 9. 7. 2010 v 9:44. Druhý snímek, z roku 2013, byl pořízen 8. 9. 2013 v 9:16. Oba tyto snímky zachycují oblast o velikosti přibližně  $7,5 \times 100$  km, která se táhne téměř od rakouských hranic u Jindřichova Hradce, až po oblast mezi městy Heřmanův Městec a Čáslav (Obrázek 12). Na obou snímcích se nachází zájmové území pro tuto práci, část ORP Humpolec.



**Obrázek 12: Umístění družicového snímku**

*Zdroj:[12]*

## **6.4 Zpracování dat**

Získaná data byla zpracována pomocí softwarového nástroje ENVI verze 5.1. Tento software vytvořila společnost Harris Geospatial Solution a nabízí širokou paletu nástrojů pro práci s různými typy geografických dat. Uvedený nástroj byl zvolen z důvodu vyhovujícího vybavení funkcemi, které jsou potřebné z hlediska práce s multispektrálními a hyperspektrálními daty. Dalším nástrojem, který byl využit při zpracování především grafických mapových výstupů, je softwarový nástroj ArcGIS for Desktop verze 10.2.2 od společnosti Esri. Tyto dva softwarové nástroje jsou mezi sebou kompatibilní, takže je možné využívat je společně.

### **6.4.1 Předzpracování dat**

Data byla stažena na úrovni zpracování Level 1Gst, tudíž již byla radiometricky opravena, georeferencována a ortorektifikována. Po nahrání dat do nástroje ENVI bylo nejprve zapotřebí z původního snímku vyříznout zájmové území pro příkladovou studii (Obrázek 13). Ručně byly oba snímky oříznuty. Snímek z roku 2010 má přibližně o 300 m větší šířku

v místě zájmového území než snímek z roku 2013. Následkem tohoto kroku může dojít ke snížení velikosti zpracovávaných dat.

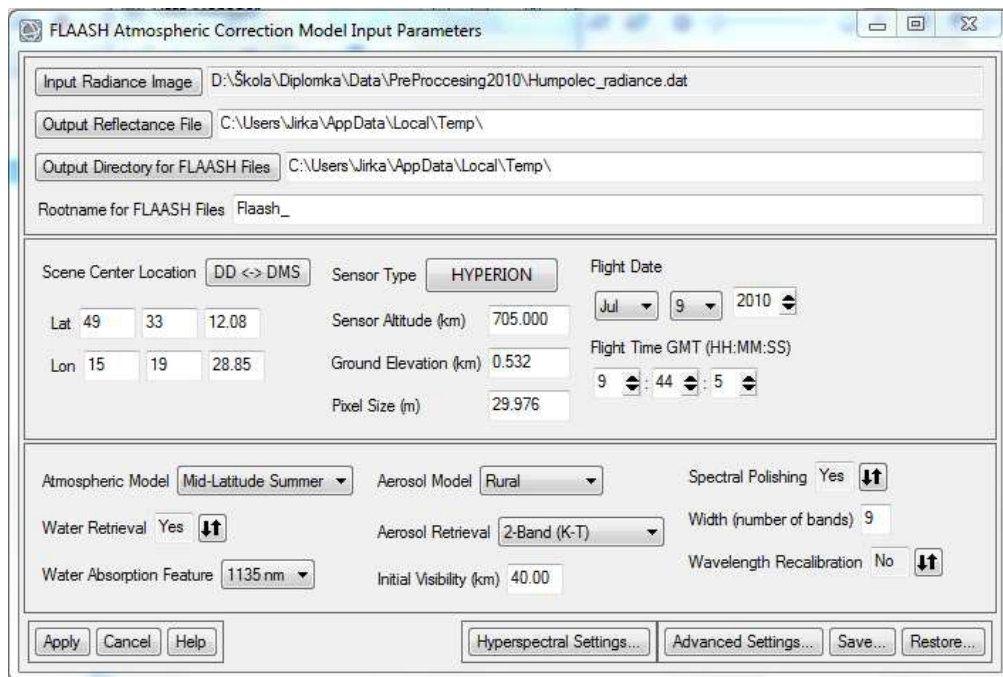


**Obrázek 13: Výřez zájmového území**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Následovalo zpracování obou výřezů zájmového území pomocí radiometrické kalibrace na hodnoty radiance. Tento krok slouží jako příprava dat pro atmosférické korekce. Jak již bylo řečeno v kapitole 6.3, senzor Hyperion nemá kalibrováno všech 242 pásem, a některá další pásma obsahují velké množství šumu, takže jsou pro analýzy nepoužitelná. Zároveň tedy byl omezen počet spektrálních pásem z počtu 242 na 175. Z předzpracování dat zbývalo udělat již pouze atmosférické korekce. ENVI má v nabídce nástroje na atmosférické korekce, které vycházejí z různých principů redukce atmosférických vlivů. Pro snímky byla zvolena atmosférická korekce Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH). Tento nástroj slouží na opravu vlnových délek od viditelného spektra přes blízké infračervené a krátkovlnné infračervené spektrum až do 3  $\mu\text{m}$ . Na obrázku níže (Obrázek 14) je vidět nastavení parametrů pro nástroj FLAASH. Kromě nastavení vstupního a výstupního souboru je zapotřebí nastavit typ senzoru a výšku, ze které byl zemský povrch snímán, mimo jiné i datum a čas pořízení snímku (Obrázek 14). Tyto informace obsahují metadata pro daný snímek.





**Obrázek 14: Atmosférické korekce pomocí FLAASH v softwaru ENVI**

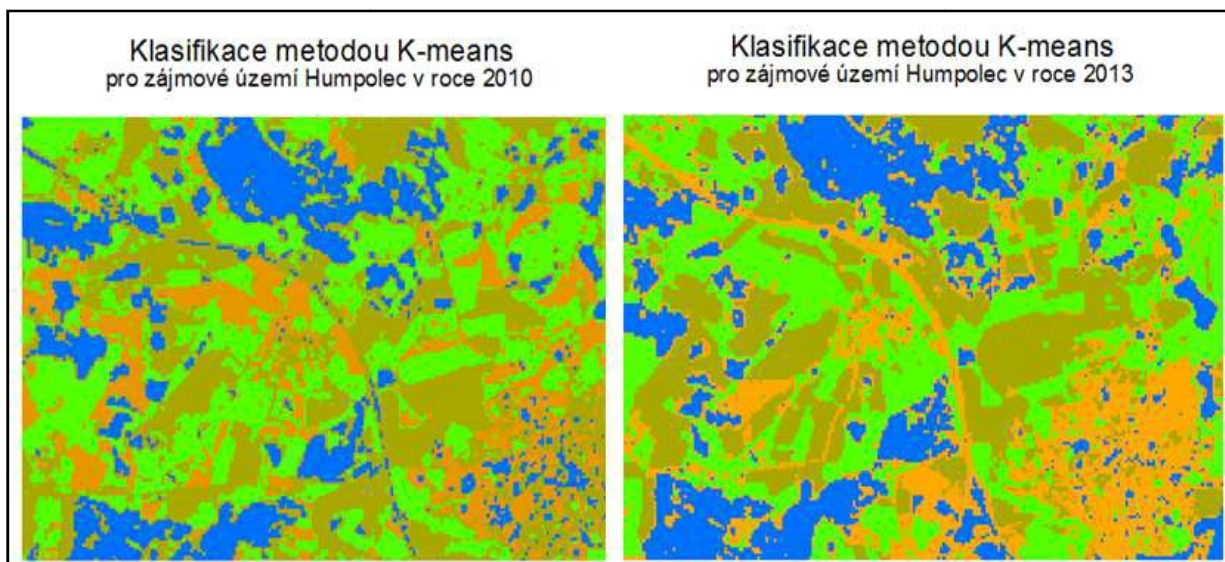
*Zdroj: Vlastní zpracování*

Výstupem po použití nástroje FLAASH je snímek s hodnotami odrazivosti, se kterými je možné dále pracovat. Součástí je také maska snímku odhadnutého množství vodních par a typu oblačnosti. Po dokončení atmosférických korekcí nástrojem FLAASH v softwaru ENVI pro oba snímky zájmového území bylo předzpracování dat dokončeno.

## 6.4.2 Klasifikace

Dalším krokem zpracování dat byla klasifikace obou snímků. Klasifikace snímků zajistí možnost porovnání změn jednotlivých kategorií v časovém rozpětí. Nejdříve byly snímky klasifikovány metodami neřízené klasifikace. Software ENVI umožňuje použít 2 nástroje pro neřízenou klasifikaci. V příkladové studii byly využity oba dva. Prvním nástrojem je neřízená klasifikace pomocí metody K-means. Tato metoda počáteční centroidy jednotlivých tříd rozmístí rovnoměrně v datovém prostoru a seskupí nejbližší pixely do dané třídy pomocí metody minimální vzdálenosti. [20] S každou iterací se přepočítá poloha centroidu u jednotlivých tříd a znovu probíhá seskupování do třídy pomocí metody minimální vzdálenosti. Všechny pixely jsou zařazeny do tříd, pouze v případě, že je určena směrodatná odchylka nebo práh, tak pixely, které nesplňují kritéria, nemusí být klasifikovány. Tento proces pokračuje do té doby, dokud počet změněných pixelů v každé třídě neklesne pod prahovou hodnotu, nebo dokud se nedosáhne maximálního počtu iterací.



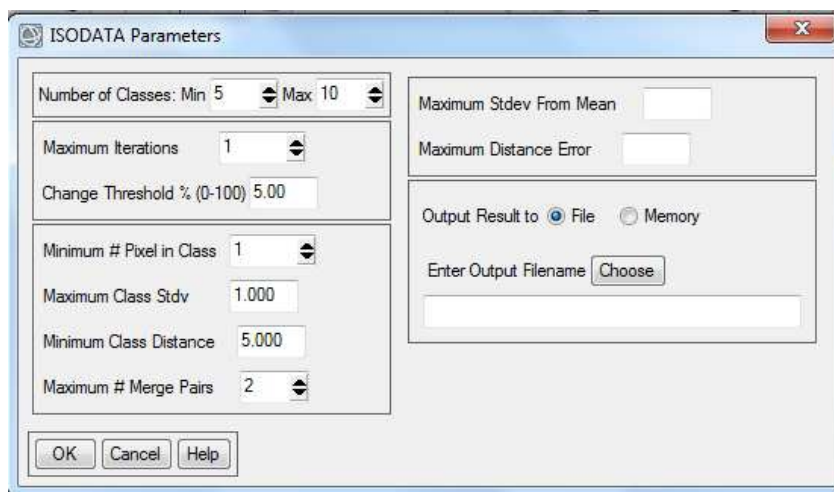


**Obrázek 15: Výsledky neřízené klasifikace nástrojem K-means**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Při neřízené klasifikaci bylo potřeba na začátku pouze určit počet tříd, do kolika se mají jednotlivé pixely rozdělit. Ve výsledku jsou oba snímky klasifikovány do čtyř tříd. Na obou snímcích jsou zřetelné podobnosti. Možným problémem, se kterým se lze u této klasifikace setkat, je její případná nepřesnost. Na snímku z roku 2013 je jasně zřetelná klasifikace zástavby oranžovou barvou, i přes to ve výsledném snímku tento druh klasifikace neodpovídá rozložení krajinných prvků v původním snímku. Na snímku z roku 2010 je vidět horší výsledky, co se týká zástavby (oranžová barva). Za největší nedostatek považuji neschopnost klasifikace vodních ploch do samostatné třídy. Na obou snímcích jsou vodní plochy zařazeny do jedné kategorie spolu s lesními porosty.

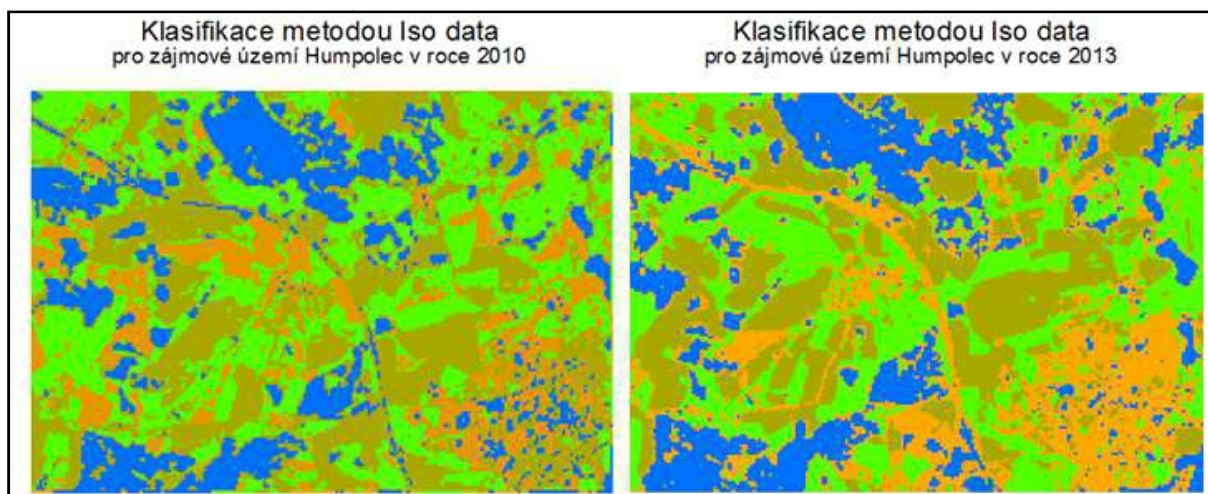
Z důvodu možnosti porovnání byly snímky klasifikovány i druhým nástrojem neřízené klasifikace, který software ENVI nabízí. Tato klasifikace využívá metody ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Techniques). Využívá opět metody minimálních vzdáleností a dochází ke spojování i rozdělování shluků na základě vstupních parametrů, jako například očekávaný počet tříd (je možné zadat rozmezí) nebo maximální počet iterací.(Obrázek 16). [20]



**Obrázek 16: Možnosti nastavení vstupních parametrů u nástroje ISODATA**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Výsledky neřízené klasifikace nástrojem ISODATA jsou téměř stejné jako u nástroje K-means (Obrázek 17).



**Obrázek 17: Výsledky neřízené klasifikace nástrojem ISODATA**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Pro neuspokojivé výsledky neřízené klasifikace zájmového území byly snímky dále klasifikovány pomocí řízené klasifikace. Pro řízenou klasifikaci, jak již bylo zmíněno v kapitole 2.3, je nutná určitá znalost daného území a následné vytvoření trénovacích ploch. V softwaru ENVI se k tomu využívá nástroj Region Of Interest (ROI). Díky tomuto nástroji si lze nadefinovat trénovací plochy pro všechny požadované třídy. V rámci příkladové studie se budou snímky klasifikovat do 4 tříd – voda, holá půda, vegetace, zástavba. Z důvodu nutnosti znalosti zájmového území, bylo zapotřebí při vytváření trénovacích ploch porovnávat družicový snímek zájmového území nejen v přirozených barvách, ale také v nepřirozených



barvách (Obrázek 18) a zároveň také byl družicový snímek vizuálně porovnáván s mapovými podklady na serveru Google maps a Mapy.cz. Toho bylo využito především při vytváření trénovacích ploch pro třídu voda. Díky tomu bylo možné dobře nadefinovat trénovací plochy jednotlivých tříd, od nichž se dále odvíjí přesnost následné klasifikace.



**Obrázek 18: Zájmové území v přirozených barvách (vlevo) a v nepřirozených barvách (vpravo)**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Trénovací plochy byly nadefinovány minimálně na třech místech pro každou třídu. Výsledné trénovací plochy pro snímek z roku 2010 je vidět na obrázku níže (Obrázek 19).



**Obrázek 19: Trénovací plochy jednotlivých tříd pro snímek z roku 2010**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

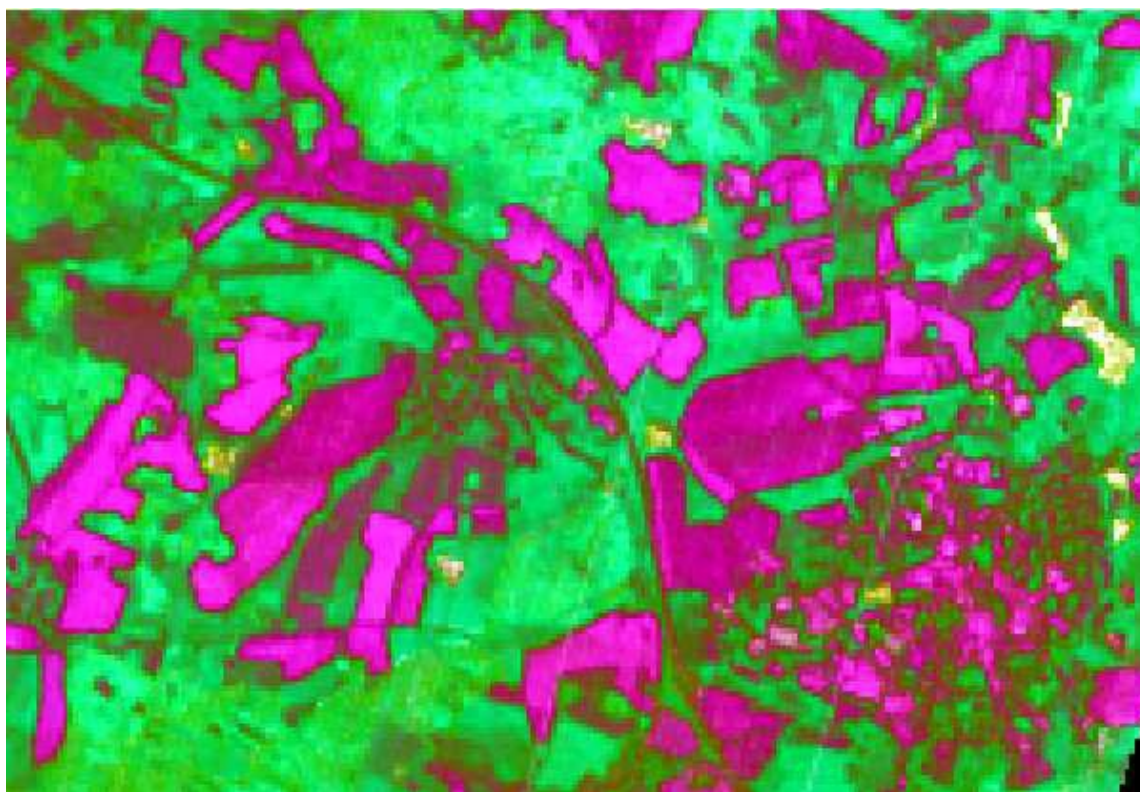
Zelená barva zastupuje trénovací plochy pro třídu Vegetace, modrá barva pro třídu Voda, žlutá barva pro třídu Zástavba a hnědá barva pro třídu Holá půda. Definování trénovacích ploch pro snímek z roku 2013 probíhalo stejným způsobem.

Následně byla provedena na obou snímcích řízená klasifikace dvěma různými metodami. První použitou řízenou klasifikací byla klasifikace využívající metody Minimum Distance

Classification. Tato metoda využívá průměr vektoru každé třídy a vypočítává euklidovskou vzdálenost každého nezařazeného pixelu k průměrnému vektoru každé třídy. Metoda zařadí všechny pixely do nejbližší třídy, pokud není zadána prahová vzdálenost nebo odchylka, v tom případě pixely, které nespĺňují kritéria, nebudou klasifikovány. Tento jednoduchý klasifikátor má ale svá omezení.

Druhým použitým typem klasifikace je klasifikace s využitím metody Mahalanobis Distance Classification. Tato metoda předpokládá rovnost kovariancí všech tříd. Jednoduchý klasifikátor minimální vzdálenosti má určitá omezení, především pokud mají data vysokou korelaci. Díky tomu je klasifikace Mahalanobisovou vzdáleností rychlá a zachovává určitý stupeň citlivosti skrze kovarianční matici. Všechny pixely na snímku jsou klasifikovány, výjimku tvoří pixely, které nespĺňují případně zadané prahové kritérium.

U klasifikace metodou Mahalanobisovi vzdálenosti a u řady dalších nástrojů, které má ENVI v nabídce, je možné při nastavování vstupních parametrů vytvořit obraz pravidel použitých pro klasifikaci snímku. Tím se vytvoří obraz mezivýsledků před finálním rozřazením do tříd a je možné tento obraz využít u další případně klasifikace bez nutnosti kompletního přepočtu (Obrázek 20).

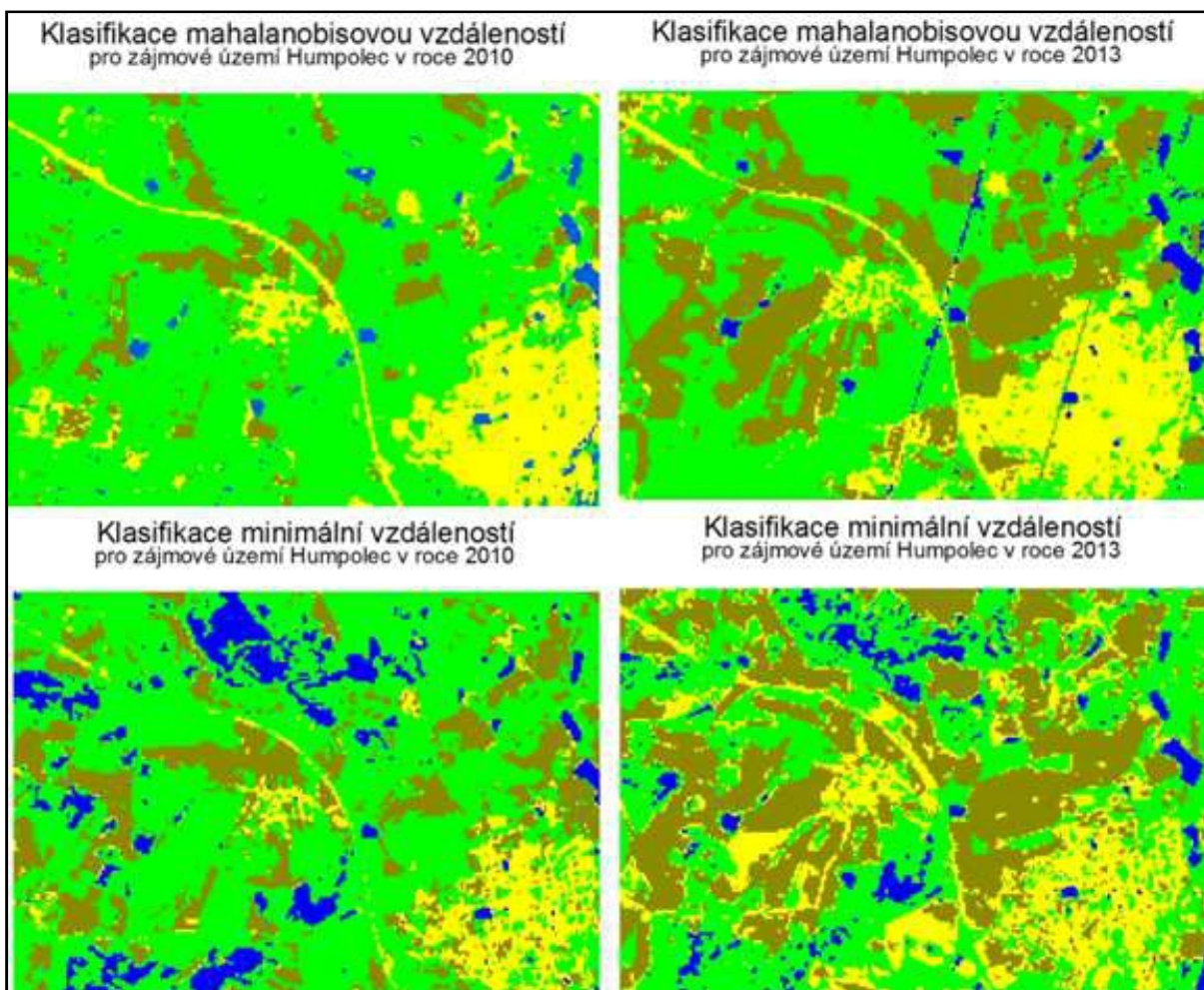


**Obrázek 20: Příklad snímku pravidel řízené klasifikace pomocí nástroje Spectral Angle Mapper**

*Zdroj: Vlastní zpracování*



Na obrázku níže (Obrázek 21) je zobrazeno porovnání výsledků řízené klasifikace metodami Minimum Distance a Mahalanobis Distance pro snímek z roku 2010 a z roku 2013. Vizuálním porovnáním je vidět, že lepších výsledků dosahuje metoda klasifikace Mahalanobisovou vzdáleností.



**Obrázek 21: Porovnání výsledků řízené klasifikace**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Po vizuálním vyhodnocení je tedy zřejmé, že nejlepších výsledků z testovaných klasifikací dosáhla metoda klasifikace Mahalanobisovou vzdáleností. Pro ověření výsledků byla vygenerována klasifikační chybová matice, která porovnává pro všechny třídy výsledky klasifikace s referenčními daty. Matice má tolik řádků a sloupců podle toho, kolik je tříd. Data, která jsou klasifikována správně, jsou zobrazena na hlavní diagonále matice, všechny ostatní hodnoty jsou chyby, které se v klasifikaci vyskytly. Dalším ukazatelem přesnosti je uživatelská a zpracovatelská přesnost, které jsou také součástí klasifikační chybové matice. Součástí klasifikační chybové matice v ENVI je i Kappa koeficient. [29] Tento koeficient pomáhá určit přesnost klasifikace. Jsou to hodnoty, které porovnávají klasifikaci podle

určitého pravidla s klasifikací, kde jsou pixely zařazovány náhodným hodnotu koeficientu určuje, s jakou přesností jsou výsledky klasifikace. Oproti tomu, kdyby se pixely rozdělovali náhodně. [10] V tomto případě z roku 2010 je hodnota kappa koeficientu 0,9993, tedy při této klasifikaci by bylo velmi málo chybám, ke kterým by došlo při zcela náhodném zařazení pixelů (Obrázek 22). U snímku z roku 2013, je hodnota kappa koeficientu 0,9925.

2010						2013					
Overall Accuracy = (2493/2494) 99.9599%						Overall Accuracy = (2719/2733) 99.4877%					
Kappa Coefficient = 0.9993						Kappa Coefficient = 0.9925					
Ground Truth (Pixels)						Ground Truth (Pixels)					
Class	Voda_train201	Holá_půda_tra	Vegetace_tra	Zástavba_tra	Total	Class	Voda_train201	holá_půda_tra	Vegetace_tra	Zástavba_tra	Total
Unclassified	0	0	0	0	0	Unclassified	0	0	0	0	0
Voda_train201	210	0	0	0	210	Voda_train201	237	0	0	0	237
Holá_půda_tra	0	322	0	0	322	holá_půda_tra	0	1048	0	0	1048
Vegetace_tra	1	0	1415	0	1416	Vegetace_tra	6	0	0	0	6
Zástavba_tra	0	0	0	546	546	Zástavba_tra	0	0	0	0	0
Total	211	322	1415	546	2494	Total	243	1048	0	0	1291
Ground Truth (Percent)						Ground Truth (Percent)					
Class	Voda_train201	Holá_půda_tra	Vegetace_tra	Zástavba_tra	Total	Class	Voda_train201	holá_půda_tra	Vegetace_tra	Zástavba_tra	Total
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Voda_train201	99.53	0.00	0.00	0.00	8.42	Voda_train201	97.53	0.00	0.00	0.00	8.42
Holá_půda_tra	0.00	100.00	0.00	0.00	12.91	holá_půda_tra	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
Vegetace_tra	0.47	0.00	100.00	0.00	56.78	Vegetace_tra	2.47	0.00	0.00	0.00	21.89
Zástavba_tra	0.00	0.00	0.00	100.00	21.89	Zástavba_tra	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Commission (Percent)						Commission (Percent)					
Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)		Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)	
Voda_train201	0.00	0.47	0/210	1/211		Voda_train201	0.00	2.47	0/237	0/237	
Holá_půda_tra	0.00	0.00	0/322	0/322		holá_půda_tra	0.00	0.00	0/1048	0/1048	
Vegetace_tra	0.07	0.00	1/1416	0/1415		Vegetace_tra	1.37	0.00	6/1416	0/1415	
Zástavba_tra	0.00	0.00	0/546	0/546		Zástavba_tra	0.00	1.83	0/0	0/0	
Prod. Acc. (Percent)						User Acc. (Percent)					
Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)				Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)			
Voda_train201	99.53	100.00				Voda_train201	97.53	100.00			
Holá_půda_tra	100.00	100.00				holá_půda_tra	100.00	100.00			
Vegetace_tra	100.00	99.93				Vegetace_tra	100.00	99.93			
Zástavba_tra	100.00	100.00				Zástavba_tra	100.00	100.00			

Obrázek 22: Klasifikační chybové matice pro jednotlivé snímky

Zd

### 6.4.3 Detekce změn

Po klasifikaci obou snímků byly detekovány změny. Prvním způsobem bylo porovnání obou snímků, kde na první pohled byly vidět změny především v třídách vegetace a holé půdy, nejmenší změny pak nastaly u třídy voda. Pro detekci změn byl použit nástroj pro detekci změn Change detection statistic (Obrázek 23). Tento nástroj umožnil porovnat oba klasifikované snímky. Tento nástroj umožňuje z hlediska počtu pixelů, procentuálního vyjádření změny nebo změny v

		Initial State					
		Voda_train2010	Holá_půda_train2010	Vegetace_train_2010	Zástavba_train2010	Row Total	Class Total
Final State	Unclassified	0	0	0	0	0	0
	Voda_train2013	68	98	417	183	766	766
	holá_půda_train2013	215	1093	7833	692	9833	9833
	Vegetace_train2013	372	1563	13050	1462	16447	16447
	Zástavba_train2013	103	250	2600	2851	5804	5804
	Class Total	758	3004	23900	5188		
	Class Changes	690	1911	10850	2337		
	Image Difference	8	6829	-7453	616		

**Obrázek 23: Nástroj pro detekci změn v ENVI 5.1**

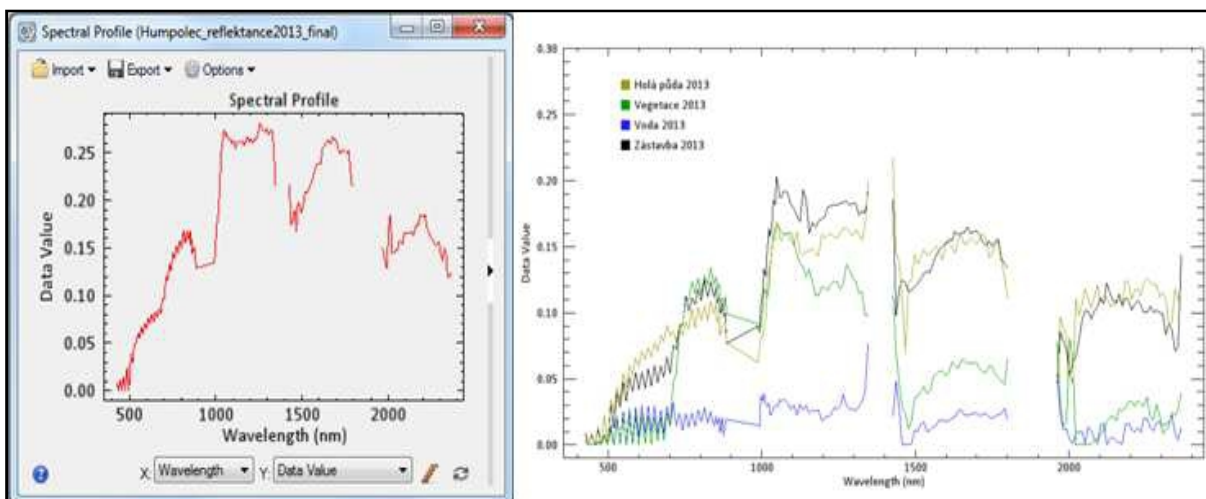
*Zdroj: Vlastní zpracování*

Je zde zřetelně vidět úbytek ve třídě vegetace a přírůstek především ve třídě holá půda. Tyto výsledky lze interpretovat jako sezónní změny, jelikož snímek z roku 2010 je pořízen v červenci a snímek z roku 2013 v září. Pro klasifikaci bylo použito 175 spektrálních pásem, díky tomu je možné dosáhnout lepších výsledků klasifikace než s menším počtem pásem. Další možností je využití pouze některých spektrálních pásem při klasifikaci.

#### **6.4.4 Využití hyperspektrální analýzy snímků**

Pro práci s hyperspektrálními snímky nabízí software ENVI velmi širokou paletu nástrojů. Počínaje jednoduchými nástroji pro jednotlivé operace s daty až po komplexní nástroje. V této práci byly využity nejprve jednotlivé nástroje a následně i komplexní nástroje.

Nejdříve byla vytvořena vlastní spektrální knihovna. K vytvoření spektrální knihovny je možné použít několik různých způsobů. První možností je zobrazení spektrální křivky pro daný pixel ve snímku. Zobrazenou spektrální křivku lze vyexportovat jako samostatnou spektrální knihovnu. Po vyexportování všech křivek vybraných pro vytvoření spektrální knihovny lze tyto jednotlivé křivky otevřít v prohlížeči spektrálních knihoven a zobrazit je současně v jednom grafu. Je možné přidat i další křivky spektrální odrazivosti, například z externí spektrální knihovny, či ze spektrální knihovny integrované v ENVI. Toto zobrazení pak následně vyexportovat znovu jako spektrální knihovnu, která má tentokrát již několik spektrálních křivek (Obrázek 24).

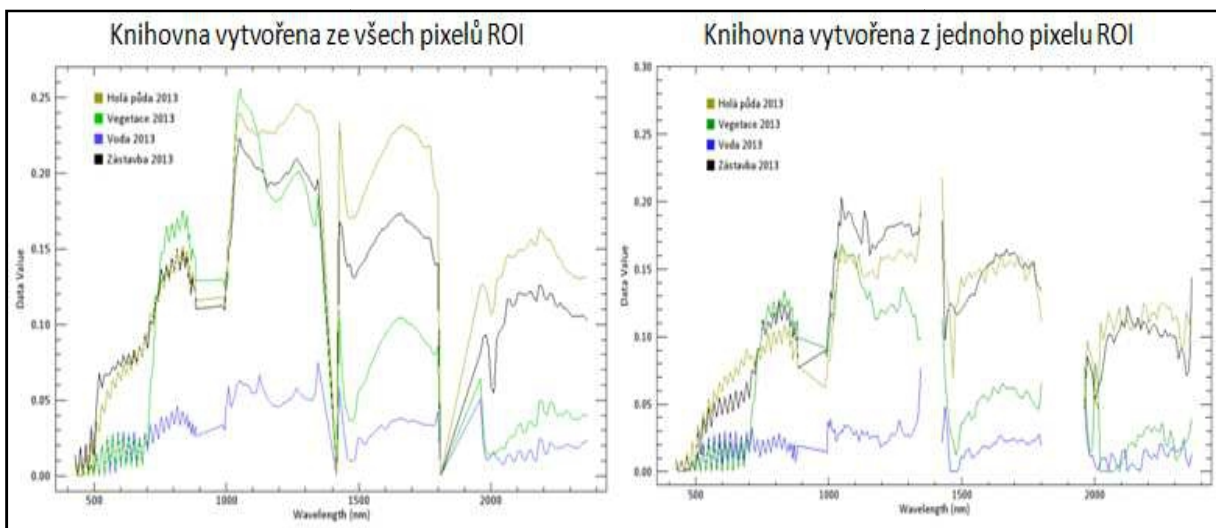


**Obrázek 24:** Zleva příklad spektrální křivky jednoho pixelu na snímku a výsledná kombinace křivek ve spektrální knihovně

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Dalším způsobem je využití nástroje Spectral Library Builder. Tento nástroj umožňuje vytvoření spektrální knihovny z datového souboru, ASCII souboru nebo prvního vstupního spektra. V práci byla využita tvorba knihovny z datového souboru, kterým v našem případě je snímek. Jako vstupní data pro vytvoření jednotlivých křivek posloužili regiony zájmu (ROI), které byly vytvořeny jako trénovací plochy pro klasifikaci. Tímto způsobem byla získána spektrální knihovna, která obsahuje křivky spektrální odrazivosti čtyř tříd. Tyto křivky spektrální odrazivosti nejsou již pouze pro jeden pixel, ale pro všechny pixely z daného regionu zájmu. Na obrázku níže je vidět porovnání vytvořených spektrálních knihoven. Je možno pozorovat rozdíl mezi vytvořenými spektrálními knihovnami (Obrázek 25). Pro další analýzy byla vytvořena i spektrální knihovna snímku z roku 2010, také pomocí nástroje Spectral Library Builder. Pro následné analýzy byly využity knihovny vytvořené tímto nástrojem.



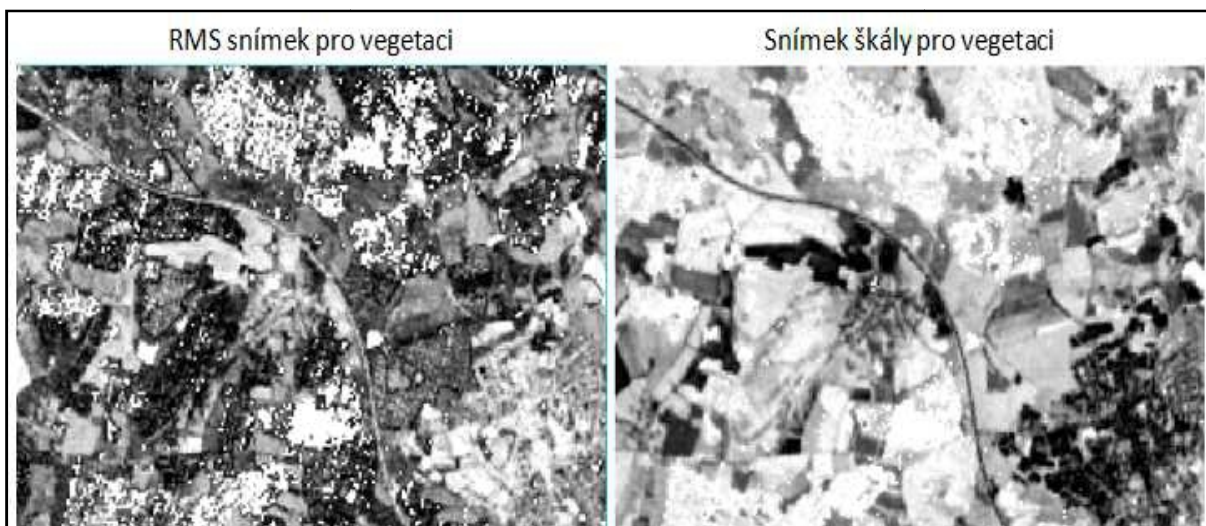


**Obrázek 25: Rozdíl mezi vytvořenými spektrálními knihovnami**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Další možností vytvoření vlastní spektrální knihovny je možnost využití nástroje THOR Spectral Library Builder. Tento nástroj umožňuje vytvoření spektrální knihovny ve formátu Metadata Rich Spectral Library (MRS�) z různých zdrojů. Formát MRS� zahrnuje spektra s proměnným rozsahem a variabilním rozlišením s metadaty a je specifický pro nástroj THOR. [20]

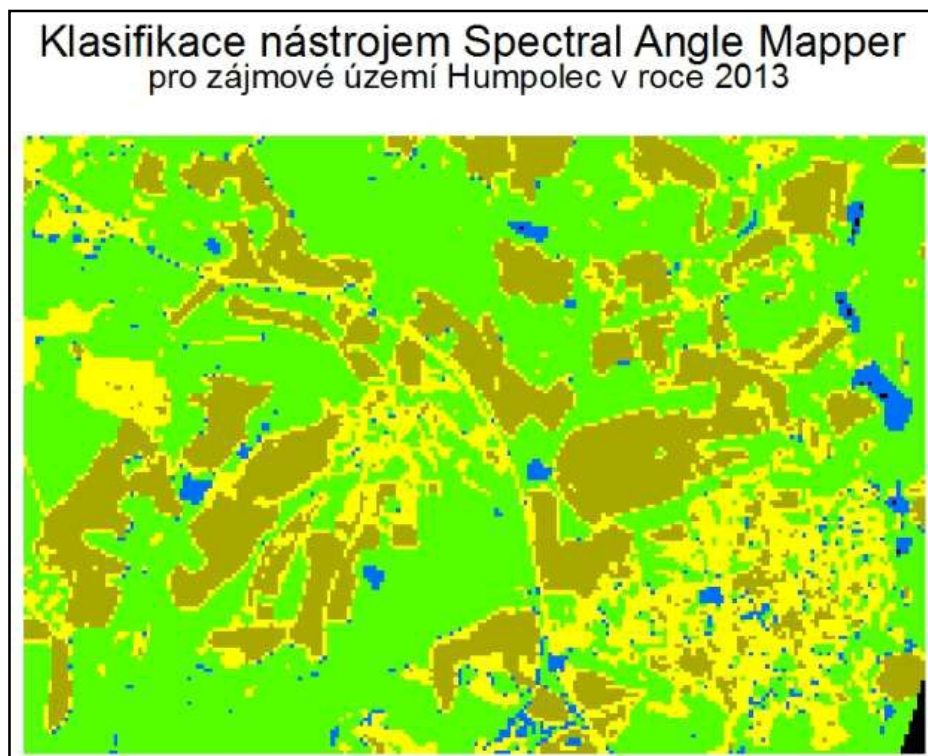
Po vytvoření knihoven je možné danou knihovnu využít pro mapování snímku. Jednou z možností je ruční porovnávání spektrálních charakteristik pixelů snímku se spektrálními charakteristikami uloženými v knihovně. Další možností je využití některých k tomu určených nástrojů v nabídce ENVI. Pro názornou ukázkou byl zvolen nástroj Spectral Feature Fitting. Tento nástroj porovnává spektrální křivky obrazu s referenčními spektrálními křivkami metodou nejmenších čtverců. Před použitím nástroje Spectral Feature Fitting je potřeba upravit vstupní data aby bylo možné je porovnávat. K tomu slouží nástroj Continuum Removal, který normalizuje odrazivost jednotlivých spektrálních křivek, aby bylo možné porovnávat jednotlivé absorpční vlastnosti ze společné základny. Výsledný obraz z nástroje Spectral Feature Fitting je měřítkem hloubky absorpce v závislosti na množství materiálu. Výstupem jsou 2 snímky ve stupních šedi pro každou vstupní spektrální křivku. Jeden snímek zobrazuje střední kvadratickou odchylku (RMS) a druhý škálu shody spektra. Jasnější body u škálového snímku značí lepší shodu s referenčním materiálem (Obrázek 26).



**Obrázek 26: Příklad výstupních snímků z nástroje Spectral Feature Fitting**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Vytvořené spektrální knihovny byly také využity pro řízenou klasifikaci obou snímků. Pro klasifikaci byly použity dva nástroje. Prvním typem klasifikace bylo metodou Spectral Angle Mapper Classification (Obrázek 27). Tato metoda je založena na spektrální klasifikaci, kde pracuje s odrazivostí každého pixelu. Algoritmus určuje spektrální podobnosti mezi spektrem zkoumaného pixelu a spektrem, které je použito jako referenční, výpočtem úhlu mezi spektry. Algoritmus zachází s odrazivostí jako s vektory, jejichž n-dimenzionální rozměr je roven počtu spektrálních pásem. Délka vektoru udává jas pixelu a spektrální charakteristika je reprezentována směrem vektoru. Výsledný klasifikovaný snímek popisuje nejlepší srovnání. Spectral Angle Mapper může koncová spektra brát kromě spektrální knihovny například i přímo ze snímku, respektive z ROI. Pro klasifikaci, jako referenční hodnoty pro porovnávání, byla využita vytvořená spektrální knihovna. [20]



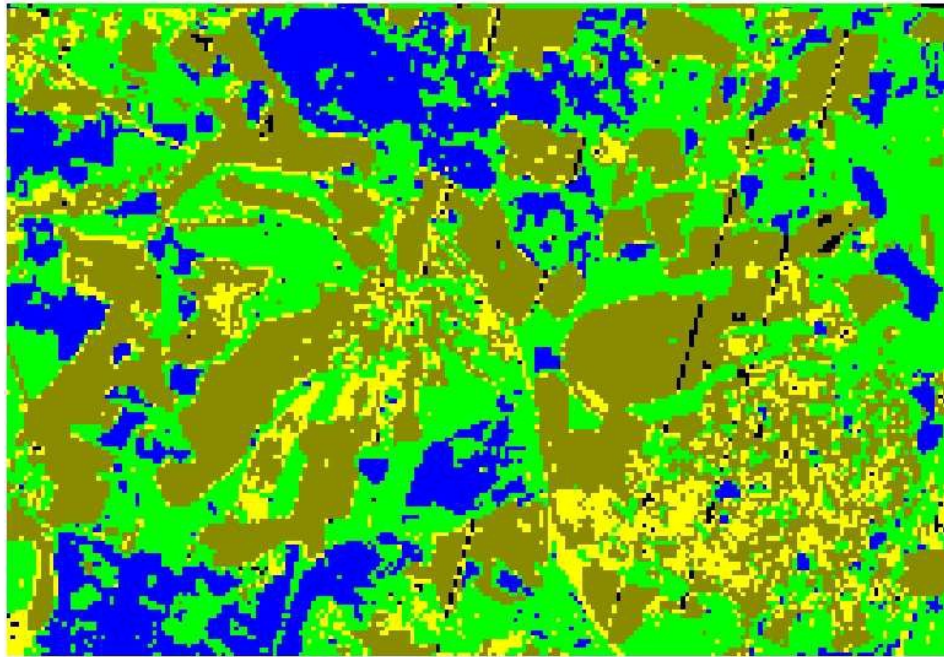
**Obrázek 27: Výsledný snímek po klasifikaci nástrojem SAM**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Jako druhá metoda byla použita Parallelepiped Clasification (Obrázek 28). Tento klasifikátor používá jednoduché pravidlo pro klasifikaci multispektrálních dat. Klasifikátor vytváří obdélníkovou oblast uvnitř prostoru snímku na základě minimálních či maximálních hodnot odrazivosti nebo na základě směrodatné odchylky odrazivosti. Pokud pixel spadá do rozmezí prahových hodnot, je přiřazen k této třídě. Tento typ klasifikace však může mít zkreslené výsledky, to souvisí se silnou korelací hyperspektrálních dat a také vytvořená obdélníková oblast pro třídu bývá příliš široká a zahrnuje i pixely, které by měli patřit do jiné třídy. U této klasifikace dochází často k překrývání obdélníkových oblastí a pixely, které leží v tomto průniku, jsou klasifikátorem v ENVI zařazeny do poslední třídy, dle pořadí, ve kterém byla zjištěna možná shoda. [20], [10]



## Klasifikace nástrojem Parallelepiped Classification pro zájmové území Humpolec v roce 2013



**Obrázek 28:** Výsledná snímek po klasifikace nástrojem Parallelepiped

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Vizuálním porovnáním je vidět lepší výsledky klasifikace metodou Spectral Angle Mapper. U metody Parallelepiped je vidět, že vodní plochy jsou klasifikovány v jedné třídě společně s lesními porosty. Pro oba výsledné snímky vytvořené metodou Spectral Angle Mapper byly vytvořeny klasifikační chybové matice (Obrázek 29).

2010					2013						
Overall Accuracy = (2000/2494) 80.1925%					Overall Accuracy = (2552/2733) 93.3772%						
Kappa Coefficient = 0.6742					Kappa Coefficient = 0.9018						
Ground Truth (Pixels)					Ground Truth (Pixels)						
Class	Voda_train2010	Holá_půda_tra	Vegetace_tra	Zástavba_tra	Total	Class	Voda_train2013	holá_půda_tra	Vegetace_tra	Zástavba_tra	Total
Unclassified	2	0	0	0	2	Unclassified	0	0	0	0	0
Voda 2010	167	83	32	5	287	Voda 2013	207	0	2	0	209
Holá půda 201	5	81	1	171	258	Holá půda 201	0	1023	0	101	1124
Vegetace 2010	95	0	1382	0	1417	Vegetace 2013	27	0	1003	17	1047
Zástavba 2010	2	158	0	370	530	Zástavba 2013	1	25	0	319	345
Total	211	322	1415	546	2494	Total	243	1048	1005	437	2733
Ground Truth (Percent)					Ground Truth (Percent)						
Class	Voda_train2010	Holá_půda_tra	Vegetace_tra	Zástavba_tra	Total	Class	Voda_train2013	holá_půda_tra	Vegetace_tra	Zástavba_tra	Total
Unclassified	0.95	0.00	0.00	0.00	0.08	Unclassified	3.29	0.00	0.00	0.00	0.26
Voda 2010	79.15	25.78	2.26	0.92	11.51	Voda 2013	85.19	0.00	0.20	0.00	7.65
Holá půda 201	2.37	25.16	0.07	31.32	10.34	Holá půda 201	0.00	97.61	0.00	23.11	41.13
Vegetace 2010	16.59	0.00	97.67	0.00	58.82	Vegetace 2013	11.11	0.00	98.80	3.89	38.31
Zástavba 2010	0.95	49.07	0.00	67.77	21.25	Zástavba 2013	0.41	2.39	0.00	73.00	12.62
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)	Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)		
Voda 2010	41.81	20.95	120/287	44/211	Voda 2013	0.96	14.81	2/209	36/243		
Holá půda 201	68.60	74.84	177/258	241/322	Holá půda 201	0.99	101/1124	25/1048	38/31		
Vegetace 2010	2.47	2.33	35/1417	176/546	Vegetace 2013	4.20	44/1047	2/1005	118/437		
Zástavba 2010	30.19	32.23	160/530	176/546	Zástavba 2013	7.54	26/345	2/1005	118/437		
Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)	Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)		
Voda 2010	79.15	58.19	157/211	157/287	Voda 2013	85.19	99.04	207/243	207/209		
Holá půda 201	25.16	31.40	81/322	81/258	Holá půda 201	97.61	91.01	1023/1048	1023/1124		
Vegetace 2010	97.67	97.53	1382/1415	1382/1417	Vegetace 2013	99.80	95.80	1003/1005	1003/1047		
Zástavba 2010	67.77	69.81	370/546	370/530	Zástavba 2013	73.00	92.46	319/437	319/345		

**Obrázek 29:** Klasifikační chybové matice pro SAM

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Z klasifikačních chybových matic je patrné, že klasifikace snímku z roku 2010 dopadla hůře než klasifikace snímku z roku 2013. Celková přesnost klasifikace snímku z roku 2010 je 80,1925% s kappa koeficientem rovnajícím se hodnotě 0,6742. Naproti tomu klasifikace snímku z roku 2013 byla uskutečněna s přesností 93,3772% a s hodnotou kappa koeficientu rovnajícím se hodnotě 0,9018. Pro následnou detekci změn byl opět využit nástroj z nabídky ENVI – Change detection statistic. Na obrázku níže (Obrázek 30) je vidět hodnoty detekovaných změn v pixelech. Je zde vidět výrazný rozdíl ve třídě Vegetace, kde došlo k úbytku.

		Initial State				Row Total	Class Total
		Voda 2010	Holá půda 2010	Vegetace 2010	Zástavba 2010		
Final State	Unclassified	7	11	31	0	49	50
	Voda 2013	136	237	431	81	885	886
	Holá půda 2013	1026	1163	5227	214	7630	7631
	Vegetace 2013	1773	2811	12038	639	17261	17262
	Zástavba 2013	842	1775	3695	709	7021	7021
	Class Total	3784	5997	21422	1643		
	Class Changes	3648	4834	9384	934		
	Image Difference	-2898	1634	-4160	5378		

**Obrázek 30: Detekce změn pro snímky využívající hyperspektrální knihovny.**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Na závěr příkladové studie byla data zpracována nástrojem THOR (Tactical Hyperspectral Operations Source). Tento nástroj se řadí mezi komplexní nástroje z nabídky ENVI, který slouží pro zpracování hyperspektrálních snímků. THOR poskytuje řadu integrovaných funkcí, počínaje atmosférickými korekcemi, přes detekci anomálií a změn, až po detekci cílového spektra. Toto je pravděpodobně jeden z nejjednodušších způsobů na zpracování hyperspektrálních snímků. Pro příkladovou studii byl použit konkrétně nástroj THOR Change Detection. Zde je možné na snímku provést nejprve atmosférické korekce, a následně zvolit metody, kterými budou snímky zpracovány. Výstupní snímek pak zahrnuje změny, které proběhli mezi snímky v určitém časovém rozestupu. Červeně vyznačené oblasti na snímku značí oblasti, kde byly detekovány změny. Detekované změny mohou být následně vyexportovány do formátu ROI, nebo například i shapefile (Obrázek 31). Podmínkou vstupních dat pro tento nástroj je, aby oba snímky měli shodný počet spektrálních pásem, minimálně musí mít snímek 2 pásma.



**Obrázek 31: Výstupní snímek z nástroje THOR Change Detection**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

## 7 DISKUZE A INTERPRETACE VÝSLEDKŮ

Tato diplomová práce se zabývá využitím knihoven spektrálních křivek pro detekci změn v krajině. Na počátku příkladové studie bylo podstatné zajistit vhodná vstupní data, která by mohla být využita pro následné analýzy. Snímky musely být pořízeny v hyperspektrálním režimu. Snímků zachycujících území ČR není velké množství. Je zapotřebí, aby stejné území bylo nasnímáno v různých časových horizontech a co s nejmenší oblačností, která by mohla ovlivňovat výsledky. To splňovali 2 snímky, ze kterých bylo vyříznuto zájmové území Humpolecko. Snímky nejsou pořízeny ve stejných ročních obdobích, díky tomu mohou být výsledky klasifikace ovlivněny.

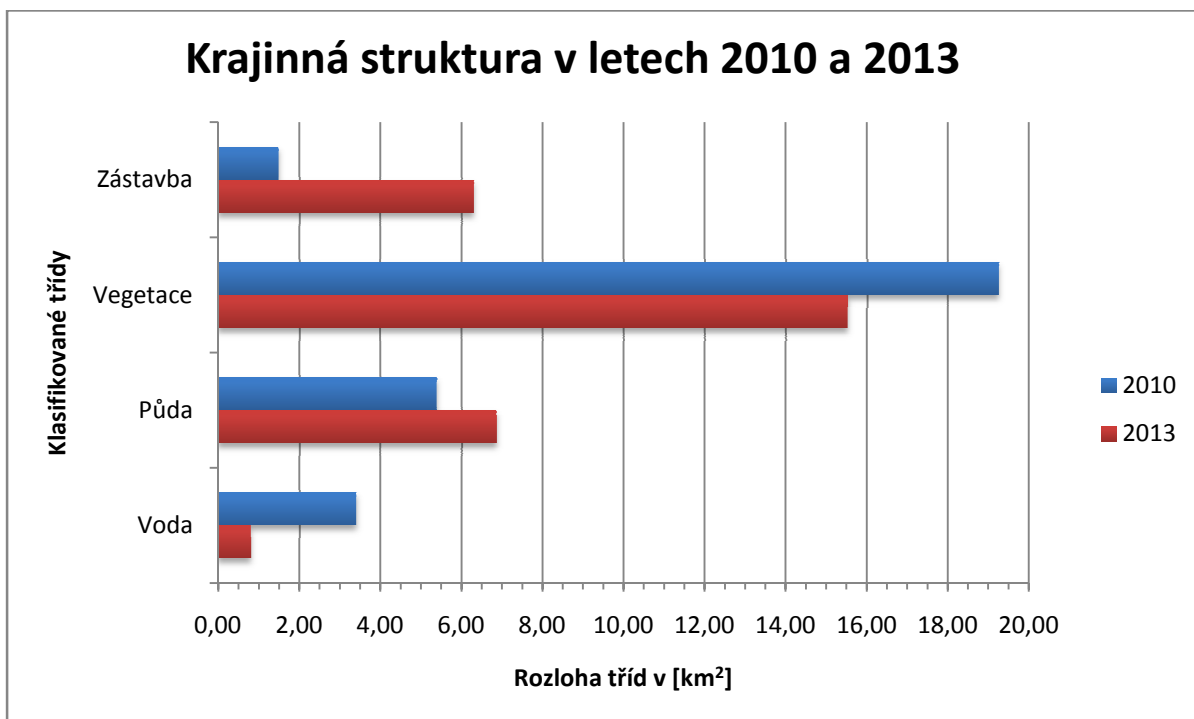
Pro detekci změn v krajině byly vytvořeny spektrální knihovny z trénovacích ploch, které sloužily i pro řízenou klasifikaci snímků. Tyto knihovny byly využity pro porovnávání křivek spektrálních odrazivostí ze snímku při klasifikaci metodou Spectral Angle Mapper a Parallelepiped Classification. Vizualním porovnáním bylo lepších výsledků dosaženo metodou Spectral Angle Mapper a pro tuto metodu byla vygenerována klasifikační chybová matice s Kappa koeficientem. Celková přesnost klasifikace u této metody byla 80,2% u snímku z roku 2010 a 93,4% u snímku z roku 2013.

Detekce změn vycházela z výsledků metody Spectral Angle Mapper. Změny byly detekovány na základě změny rozlohy jednotlivých klasifikovaných tříd. V tabulce níže (Tabulka 1) lze vidět rozlohy jednotlivých tříd v obou sledovaných letech.

Rok	2010	2013
Voda	3,40	0,80
Půda	5,39	6,86
Vegetace	19,26	15,52
Zástavba	1,48	6,31

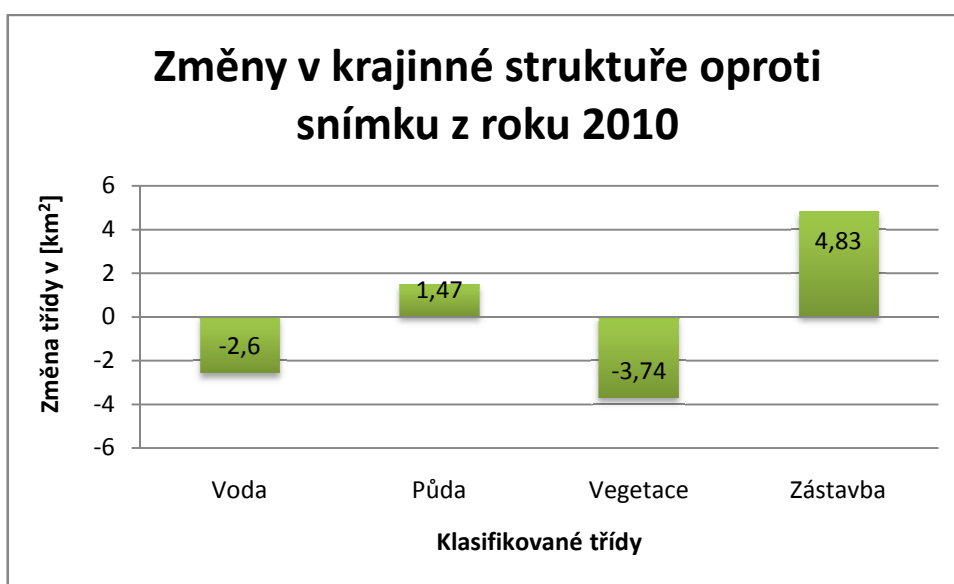
**Tabulka 1: Krajinná struktura pro zájmové území Humpolecko v letech 2010 a 2013 v [km<sup>2</sup>]**

Získané hodnoty rozloh jednotlivých tříd přehledně shrnuje Graf 1. Již na tomto grafu lze rozeznat změny krajinné struktury v čase. Přesné vyčíslení změn v jednotlivých třídách zobrazuje Graf 2. Většina těchto detekovaných změn může být důsledkem sezónních rozdílů v krajinné struktuře. Jak již bylo zmíněno, snímky nejsou pořízeny ve stejném ročním období.



Graf 1: Rozloha jednotlivých tříd v letech 2010 a 2013

*Zdroj: Vlastní zpracování*



Graf 2: Změny v krajinné struktuře oproti snímku z roku 2010

*Zdroj: Vlastní zpracování*



## ZÁVĚR

Tato práce se zabývá tématem hyperspektrálních knihoven. Využívání hyperspektrálních snímků nabývá stále více na významu napříč různými odvětvími a díky tomu se stále zdokonalují i nástroje pro jejich zpracování. Hyperspektrální snímky obsahují obrovské množství informací. Aby bylo možné tyto informace využít, je zapotřebí zpracování hyperspektrální analýzou. Hyperspektrální analýza zajistí, že je možné ze vstupních dat získat výstupy, které by běžnými metodami z běžných snímků nebylo možné získat. Díky tomu je možné rozlišovat na snímcích různé druhy povrchů, jako holé půdy, lesy, apod. Hyperspektrální data umožňují zkoumat snímky tak detailním způsobem, že lze rozlišovat jednotlivé minerály podle chemického složení, či jednotlivé druhy rostlin nebo druhy znečištění. V současné době se zpracování hyperspektrálních dat těší stále větší popularitě především v geologii, ale potenciál hyperspektrálních snímků se dá využít například i při sledování znečištění nebo pro detekci změn krajinné struktury. Nedílnou součástí zpracování hyperspektrálních snímků jsou knihovny spektrálních charakteristik. V této práci byly využity knihovny spektrálních charakteristik pro detekování změn v krajině. Tyto knihovny jsou soubory naměřených spektrálních odrazivostí a slouží jako interpretační klíč pro identifikaci jednotlivých materiálů. Existuje celá řada spektrálních knihoven, které je možné využít, ty jsou z velké části volně dostupné na internetu. Je také možné vytvořit si svou vlastní spektrální knihovnu, ať již kombinací spektrálních křivek z existujících spektrálních knihoven, nebo syntézou spektrálních křivek přímo ze snímku, čehož bylo využito v této práci. Na využití knihoven spektrálních křivek pro detekci změn v krajině je možné nahlížet z mnoha úhlů. Pojem krajina je zde brán v úvahu tak, jak jej definuje Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, proto lze využít knihovny spektrálních křivek jak pro sledování vegetačních změn, například druhová biodiverzita lesních porostů, tak také například pro rozrůstání urbanizovaných území, či monitorování znečištění chemickými látkami. Využití knihoven spektrálních křivek pro detekci změn v krajině beze sporu nabývá na významu, ale toto téma je natolik rozsáhlé, že nelze pojmout veškeré možnosti v této jedné práci.

Součástí této práce je příkladová studie, kde byly aplikovány spektrální knihovny pro detekci změn v krajině. V příkladové 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. Po předzpracování vstupních snímků byly tyto knihovny využity při zpracování družicových snímků. Snímky byly klasifikovány. Pro klasifikaci snímků byly využity různé metody neřízené a řízené klasifikace.

Z metod neřízené klasifikace byly použity metoda K-means a metoda ISODATA. Výsledky těchto metod neodpovídaly rozložení krajinných prvků v oroginálních snímcích, proto byly snímky klasifikovány také za pomoci metod řízené klasifikace. 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. Po samotné klasifikaci, na základě získaných výsledků, byly zjišťovány změny v krajině. Tyto detekované změny se projevíly ve zkoumané oblasti s časovým odstupem třech let. Vzhledem k dostupným datům byly identifikovány spíše takzvané sezónní změny, jelikož dostupné snímky nebyly pořízeny ve stejném ročním období.

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. Díky dostupnosti většiny knihoven spektrálních křivek na internetu se možnost využití výrazně zvyšuje. Ideální možností je pak tvorba vlastní spektrální knihovny využitelné pro konkrétní výzkum.

Přínos práce je především v uvedení čtenáře do problematiky využití spektrálních knihoven pro detekci změn v krajině a práce může sloužit jako zdroj pro detailnější zkoumání dané problematiky.

Cílem této práce bylo využití knihoven spektrálních křivek při detekci změn v krajině. Z výše uvedeného vyplývá, že cíle bylo dosaženo, při detekování změn v krajině mají knihovny spektrálních křivek velmi rozsáhlé využití a význam této oblasti se pravděpodobně bude nadále rozvíjet a stoupat.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ANDRŠTOVÁ, BC., Martina. VYUŽITÍ HYPERSPEKTRÁLNÍCH DAT KE KLASIFIKACI VEGETACE ALPÍNSKÉHO BEZLESÍ V KRKONOŠÍCH. Praha, 2014. Univerzita Karlova v Praze.
- [2] ASTER Spectral Library [online]. Pasadena, California: Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, 1999 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://speclib.jpl.nasa.gov/>
- [3] 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. 2016-04-01]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982315000332>.
- [4] CAMPBELL, James B. a Randolph H. WYNNE. Introduction to remote sensing. 5th ed. New York: Guilford Press, c2011. ISBN 16-091-8176-X.
- [5] Comparison between Multispectral Imaging and Hyperspectral Imaging [online]. [cit. 2017-02-03]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/281067356\\_fig3\\_Figure-3-Comparison-between-Multispectral-Imaging-and-Hyperspectral-Imaging](https://www.researchgate.net/figure/281067356_fig3_Figure-3-Comparison-between-Multispectral-Imaging-and-Hyperspectral-Imaging)
- [6] Czech Terra [online]. 2015 [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.czechterra.cz/>
- [7] ČESKO. Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. In: Sběrka zákonů České republiky. 1998. Dostupný také z: <http://www.mvcr.cz/soubor/sb005-10-pdf.aspx>
- [8] Dálkový průzkum země [online]. Západočeská univerzita v Plzni [cit. 2016-09-20]. Dostupné z: <http://www.kky.zcu.cz/uploads/courses/dpz/DPZ-prednasky.pdf>
- [9] DATT, Bisun, et al. Preprocessing EO-1 Hyperion Hyperspectral Data to Support the Application of Agricultural Indexes. VOL. 41, NO. 6. IEEE, 2003. ISSN 0196-2892/03.
- [10] DOBROVOLNÝ, Petr. Dálkový průzkum Země: Digitální zpracování obrazu. Brno:MU Brno, 1998, 210 s. ISBN 80-210-1812-7.
- [11] Družicová data. ARCDATA PRAHA [online]. [cit. 2016-11-18]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/druzicova-data>
- [12] Earth Explorer. United States Geological Survey [online]. 2017 [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

- [13] Earth Observing 1 (EO-1). United States Geological Survey [online]. USA, 2011 [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <https://eo1.usgs.gov/>
- [14] 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. 2017-04-26]. DOI: 10.1109/IGARSS.2008.4779065. ISBN 978-1-4244-2807-6. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4779065/>
- [15] Fluorochromy. LAB Guide [online]. [cit. 2016-11-29]. Dostupné z: <http://labguide.cz/fluorochromy/>
- [16] FORMAN, R. T. T., GODRON, M. Krajinná ekologie. 1. vyd. Praha: Academia, 1993. 583 s. ISBN 80-200-0464-5.
- [17] GALIDAKI, G. Mediterranean forest species mapping using hyperspectral imagery: disertační práce. Trieste: University of Trieste, 2012. [online]. [cit. 2016-04-01]. Vedoucí práce Enrico Feoli. Dostupné z: [https://www.openstarts.units.it/dspace/bitstream/10077/8553/1/GGalidaki\\_PhD\\_the\\_sis.pdf](https://www.openstarts.units.it/dspace/bitstream/10077/8553/1/GGalidaki_PhD_the_sis.pdf).
- [18] Gisat [online]. Praha [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://www.gisat.cz/content/cz>
- [19] HALOUNOVÁ L., PAVELKA, K. Dálkový průzkum Země. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2008. 192 s. ISBN 978-80-01-03124-7.
- [20] Help - ENVI 5.1. Excelis.
- [21] Humpolec [online]. 2015 [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://www.mesto-humpolec.cz/obce-orp-humpolec/ds-11501/p1=43926>
- [22] CHARAKTER KRAJINY: Struktura horizontální [online]. [cit. 2016-12-04]. Dostupné z [http://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=59020](http://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=59020)
- [23] JANČÍK, M. Vybrané geologické hyperspektrální analýzy: diplomová práce. Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, 2004.
- [24] JANOŠ, Zdeněk. Dálkový průzkum Země. [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupné z: <http://wiki.cs.vsb.cz/images/a/ae/Jan789-gis-dpz.pdf>.
- [25] JURÁŠ, J. Hyperspektrální analýzy obrazu pro detekci sněhové pokrývky: bakalářská práce. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, Fakulta geoinformatiky, 2012.

- [26] KALINOVÁ, M. Využití spektrálních indexů při monitoringu zeleně vybrané části Pardubického kraje: diplomová práce. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta ekonomicko-správní, 2015.
- [27] KOLEJKA, J. Nauka o krajině: pro studující geografie magisterských učitelských oborů. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2014. 129 s. ISBN 978-80-210-6659-5.
- [28] LIANG, S. Advances in Land Remote Sensing: System, Modeling, Inversion and Application. ISBN 9781402064494
- [29] LILLESAND, Thomas M., Ralph W. KIEFER a Jonathan W. CHIPMAN. Remote sensing and image interpretation. 6th ed. New York: John Wiley, c2008. ISBN 978-0-470-05245-7.
- [30] MÁLKOVÁ, H. Klasifikace land cover z hyperspektrálních dat v rekultivovaných oblastech Sokolovské hnědouhelné pánve: diplomová práce. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Fakulta přírodovědecká, 2010.
- [31] Mirror [online]. 2012 [cit. 2017-01-30]. Dostupné z: [http://mirror5clearest.blogspot.cz/2012\\_06\\_01\\_archive.html](http://mirror5clearest.blogspot.cz/2012_06_01_archive.html)
- [32] MULKOVÁ, M. Využití konvenčních metod DPZ při sledování antropogenních změn krajiny v poddolovaných oblastech [online]. Brno, 2007 [cit. 2012-02-19]. Dostupné z: [http://is.muni.cz/th/54823/prif\\_d/text.pdf](http://is.muni.cz/th/54823/prif_d/text.pdf). Disertační práce. Masarykova univerzita
- [33] PILNÝ, Jaroslav. Ochrana a tvorba krajiny. Pardubice: Vysoká škola chemicko-technologická, 1993. ISBN 80-85113-58-9.
- [34] RINDOVÁ, K. Temporální analýza vývoje krajiny v okolí obce Lázně Bohdaneč. Pardubice, 2008. Dostupné z: [http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/28877/1/RindovaK\\_Temporalni%20analyza\\_PS\\_2008.pdf](http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/28877/1/RindovaK_Temporalni%20analyza_PS_2008.pdf). Bakalářská práce. Univerzita Pardubice.
- [35] 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. 2017-04-26]. DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-1-W5-669-2015. ISSN 2194-9034. Dostupné z: <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-1-W5/669/2015/>

- [36] SKLENIČKA, P. Základy krajinného plánování. 2. vyd. Praha: Naděžda Skleničková, 2003. 321 s. ISBN 80-903206-1-9
- [37] TROJOVSKÁ, E. Využití automatické klasifikace obrazu pro analýzu vývoje krajiny v obci Staré Jesenčany: diplomová práce. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta ekonomicko-správní, 2012.
- [38] TUČEK, Ján. Geografické informační systémy: principy a praxe. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 1998. CAD & GIS. ISBN 80-7226-091-X.
- [39] United States Geological Survey [online]. USA: USGS, 2017 [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <https://www.usgs.gov/>
- [40] USDA [2010]. Hydrology and Remote Sensing Laboratory : Research [online].[cit. 2013-11-25]. Dostupné z [http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=9124&pf=1&cg\\_id=0](http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=9124&pf=1&cg_id=0)
- [41] VOSTRACKÁ, B. Mapování změn zástavby s využitím DPZ. Praha, 2008. Dostupné z: [http://www.suburbanizace.cz/diplomky/Vostracka\\_DP.pdf](http://www.suburbanizace.cz/diplomky/Vostracka_DP.pdf). Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze
- [42] VOŽENÍLEK, Vít. Geografické informační systémy. 1. vyd. Olomouc: Vydavatelství Univerzity Palackého, 1998. ISBN 80-7067-802-X.
- [43] Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, veřejná výzkumná instituce [online]. VÚKOZ [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.vukoz.cz/>
- [44] What is Imaging Spectroscopy (Hyperspectral Imaging) [online]. [cit. 2017-02-03]. Dostupné z: <http://www.markelowitz.com/Hyperspectral.html>
- [45] YUAN, Yuan, Haobo LV a Xiaoqiang LU. Semi-supervised change detection method for multi-temporal hyperspectral images. *Neurocomputing* [online]. 2015, **148**, 363-375 [cit. 2017-04-27]. DOI: 10.1016/j.neucom.2014.06.024. ISSN 09252312. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092523121400767X>
- [46] ZEMEK, F. Letecký dálkový průzkum Země: teorie a příklady hodnocení terestrických ekosystémů [online]. 2014, [cit. 2016-11-20]. Dostupné z: [http://hydap.czechglobe.cz/sites/default/files/monografie/web\\_Leteck%C3%BD%20%C3%A1lkov%C3%BD%20pr%C5%AFzkum%20Zem%C4%9B.pdf](http://hydap.czechglobe.cz/sites/default/files/monografie/web_Leteck%C3%BD%20%C3%A1lkov%C3%BD%20pr%C5%AFzkum%20Zem%C4%9B.pdf)
- [47] Změny využívání krajiny [online]. 2011 [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.zmeny-krajiny.cz>

- [48] Zpravodajský cyklus – klišé nebo nosný koncept? Obrana a strategie (Defence and Strategy) [online]. 2010-6-15, 10(1), 45-64 [cit. 2017-04-24]. DOI: 10.3849/1802-7199.10.2010.01.045-064. ISSN 12146463. Dostupné z: <http://www.defenceandstrategy.eu/cs/aktualni-cislo-1-2010/clanky/zpravodajsky-cyklus-8211-klise-nebo-nosny-koncept.html>
- [49] ŽELEZNÝ, Miloš Ing., Ph.D. Dálkový průzkum země [online]. Plzeň [cit. 2016-10-12]. Dostupné z: <http://www.kky.zcu.cz/uploads/courses/dpz/DPZ-prednasky.pdf>

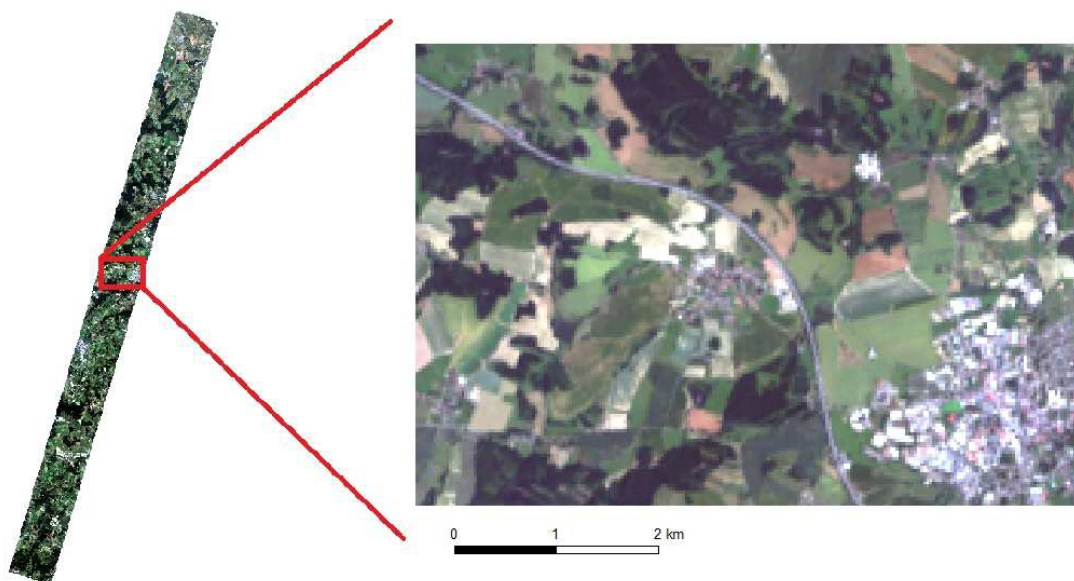
## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: Umístění zájmového území na družicovém snímku
- Příloha 2: Výřez zájmového území ze snímku z roku 2010
- Příloha 3: Výřez zájmového území ze snímku z roku 2013
- Příloha 4: Příklad zobrazení snímku v nepravých barvách
- Příloha 5: Zájmové území v rámci kraje Vysočina
- Příloha 6: Výřez zájmového území v rámci Humpolecka
- Příloha 7: Výsledky klasifikace metodou K-means pro snímek z roku 2010
- Příloha 8: Výsledky klasifikace metodou K-means pro snímek z roku 2013
- Příloha 9: Výsledky klasifikace metodou ISODATA pro snímek z roku 2010
- Příloha 10: Výsledky klasifikace metodou ISODATA pro snímek z roku 2013
- Příloha 11: Výsledky klasifikace metodou Minimum Distance pro snímek z roku 2010
- Příloha 12: Výsledky klasifikace metodou Minimum Distance pro snímek z roku 2013
- Příloha 13: Výsledky klasifikace metodou Mahalanobis Distance pro snímek z roku 2010
- Příloha 14: Výsledky klasifikace metodou Mahalanobis Distance pro snímek z roku 2013
- Příloha 15: Snímek z roku 2010 po odstranění kontinua
- Příloha 16: Snímek z roku 2013 po odstranění kontinua
- Příloha 17: Výsledky klasifikace metodou Spectral Angle Mapper pro snímek z roku 2010
- Příloha 18: Výsledky klasifikace metodou Spectral Angle Mapper pro snímek z roku 2013
- Příloha 19: Výsledky klasifikace metodou Parallelepiped pro snímek z roku 2010
- Příloha 20: Výsledky klasifikace metodou Parallelepiped pro snímek z roku 2013
- Příloha 21: Zvýrazněné změny vegetace
- Příloha 22: Detekované změny nástrojem THOR
- Příloha 23: Křivky spektrálních odrazivostí z vytvořené spektrální knihovny pro snímek z roku 2010
- Příloha 24: Křivky spektrálních odrazivostí z vytvořené spektrální knihovny pro snímek z roku 2013

Příloha volná – CD



# UMÍSTĚNÍ ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ NA DRUŽICOVÉM SNÍMKU z družice EO-1 ze skeneru Hyperion v roce 2010



Jiří Bláhovec  
Pardubice 2017

## Příloha 1: Umístění zájmového území na družicovém snímku

### DRUŽICOVÝ SNÍMEK EO-1 ZE SKENERU HYPERION pro zájmové území Humpolec v roce 2010



Jiří Bláhovec  
Pardubice 2017

## Příloha 2: Výřez zájmového území ze snímku z roku 2010

**DRUŽICOVÝ SNÍMEK EO-1 ZE SKENERU HYPERION**  
pro zájmové území Humpolec v roce 2013

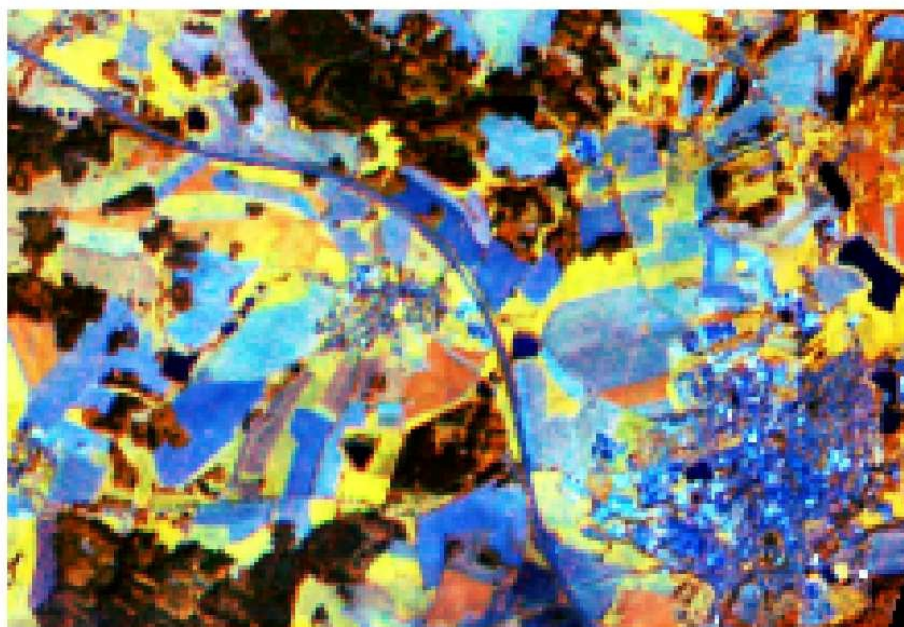


0 1 2 km

Jiří Bláhovec  
Pardubice 2017

**Příloha 3: Výřez zájmového území ze snímku z roku 2013**

**DRUŽICOVÝ SNÍMEK EO-1 ZE SKENERU HYPERION**  
v nepravých barvách pro zájmové území Humpolec v roce 2013



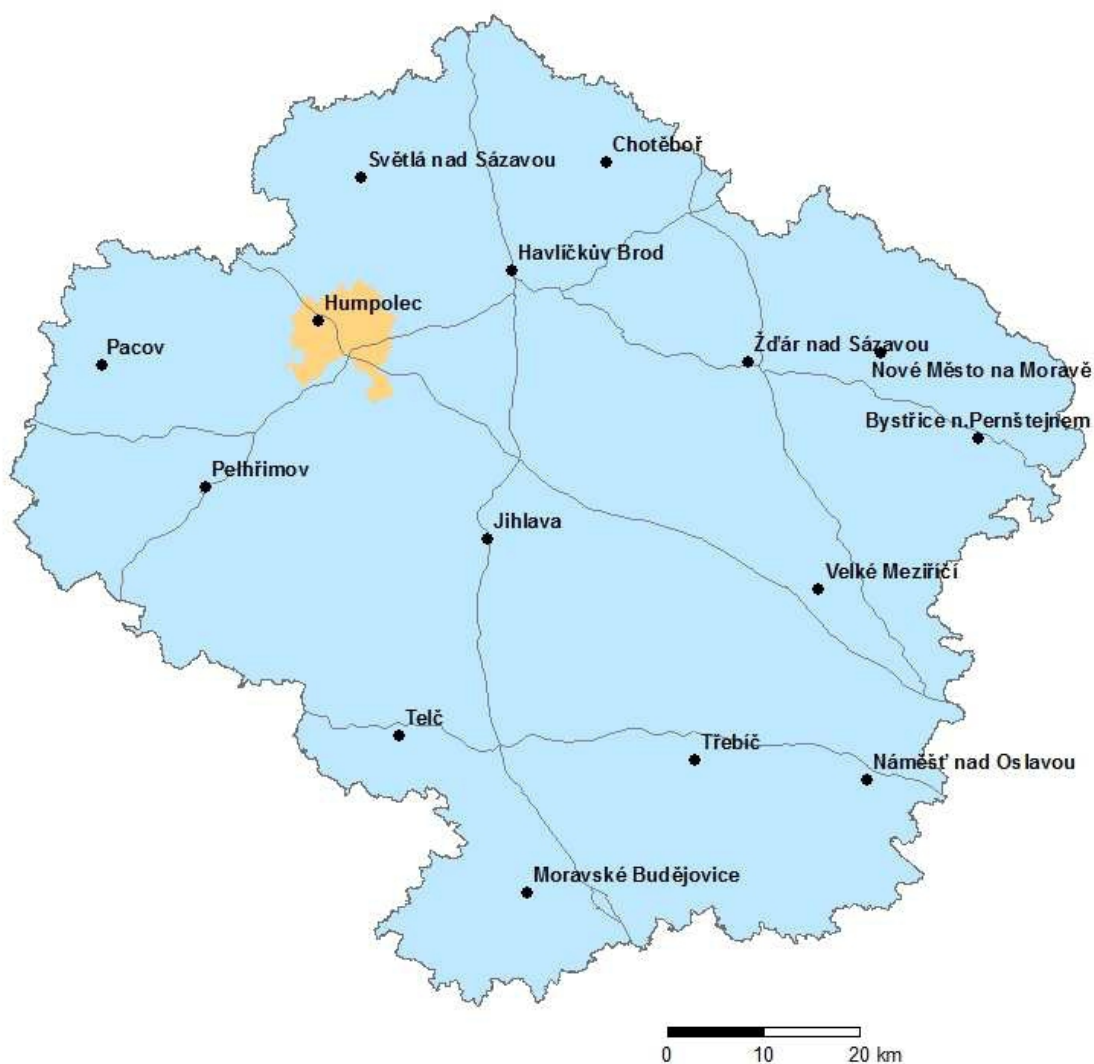
0 1 2 km

Jiří Bláhovec  
Pardubice 2017

**Příloha 4: Příklad zobrazení snímku v nepravých barvách**



# ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ V RÁMCI KRAJE VYSOČINA v roce 2016



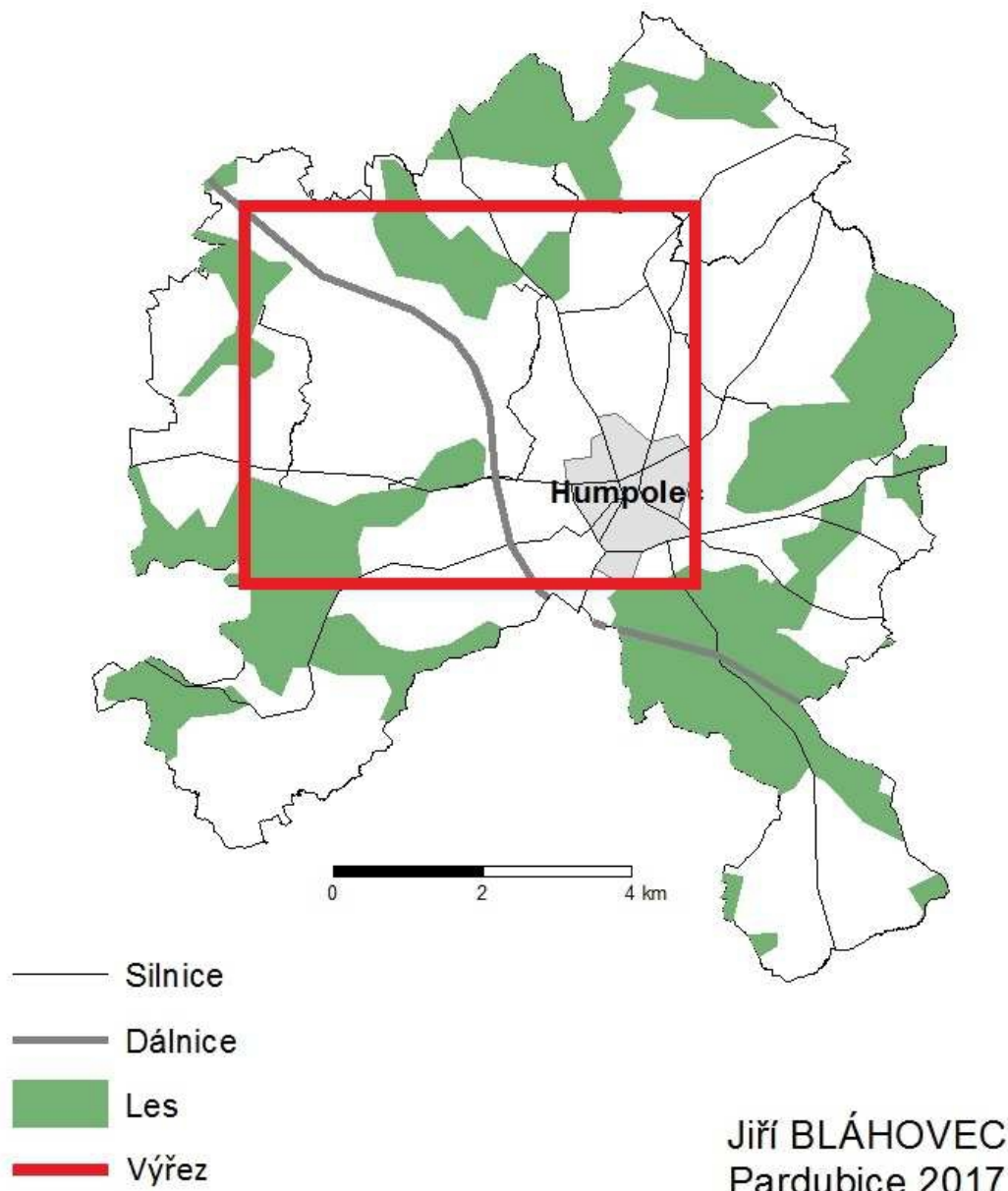
- Silnice
- Humpolecko
- Kraj Vysočina

Jiří BLÁHOVEC  
Pardubice 2017

Příloha 5: Zájmové území v rámci kraje Vysočina

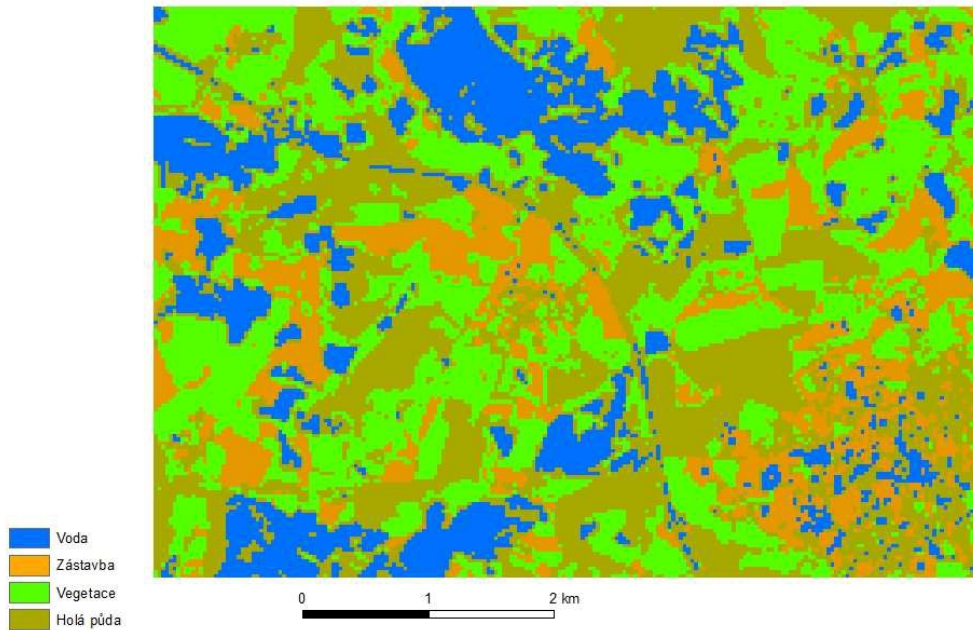
# VÝŘEZ ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ V OKOLÍ HUMPOLCE

v roce 2016



Příloha 6: Výřez zájmového území v rámci Humpolecka

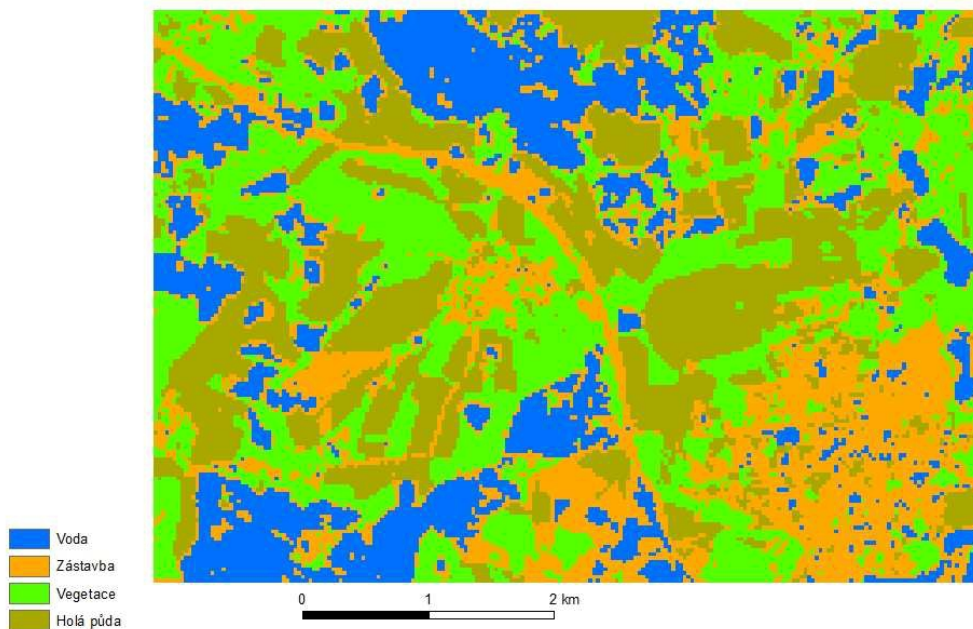
## KLASIFIKACE METODOU K-MEANS pro zájmové území Humpolec v roce 2010



Jiří Bláhovec  
Pardubice 2017

**Příloha 7: Výsledky klasifikace metodou K-means pro snímek z roku 2010**

## KLASIFIKACE METODOU K-MEANS pro zájmové území Humpolec v roce 2013

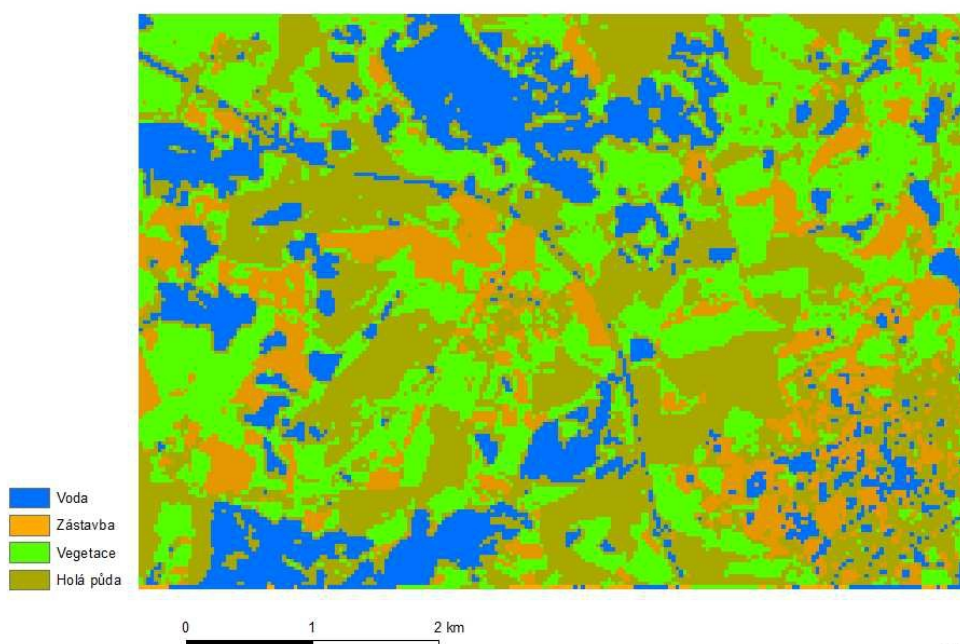


Jiří Bláhovec  
Pardubice 2017

**Příloha 8: Výsledky klasifikace metodou K-means pro snímek z roku 2013**



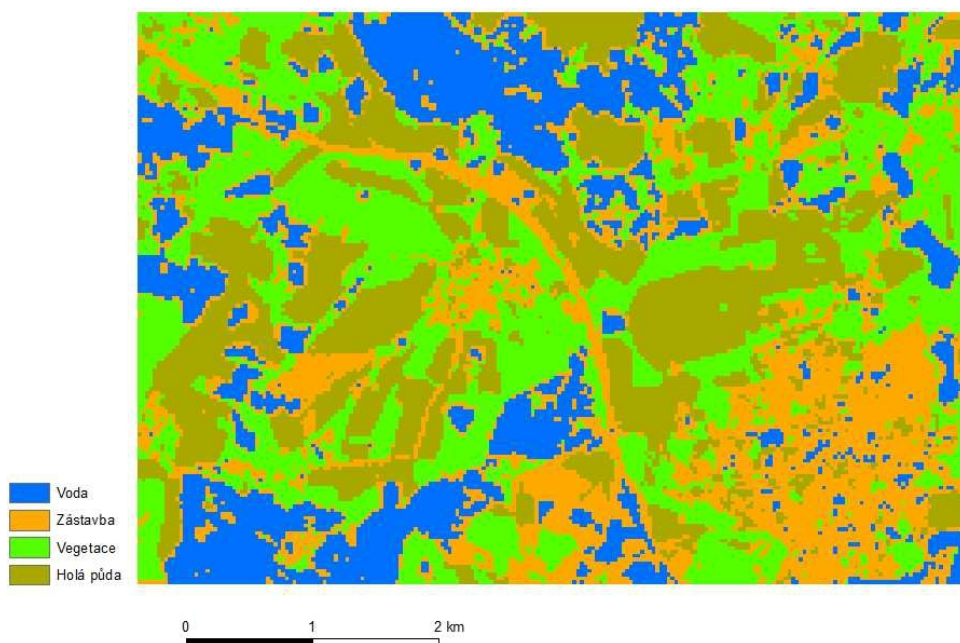
## KLASIFIKACE METODOU ISODATA pro zájmové území Humpolec v roce 2010



Jiří Bláhovec  
Pardubice 2017

### Příloha 9: Výsledky klasifikace metodou ISODATA pro snímek z roku 2010

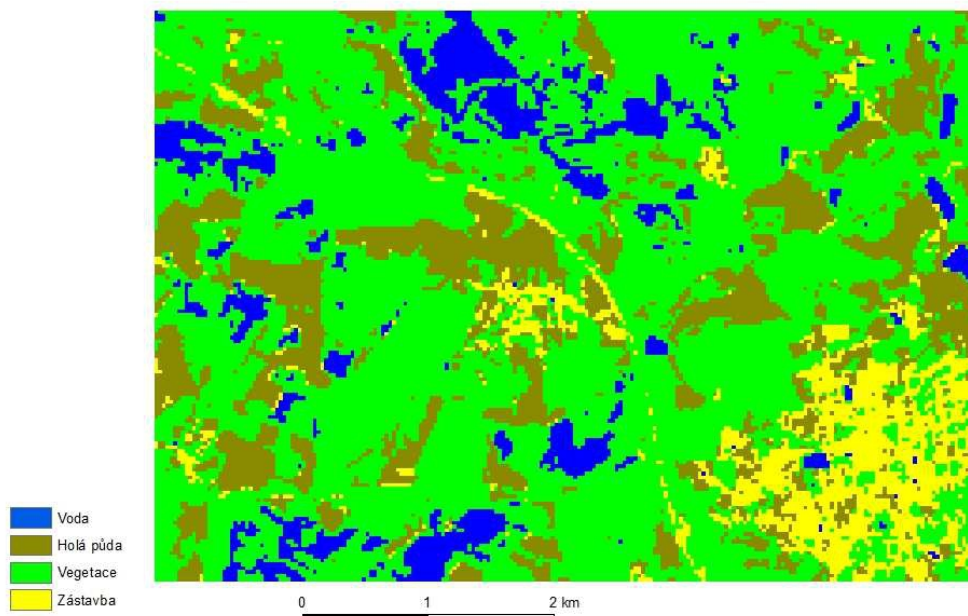
## KLASIFIKACE METODOU ISODATA pro zájmové území Humpolec v roce 2013



Jiří Bláhovec  
Pardubice 2017

### Příloha 10: Výsledky klasifikace metodou ISODATA pro snímek z roku 2013

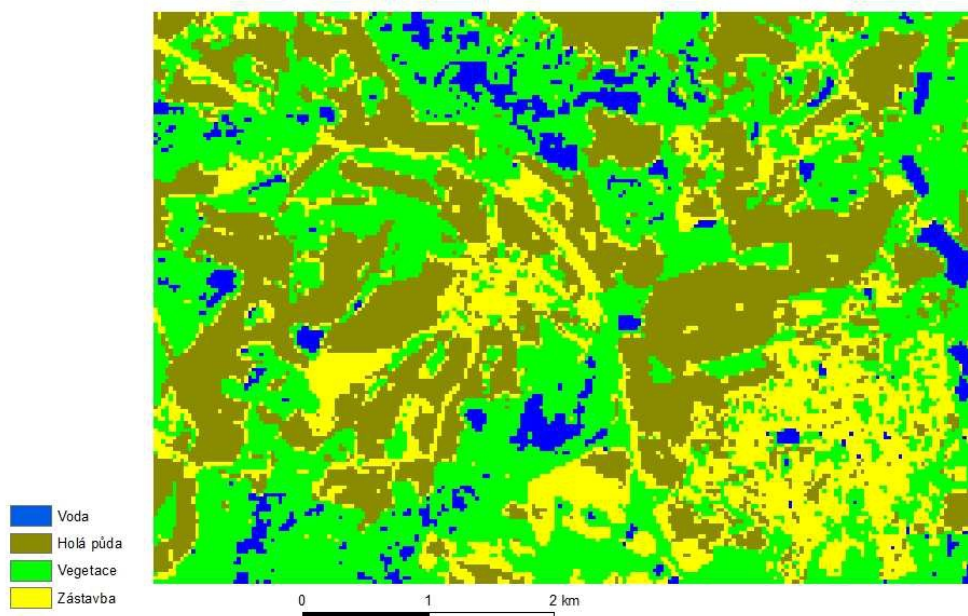
## KLASIFIKACE MINIMÁLNÍ VZDÁLENOSTÍ pro zájmové území Humpolec v roce 2010



Jiří Bláhovec  
Pardubice 2017

### Příloha 11: Výsledky klasifikace metodou Minimum Distance pro snímek z roku 2010

## KLASIFIKACE MINIMÁLNÍ VZDÁLENOSTÍ pro zájmové území Humpolec v roce 2013

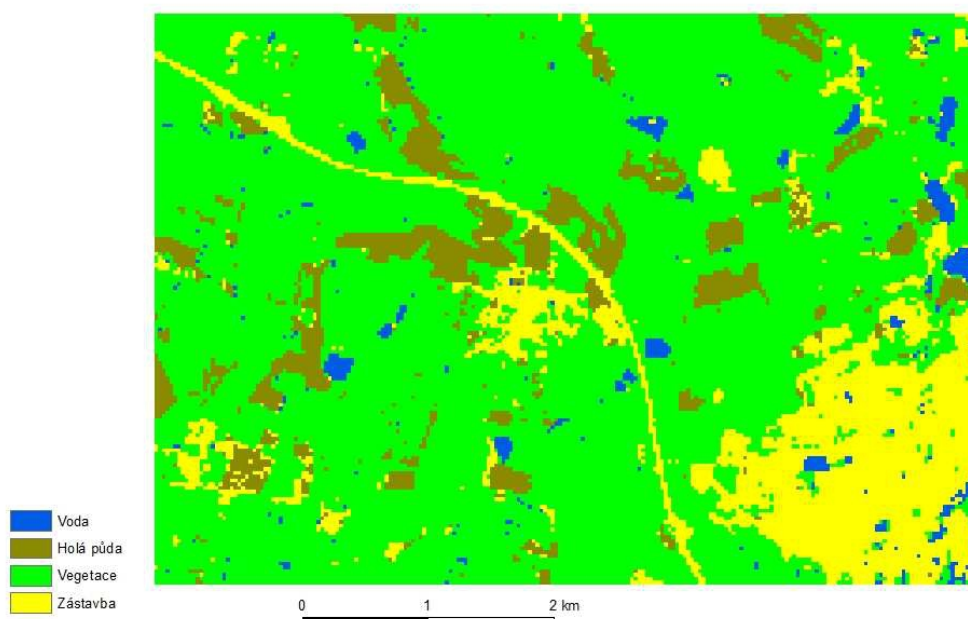


Jiří Bláhovec  
Pardubice 2017

### Příloha 12: Výsledky klasifikace metodou Minimum Distance pro snímek z roku 2013



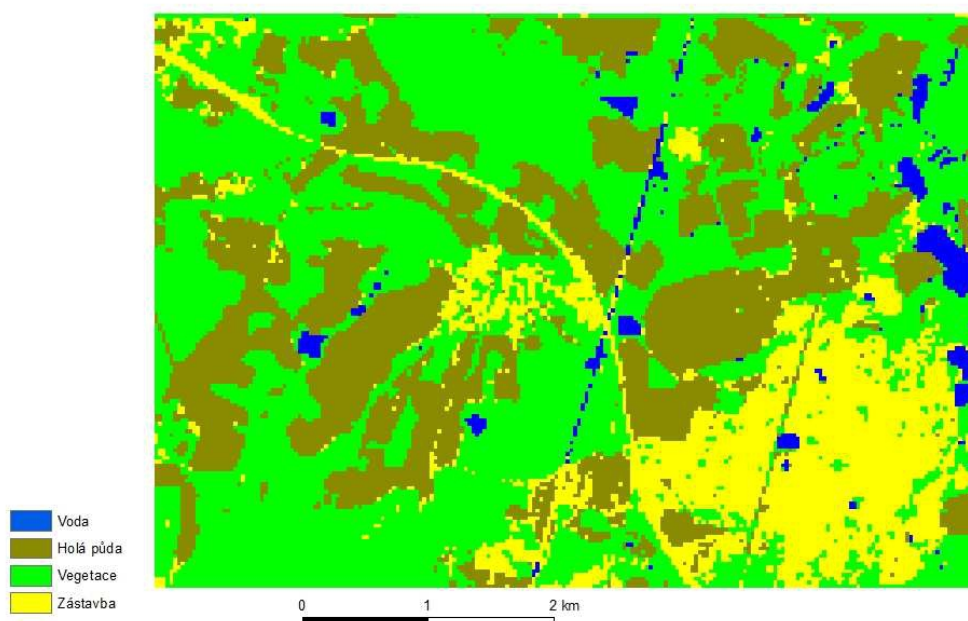
## KLASIFIKACE MAHALANOBISOVOU VZDÁLENOSTÍ pro zájmové území Humpolec v roce 2010



Jiří Bláhovec  
Pardubice 2017

**Příloha 13: Výsledky klasifikace metodou Mahalanobis Distance pro snímek z roku 2010**

## KLASIFIKACE MAHALANOBISOVOU VZDÁLENOSTÍ pro zájmové území Humpolec v roce 2013



Jiří Bláhovec  
Pardubice 2017

**Příloha 14: Výsledky klasifikace metodou Mahalanobis Distance pro snímek z roku 2013**



## VÝSTUP Z NÁSTROJE CONTINUUM REMOVAL pro zájmové území Humpolec v roce 2010



0 1 2 km

Jiří Bláhovec  
Pardubice 2017

**Příloha 15: Snímek z roku 2010 po odstranění kontinua**

## VÝSTUP Z NÁSTROJE CONTINUUM REMOVAL pro zájmové území Humpolec v roce 2013

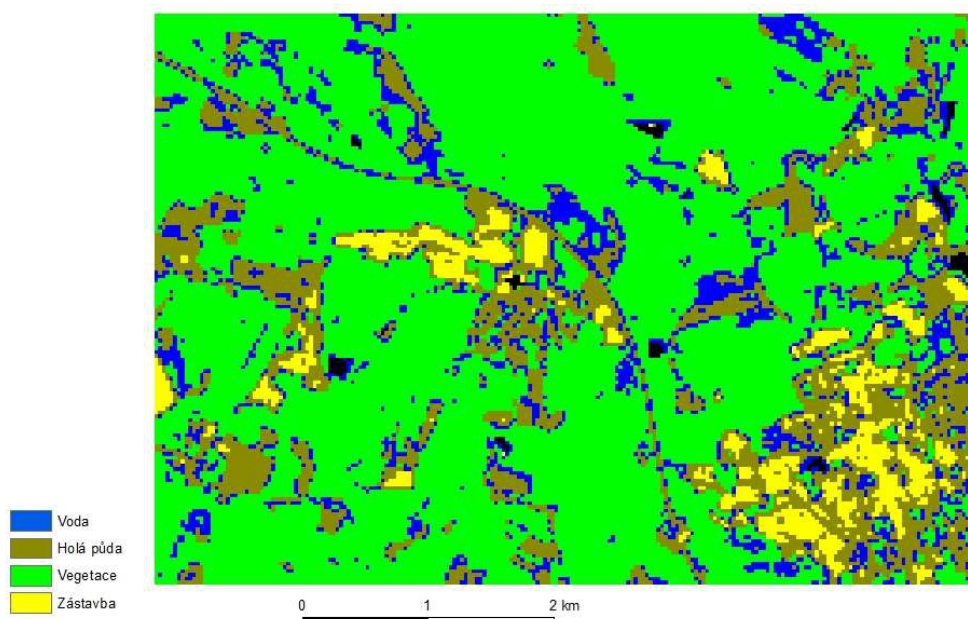


0 1 2 km

Jiří Bláhovec  
Pardubice 2017

**Příloha 16: Snímek z roku 2013 po odstranění kontinua**

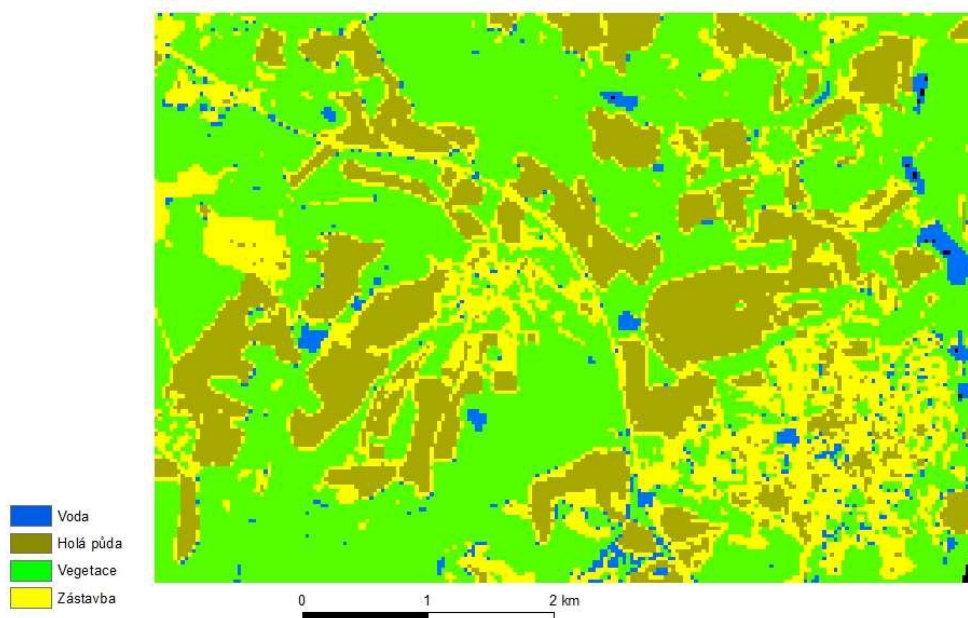
## KLASIFIKACE NÁSTROJEM SPECTRAL ANGLE MAPPER pro zájmové území Humpolec v roce 2010



Jiří Bláhovec  
Pardubice 2017

**Příloha 17: Výsledky klasifikace metodou Spectral Angle Mapper pro snímek z roku 2010**

## KLASIFIKACE NÁSTROJEM SPECTRAL ANGLE MAPPER pro zájmové území Humpolec v roce 2013

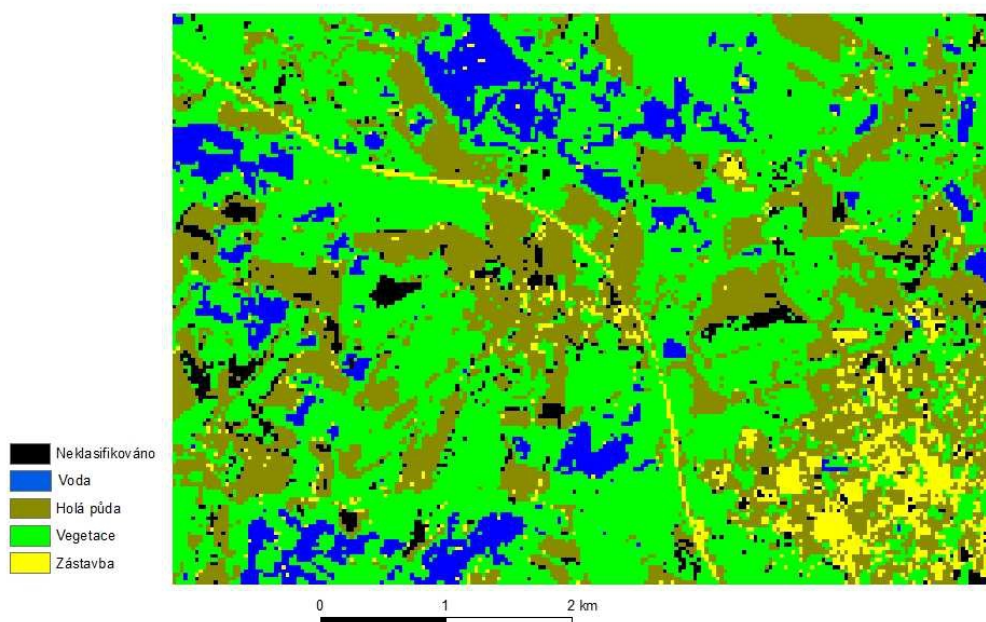


Jiří Bláhovec  
Pardubice 2017

**Příloha 18: Výsledky klasifikace metodou Spectral Angle Mapper pro snímek z roku 2013**



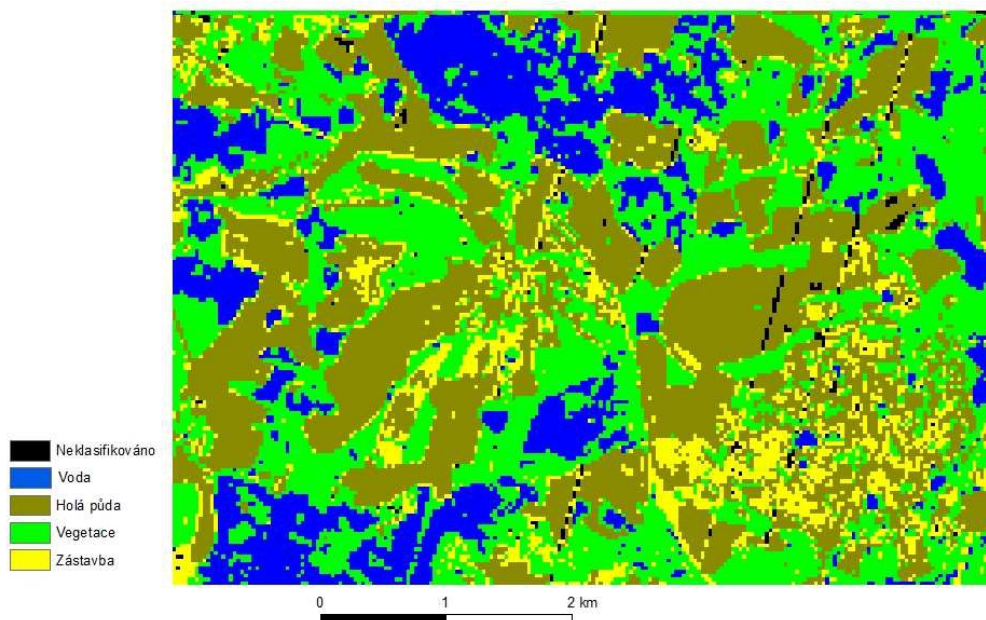
## KLASIFIKACE NÁSTROJEM PARALLELEPIPED CLASSIFICATION pro zájmové území Humpolec v roce 2010



Jiří Bláhovec  
Pardubice 2017

### Příloha 19: Výsledky klasifikace metodou Parallelepiped pro snímek z roku 2010

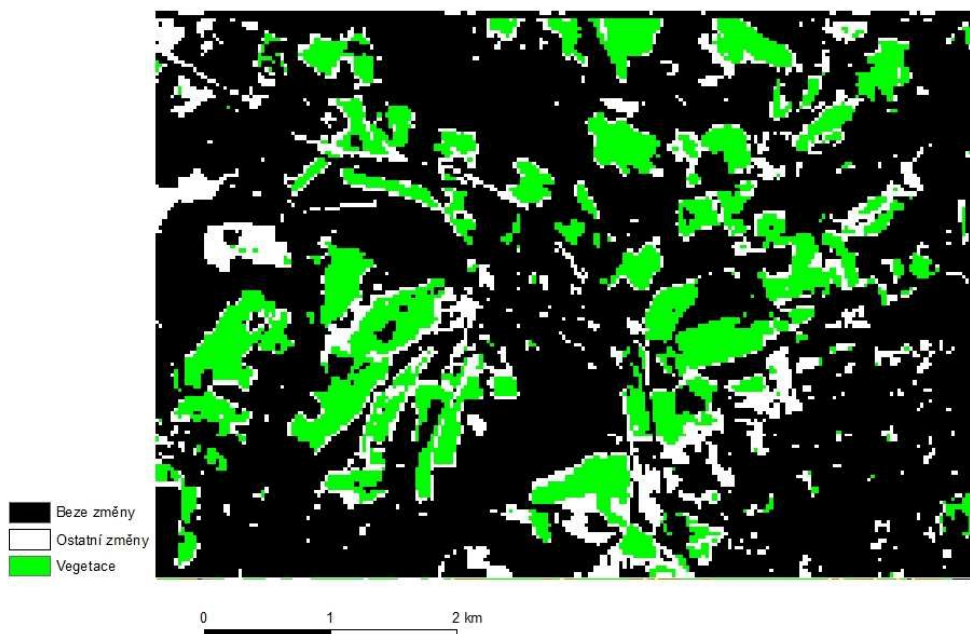
## KLASIFIKACE NÁSTROJEM PARALLELEPIPED CLASSIFICATION pro zájmové území Humpolec v roce 2013



Jiří Bláhovec  
Pardubice 2017

### Příloha 20: Výsledky klasifikace metodou Parallelepiped pro snímek z roku 2013

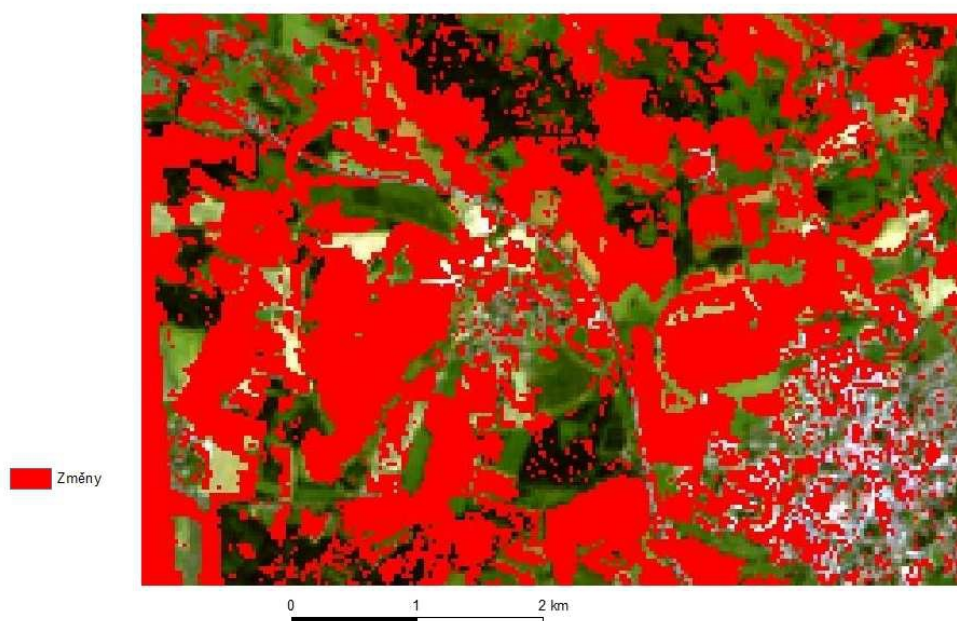
## VYZNAČENÉ ZMĚNY VEGETACE pro zájmové území Humpolec mezi roky 2010 - 2013



Jiří Bláhovec  
Pardubice 2017

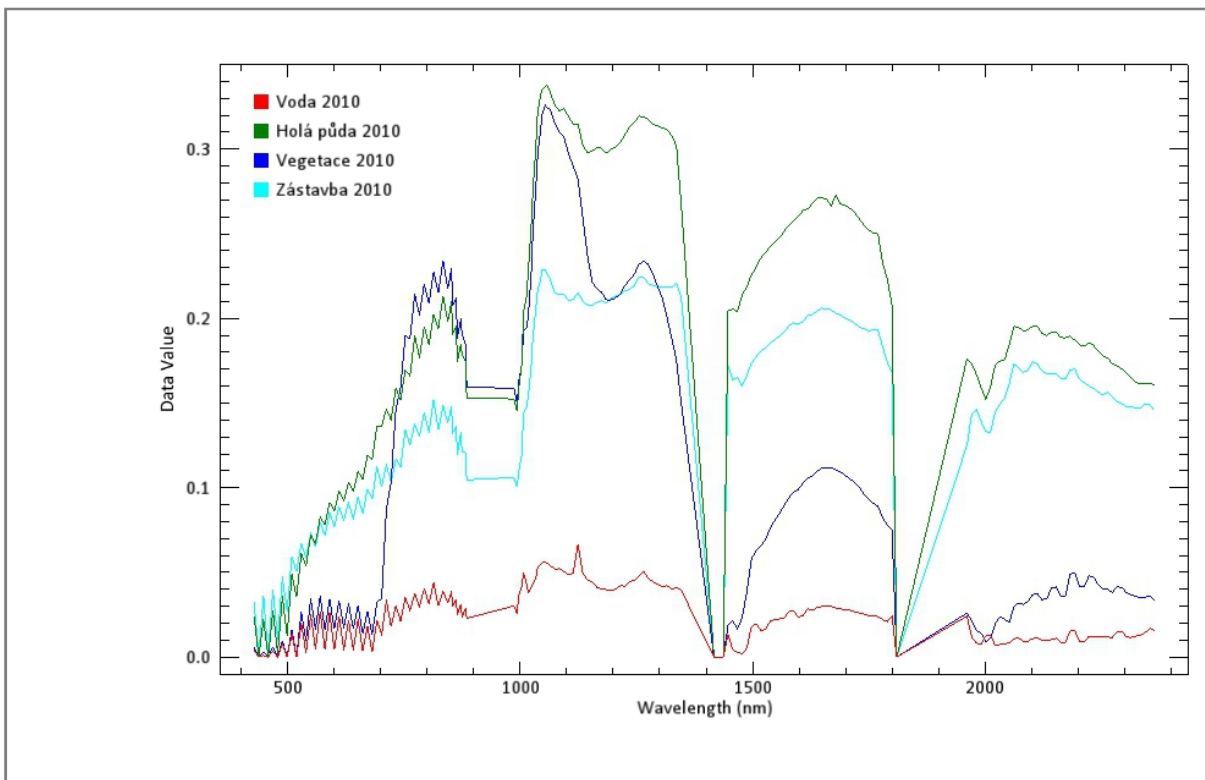
### Příloha 21: Zvýrazněné změny vegetace

## DETEKCE ZMĚN NÁSTROJEM THOR pro zájmové území Humpolec mezi roky 2010 - 2013

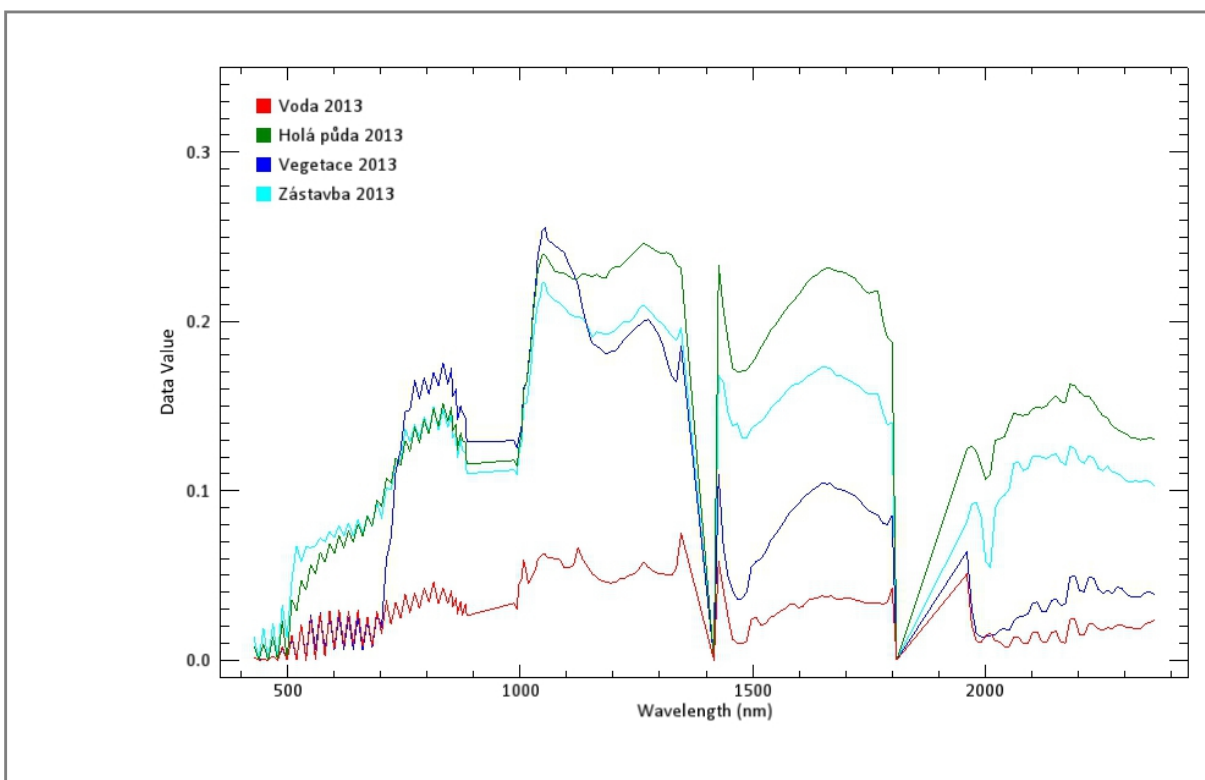


Jiří Bláhovec  
Pardubice 2017

### Příloha 22: Detekované změny nástrojem THOR



**Příloha 23: Křivky spektrálních odrazivostí z vytvořené spektrální knihovny pro snímek z roku 2010**



**Příloha 24: Křivky spektrálních odrazivostí z vytvořené spektrální knihovny pro snímek z roku 2013**