

**Univerzita Pardubice**

**Fakulta ekonomicko-správní  
Ústav systémového inženýrství a informatiky**

**Soubor příkladů zpracování obrazu nástroji  
ERDAS Imagine v ArcGIS Desktop**

**Magdalena Kalinová**

**Bakalářská práce**

**2013**

Univerzita Pardubice  
Fakulta ekonomicko-správní  
Akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Magdalena Kalinová**  
Osobní číslo: **E090407**  
Studijní program: **B6209 Systémové inženýrství a informatika**  
Studijní obor: **Regionální a informační management**  
Název tématu: **Soubor příkladů zpracování obrazu nástroji ERDAS Imagine v ArcGIS Desktop**  
Zadávající 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 :

Práce bude obsahovat soubor řešených příkladů zpracování obrazu nástroji ERDAS Imagine v ArcGIS Desktop. Student projde celým procesem tvorby souboru příkladů od návrhu struktury, obsahu a výsledné grafické úpravy jednotlivých příkladů.

Práce bude obsahovat:

- 1) Dálkový průzkum Země.
- 2) Digitální zpracování obrazu.
- 3) Nástroje ERDAS Imagine v ArcGIS Desktop.
- 4) Stávající stav řešené problematiky.
- 5) Návrh obsahu příkladů.
- 6) Návrh struktury.
- 7) Grafická úprava souboru příkladů.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**

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

Seznam odborné literatury:

CROSIER, S. et al. ArcGIS 9 - Začínáme s ArcGIS. Redland: ESRI, 2006. 266 s.

DAVIS, D. GIS: jak si vytvářet vlastní mapy. Praha: Computer Press, 2000. 112 s.

DOBROVOLNÝ, P. Dálkový průzkum Země. Skripta MU Brno, Brno, 1998. 210 s.

SVATOŇOVÁ, H., LAUERMANN, L. Dálkový průzkum Země - aktuální zdroj geografických informací. Brno: Masarykova univerzita, 2010. 96 s.

TUČEK, J. Geografické informační systémy: principy a praxe. Praha: Computer Press, 1998. 424 s.



Vedoucí bakalářské práce:

**Mgr. Pavel Sedlák, Ph.D.**

Ústav systémového inženýrství a informatiky

Datum zadání bakalářské práce: **1. října 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30. dubna 2013**



doc. Ing. Renáta Myšková, Ph.D.

děkanka

L.S.



prof. Ing. Jan Capek, CSc.

vedoucí ústavu

V Pardubicích dne 3. října 2012

## **PROHLÁŠENÍ**

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

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 30. 4. 2013

Magdalena Kalinová

## **PODĚKOVÁNÍ:**

Touto cestou bych chtěla poděkovat vedoucímu své bakalářské práce Mgr. Pavlu Sedlákovi, Ph.D. za jeho odbornou pomoc, cenné rady a čas věnovaný mé práci.

V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině, která mě během celého studia velice podporovala.

## **ANOTACE**

*Bakalářská práce se zabývá tvorbou souboru příkladů zpracování obrazu nástroji ERDAS IMAGINE v programu ArcGIS Desktop. Cvičení budou sloužit jako studijní opora při práci s nástroji ERDAS IMAGINE. Výsledkem práce je vypracování několika řešených příkladů.*

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

*ERDAS IMAGINE, ArcGIS Desktop, dálkový průzkum země, digitální zpracování obrazu*

## **TITLE**

A collection of examples of image processing via ERDAS IMAGINE tools in ArcGIS Desktop

## **ANNOTATION**

*The bachelor thesis deals with making a set of examples for image processing with ERDAS IMAGINE tools using ArcGIS Desktop software. Exercises serve as a studying support while working with ERDAS IMAGINE tools. Elaboration of some solved examples is the major result of the thesis.*

## **KEYWORDS**

*ERDAS IMAGINE, ArcGIS Desktop, remote sensing, digital image processing*

# OBSAH

<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>1 SBĚR DAT POMOCÍ DÁLKOVÉHO PRŮZKUMU ZEMĚ .....</b>	<b>12</b>
1.1 Dálkový průzkum Země .....	12
1.2 Pořizování dat distančními metodami .....	12
1.2.1 <i>Konvenční fotografické metody DPZ.....</i>	<i>12</i>
1.2.2 <i>Nekonvenční metody DPZ .....</i>	<i>13</i>
1.3 Metody zpracování obrazu .....	13
1.3.1 <i>Fotogrammetrické metody.....</i>	<i>14</i>
1.3.2 <i>Analogové metody.....</i>	<i>14</i>
1.3.3 <i>Digitální metody .....</i>	<i>14</i>
<b>2 DIGITÁLNÍ ZPRACOVÁNÍ OBRAZU .....</b>	<b>16</b>
2.1 Předzpracování obrazu.....	16
2.1.1 <i>Radiometrické korekce.....</i>	<i>17</i>
2.1.2 <i>Atmosférické korekce .....</i>	<i>18</i>
2.1.3 <i>Geometrická korekce .....</i>	<i>19</i>
2.2 Zvýraznění obrazu .....	20
2.2.1 <i>Bodové zvýraznění .....</i>	<i>20</i>
2.2.2 <i>Prostorové zvýraznění - pomocí filtrů .....</i>	<i>21</i>
2.2.3 <i>Spektrální zvýraznění.....</i>	<i>22</i>
2.3 Klasifikace .....	23
2.3.1 <i>Druhy klasifikace .....</i>	<i>23</i>
2.3.2 <i>Hodnocení přesnosti klasifikace .....</i>	<i>24</i>
2.3.3 <i>Úpravy po klasifikaci.....</i>	<i>25</i>
<b>3 NÁSTROJE ERDAS IMAGINE V ARCGIS DESKTOP.....</b>	<b>26</b>
3.1 ArcGIS Desktop.....	26
3.2 ERDAS IMAGINE.....	27
3.3 ERDAS extenze pro ArcGIS Desktop.....	27

<b>4 PŘEHLED DOSTUPNÝCH VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ.....</b>	<b>29</b>
4.1 Přehled výukových materiálů pro DPZ a DZO .....	29
4.2 Přehled výukových materiálů o DZO pro různá programová prostředí .....	30
<b>5 SOUBOR ŘEŠENÝCH PŘÍKLADŮ .....</b>	<b>32</b>
5.1 Struktura příkladů .....	32
5.2 Použitá data.....	33
5.3 Obsah jednotlivých příkladů.....	33
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>40</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>42</b>
<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>45</b>



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Ukázka vyplnění chybějících hodnot.....	34
Obrázek 2 Ukázka tvorby nového snímku pomocí spektrálních vlastností.....	34
Obrázek 3 Ukázka radiometrického a prostorového zvýraznění.....	35
Obrázek 4 Ukázka transformace multispektrálního obrazu .....	36
Obrázek 5 Ukázka práce s vegetačním indexem .....	37
Obrázek 6 Ukázka automatického výběru oblasti s podobnými vlastnostmi.....	38
Obrázek 7 Ukázka řízené klasifikace .....	39

## SEZNAM ZKRATEK

DN	Digital Numer
DPZ	Dálkový průzkum Země
DZO	Digitální zpracování obrazu
FAS	Federal of American Scientists
GIS I	Geografické informační systémy I
GIS II	Geografické infirmoční systémy II
GIS	Geografický informační systém
IHS	Intensity, Hue, Saturation
IMG	IMaGE
MT	transformace Martin-Taylor
PCA	Principal Components Analysis
RGB	Red, Green, Blue
SPOT	Système Pour l'Observation de la Terre (fancouzský satelit)
TIFF	Tag Image File Format
TM	Thematic Mapper
UJEP	Univerzita Jana Evangelisty Purkyně

## ÚVOD

Data pořízená z dálkového průzkumu Země se využívají v celé řadě oborů, jako je hydrologie, geodézie, mapování, zemědělství, archeologie či oblasti zabývající se časovými změnami na zemském povrchu. Není tedy divu, že se v poslední době ve světě vyvinula celá řada systémů pro zpracování dat z dálkového průzkumu Země, a to zejména díky zlepšení výpočetní techniky.

Pro získání kvalitní informace a efektivní práci s materiály získanými dálkovým průzkumem Země, by měla být distanční data digitálně zpracována. K tomu slouží mnoho softwarů, jako jsou např. ERDAS IMAGINE, GRASS, Manifold GIS, Idrisi, PCI Geomatica nebo ER Mapper.

Cílem bakalářské práce je vytvořit soubor příkladů zpracování digitálního obrazu v programu ArcGIS Desktop nástroji ERDAS IMAGINE. Tento soubor je primárně určen pro studenty Fakulty ekonomicko-správní Univerzity Pardubice a měl by sloužit jako opora při studiu předmětu GIS II, ale stejně tak dobře může posloužit i pro odbornou veřejnost a každému, kdo má o toto téma zájem. Student by si měl osvojit práci v extenzi Image Analysis v softwarovém prostředí ArcGIS Desktop, rozšířit si své vědomosti z předešlého předmětu GIS I a naučit s nástroji ERDAS IMAGINE pracovat.

V první části této práce je popsána problematika dálkového průzkumu Země. Jsou zde vysvětleny metody pořizování distančních dat a metody zpracování obrazu. Druhá část je věnována digitálnímu zpracování obrazu, konkrétně předzpracování, zvýraznění a klasifikaci. Softwarová prostředí ArcGIS Desktop a ERDAS IMAGINE a také extenze ERDAS IMAGINE pro ArcGIS Desktop tvoří třetí kapitolu této práce. V předposlední části je uváděn přehled dostupných výukových materiálů vhodných pro dálkový průzkum Země a digitální zpracování obrazu. Práci uzavírá kapitola o souboru řešených příkladů, jejich struktuře, zdroji použitých dat a obsahu těchto příkladů. Bakalářská práce je doplněna o přílohové CD, na kterém se nachází soubor řešených příkladů ve formátu pdf a zdrojová data s výsledky.

Vlastní bakalářská práce volně navazuje na bakalářskou práci Bc. Pavla Peciny, který se zabýval zpracováním obrazu v extenzi Image Analysis pro ArcGIS Desktop. Ta také obsahuje CD s podrobně zpracovanými příklady v pdf formě a data pro cvičení. Byla mi inspirací zejména strukturou jednotlivých cvičení a celkovým pojetím problematiky DPZ.

# 1 SBĚR DAT POMOCÍ DÁLKOVÉHO PRŮZKUMU ZEMĚ

## 1.1 Dálkový průzkum Země

Dálkovým průzkumem Země (DPZ, angl. Remote Sensing) se rozumí získávání informací, měření a zobrazování objektů a jevů na povrchu naší planety bez přímého fyzického kontaktu. Existuje mnoho dalších definic.

Dle Huntingtona je DPZ definován jako [10]: „*Dálkový průzkum Země je umění rozdělit svět na množství malých barevných čtverečků, se kterými si lze hrát na počítači a odhalovat jejich neuvěřitelný potenciál, který vždy přesahuje naše možnosti.*“.

Výsledkem DPZ jsou zpravidla snímky a družicové obrazové záznamy zpracované analogově (zachyceny nápodobou např. fotografie na fotografickém papíře) nebo digitálně (zachycení čísla např. grafy). [26]

Obrazové materiály pořízené z letadla nebo družice zaznamenávají dva druhy prostorových informací. Prvním druhem je dle [4] informace topologická o poloze zobrazovaných objektů, o jejich půdorysu a vzdálenosti od jiných objektů. Druhým typem je informace tematická neboli informace o typických vlastnostech objektů např. druh vegetace, typ reliéfu, struktura osídlení.

## 1.2 Pořizování dat distančními metodami

V dálkovém průzkumu Země je dle [4] nejčastěji měřenou veličinou intenzita odraženého nebo emitovaného elektromagnetického záření. Rozlišujeme dvě základní metody, jak toto záření měřit. Označují se jako konvenční (klasické) a nekonvenční metody. Hlavní rozdíly tvoří velké spektrální rozlišení nekonvenčních metod a větší prostorové rozlišení u metod konvenčních.

### 1.2.1 Konvenční fotografické metody DPZ

Konvenční metody, které dříve převládaly, jsou založeny na tom, že exponováním filmu ve fotografické komoře dochází na citlivé vrstvě fotografického papíru k chemické reakci, jež odpovídá množství záření, které na tuto vrstvu dopadlo. Kvalita leteckých a družicových snímků pořízených klasickými fotografickými metodami tedy závisí na technických parametrech fotografické komory, na jejich citlivosti a způsobech zpracování. Obraz vzniká najednou pomocí objektivu letecké fotografické komory v okamžiku expozice. Fotografické

snímky se nejčastěji zaznamenávají na fotografický papír, proto jsou zpravidla v analogové podobě. [4], [26]

### **1.2.2 Nekonvenční metody DPZ**

Nekonvenční způsoby zobrazení zemského povrchu se liší od klasických (fotografických) postupů jinou technikou vytváření obrazu. Metody jsou založené na vlastnostech šíření elektromagnetického vlnění, tepelného záření a mikrovlnného radiového vlnění. Obraz je vytvářen postupně v dynamickém režimu po jednotlivých obrazových prvcích (pixelech - podle picture element). Jejich velikost je závislá na rozlišovacích možnostech snímacího zařízení, tj. čím větší rozlišení, tím menší pixel. Na letecké fotografii je možno zaznamenat detail nerozeznatelný pouhým okem. V případě obrazových záznamů se rozměr nejmenšího prvku pohybuje většinou v řádu jednotek až stovek metrů. Elektronická zařízení ve snímačích družic dovolují zaznamenat široký vlnový rozsah elektromagnetického záření. Řadíme mezi ně:

- Radiometry a snímací rozkladová zařízení určená k měření radiace světelného až mikrovlnného záření. Zaznamenávají intenzitu dopadajících fotonů na povrch polovodiče.
- Termální skenery a radiometry, které zachycují tepelné záření z povrchu Země.
- Radiolokátory, které samy vysílají mikrovlnné záření a zaznamenávají odražené vlny od terénu. [4], [26]

### **1.3 Metody zpracování obrazu**

Získaný obraz z DPZ musíme zpracovat, abychom dosáhli požadovaného výstupu. Zpracováním obrazu můžeme získat interaktivní zobrazení na monitoru, animace, grafy a diagramy, numerické výstupy nebo analogové mapy tematické (kartografické, proximální, vrstevnicové), symbolické, kartodiagramy, liniové mapy a modely terénů [16]. Výsledným produktem bývá interpretace popisující výsledky zpracování. Interpretaci zde můžeme chápat jako soubor všech postupů, které vedou ke zlepšení a zvýšení množství informace o objektech nebo stavech. Vstupem digitální technologie nabyl obor interpretace analogových snímků nové dynamiky [21].

Dle Pavelky [21] můžeme metody zpracování obrazu dělit podle technologie na:

- analogové (letecká fotografie vykopírovaná na fotografický papír),
- digitální (naskenovaná letecká fotografie vizualizovaná ve tvaru matice čísel),
- speciální (smíšené).

### **1.3.1 Fotogrammetrické metody**

Zpracováním geometrických a měřičských informací o objektech, které jsou na snímcích, se zabývá *fotogrammetrie* [28]. Obvyklým fotogrammetrickým zařízením byl překreslovač, denzitometr nebo směšovací projektor. Dálkový průzkum Země a fotogrammetrie pomalu splývá v jeden celek, neboť v analogové oblasti přejímá DPZ metody fotogrammetrie a naopak digitální fotogrammetrie převzala technologii používanou v DPZ. [21]

Interpretací fotografických snímků neboli *fotointerpretace* dle [21] rozumíme zpracování informace v něm obsažené do podoby přístupné uživateli. Je založená na použití *interpretačních znaků*, které vyhodnocují změny na obrazových materiálech v analogové podobě. Mezi základní interpretační znaky patří tvar, rozměr, poloha, vztah k okolí, jas a barva, tón, stín, textura, struktura a příčinné souvislosti. Tyto znaky jsou využívány k sestavování *interpretačních klíčů*. [3]

### **1.3.2 Analogové metody**

Dle [21] analogové metody zpracování obrazu v DPZ převládaly až do 80. let. V dnešní době jsou fotografické postupy vytlačeny digitální technologií. Jak už bylo zmíněno, většina analogových záznamů jsou obrazové fotografické záznamy. Všechny tyto fotografické snímky se převádí do digitální podoby skenováním. Každý fotografický snímek je originálem, proto se u kosmických snímků vyráběly kopie originálů a z těch poté další odvozeniny. Aby docházelo k co nejmenším změnám obrazu kopírováním, byly vytvořeny speciální *řízené senzorické postupy*, které zaručovaly vysokou kvalitu převodu informací.

### **1.3.3 Digitální metody**

Digitální metody zpracování obrazu nabývají na významu od první pol. 70. let 20. století. Souvisí s rozvojem výpočetní techniky a dostupností primárně digitálních dat, která poskytují družice typu Landsat. Americké satelity Landsat stále produkují obrazová data a to již čtyřicet let. To dává dobré možnosti pro vyhodnocení časových změn na zemském povrchu. [21]

Digitální zpracování obrazových materiálů lze podle [4] rozdělit do následujících šesti oblastí:

1. *Předzpracování obrazu* slouží ke korekci zkreslení a šumu, které vznikají v průběhu vytváření obrazu.
2. *Zvýraznění obrazu* slouží k efektnějšímu znázornění obrazu pro další vizuální či automatické zpracování.
3. *Extrahování informace* obsahuje zejména klasifikaci obrazu.
4. *Studium dynamiky jevů* je využíváno k analýze časových změn.
5. *Modelování s obrazovými daty* má za cíl odvodit kvantitativní vztahy mezi daty získanými DPZ.
6. *Integrace obrazových dat a jejich vstup do GIS* předpokládá spojení obrazových dat s jinými geografickými daty dané oblasti.

Problematikou digitálního zpracování obrazu z DPZ se bude tato práce podrobněji zabývat v další kapitole.

## 2 DIGITÁLNÍ ZPRACOVÁNÍ OBRAZU

Digitální zpracování obrazu tvoří několik fází. Některé byly demonstrovány na praktických příkladech, kterým se věnuje pátá kapitola této bakalářské práce.

Teorie digitálního zpracování obrazů (DZO, angl. digital image processing) vznikla po 2. světové válce a souvisela se vznikem počítačů. Okolo roku 1950 vznikl obor, který se zabýval digitální obrazovou technologií, ale brzy se rozdělil na dvě části [21]:

- *počítačové vidění* (anglicky computer vision) – disciplína, která se snaží technickými prostředky napodobit lidské vidění,
- *digitální zpracování obrazu* (anglicky digital image processing) – veškerá manipulace s obrazy v digitální podobě.

Technologie DZO se prosadila z mnoha důvodů. Pavelka [21] uvádí např.: snadný a moderní přenos dat, dokonalé kopírování snímků, existenci citlivějších snímačů, lepší možnost geometrické a radiometrické transformace, snadnější odstranění šumu a možnost automatické klasifikace.

### 2.1 Předzpracování obrazu

Dle [20] předzpracování obrazu představuje řadu operací. Ty tvoří přípravnou fázi, při které se potlačují nebo naopak zvýrazňují určité znaky obrazu potřebné pro další zpracování.

Obrazové snímky nelze využít jako mapu, protože obsahují různé nepřesnosti. Ty v obrazovém záznamu vznikají ve všech stádiích používání GIS, a to od získávání až po vytváření výstupů [28]. Aby bylo možné data vzniklá metodami DPZ dále využívat, je nutné odstranit nebo alespoň potlačit tyto chyby. K tomu slouží korekce obrazů, která má za cíl vyrovnat chyby, šum a geometrická zkreslení, které vzniknou v procesu snímání, přenosu a zaznamenávání údajů. Výsledkem postupů korekcí je obraz upravený tak, aby co nejvíce odpovídal snímané skutečnosti. Pro odstranění zkreslení se provádí radiometrické, atmosférické a geometrické korekce. Rozlišujeme několik hledisek, podle kterých lze chyby v obrazovém záznamu členit. Jedním z nich je dělení na chyby symetrické (opakované) a náhodné. Z jiného hlediska lze chyby členit na vnitřní, které vznikají uvnitř systému, a vnější, jež souvisejí např. s vlivy atmosféry. [4], [21]



Při DZO je důležité si uvědomit, že manipulace a úpravy dat lze chápat jako kroky degradující původní data. Proto je nutno provádět jen zákroky nezbytně nutné, aby výsledky nebyli zcela zkreslené. [21]

### **2.1.1 Radiometrické korekce**

Dle [21] chyby způsobené změnami vnějších parametrů se snaží napravit radiometrické korekce. Vzhledem k tomu, že záření prochází atmosférou, která není stálá, je nutno tato data před využitím radiometricky upravit. Radiometrické korekce napравuje především chyby způsobené těmito změnami:

- ozáření (změna výšky Slunce),
- změna atmosférických podmínek (stav atmosféry),
- geometrie pohledu (změna v úhlu ozařování ve skenované řádce),
- odezvové charakteristiky přístrojů (kalibrace čísel).

Tyto korekce obsahují zpravidla dvě části, a sice kompenzaci sezónních rozdílů a odstranění náhodných radiometrických chyb.

#### **Kompenzace sezónních rozdílů**

Obrazové záznamy pořízené DPZ mohou mít značné odlišnosti vlivem výšky Slunce, která je proměnlivá s ročním obdobím a mění se také v závislosti na denní době. Při zkoumání změn odrazivosti objektů na povrchu Země v prostoru a čase je nutno přepočítat hodnotu pixelů na imaginární ozařování objektu ze zenitu. Rozdíly DN hodnot naměřené pro stejné povrchy můžeme eliminovat efekt výšky Slunce například použitím podílů původních pásem multispektrálního obrazu. Také mohou být prováděny radiometrické opravy na vzdálenost Země od Slunce. [4], [21]

#### **Odstranění náhodných chyb**

Značná většina digitálních obrazových záznamů obsahuje nepřesnosti převážně náhodné povahy. K náhodným chybám může dojít nepřesnou kalibrací nebo špatným přenosem signálu. Projevují se tím, že radiometrické DN hodnoty v záznamu buď chybějí, nebo jsou nepřesné. Obrazový řádek může být zkreslený nebo zcela chybějící. Odstranění těchto chyb se zpravidla provádí zprůměrováním hodnot sousedních řádků. Při příčném skenování obrazového záznamu je v naprosté většině snímáno více řádků najednou. K efektu páskování dochází v případě chybné kalibrace nebo rozdílné senzitivity detektoru. Ve výsledném snímku

se chybné pásy opakují v pravidelné periodě. Odstranění se provádí úpravou histogramu a na výpočtech základních statistických charakteristik pro řádky vznikající jednotlivými detektory. [4]

### 2.1.2 Atmosférické korekce

Komplikovanou složkou je kompenzace vlivu atmosféry. Pro vyjádření vlivu atmosféry se používají vztahy mezi odrazivostí měřenou čidlem a skutečnou odrazivostí povrchu. Atmosféra jako hmotné prostředí způsobuje změnu naměřených hodnot především procesy pohlcování a rozptylu, které mají aditivní charakter. Znečištění atmosféry vytváří v obraze získaném dálkovým průzkumem země zamlžení - snížení kontrastu, a proto je nutno v první řadě odstranit atmosférické efekty jako kouřma či zákal. Metod eliminace může být několik. [4], [21]

Pomocí *metody nejtmašího pixelu* lze odstranění docílit monitorováním pozemních útvarů s relativně konstantní odezvou (např.: voda, led, sníh, poušť). K porovnávání se nejčastěji používá vyzařování hlubokých vodních objektů v oblasti blízkého infračerveného záření, které má prakticky nulovou odrazivost. Takto zjištěná hodnota radiometrické charakteristiky může být odečtena od všech obrazových prvků - pixelů. [4]

Druhou metodou je dle [4] *regresní analýza*. Postupy této metody jsou založené na regresní analýze mezi daty naměřenými z různých zdrojů nebo mezi jednotlivými pásmy nejlépe v době přeletu družice. Metoda je časově a finančně velmi náročná, proto se nejvíce provádí pro experimenty.

Další metodou je *modelování atmosférických podmínek*. Za pomoci meteorologických dat, jako jsou teplota, vlhkost vzduchu či znečištění, lze parametrizovat vlivy atmosféry. Uvedené hodnoty spolu s hodnotami obrazového záznamu získaného dálkovým měřením vstupují do numerických modelů, které ve výsledku poskytují korigovaná data o radiálních a zářivých vlastnostech objektů. [4]

Atmosférické korekce se využívají hlavně za účelem získání absolutní hodnoty odrazivosti, která vychází z původních naměřených dat, aby bylo možno kvantifikovat jejich vlastnosti. [21]

### 2.1.3 Geometrická korekce

Dle [21] obsahují obrazová data DPZ ve svém původním nekorigovaném tvaru významné geometrické nepřesnosti, protože díky zakřivení Země nesouhlasí družicové snímky s užívanými mapami. Cílem geometrických korekcí je odstranění tohoto zkreslení obrazu tak, aby výsledný obraz měl souřadnicový systém a aby bylo možno snímek využít jako mapu. Geometrické zkreslení obrazu většinou plyne ze způsobu vytváření obrazového záznamu a je tedy specifické pro leteckou fotografii i pro záznamy z různých typů skenerů. V případě letecké fotografie se jejími geometrickými vlastnostmi zabývá již zmiňovaná fotogrammetrie. Jak uvádí [4], patří sem jevy od kolísání výšky a rychlosti pohybu nosiče až po faktory postihující zakřivení Země, atmosférické refrakce, změny v poloze objektů v důsledku výkyvů nadmořské výšky terénu a nelinearity v průběhu snímání senzoru.

Geometrické korekce slouží k několika účelům. Železný [29] uvádí například účel transformace obrazových dat do určité mapové projekce, propojení obrazových dat s prostorovou vektorovou databází v GIS, porovnání obrazových záznamů pořízených stejným či odlišným snímacím zařízením za účelem studia časových změn, vytvoření mozaiky z několika obrazových záznamů a tvorby ortofotomap.

Geometrickou korekci lze provádět dle [21] celkem třemi různými způsoby.

1. Přímou transformací do určeného souřadnicového systému a projekce se známými orbitálními parametry.
2. Přímou geometrickou transformací, kde jsou určeny vlíčovací body nebo vektory. Z originálního snímku se bere pixel za pixelem a jeho nová poloha ve výsledném obraze se vypočítá pomocí transformačních matic.
3. Nepřímou geometrickou transformací na základě vlíčovacích bodů či vektorů podle opačného postupu. Podstatou je hledání pixelu v původním obraze, který je vzorem pro pravidelně přetransformovaný pixel za pomoci inverzních transformačních rovnic.

Mezi základní transformace patří *rektifikace*, kdy dochází k transformaci polohy všech obrazových prvků z jednoho souřadnicového systému do druhého. Poloha každého bodu v původní a v nové soustavě je rozdílná a stejně tak rozdílný může být i jeho rozměr. Druhým krokem této transformace je pak *převzorkování*. Tento proces DN hodnoty každého obrazového záznamu transformuje z původní do nové souřadnicové soustavy. Výsledkem

rektifikace a nevzorkování je, že jsou oba záznamy ve stejné souřadné soustavě a tím jsou i porovnatelné. [4], [29]

Jednou z metod rektifikace je tzv. *registrace*. Jde o proces, kterým se souřadná soustava jednoho záznamu upraví tak, aby odpovídala soustavě jiného obrazového záznamu. Data jsou totiž pořizována v různých souřadných soustavách, v různém rozlišení. Je-li k registrovaným datům dodána informace o absolutní poloze alespoň jednoho pixelu, potom tento proces označujeme jako *georeferencování*. Dalším důležitým pojmem je geokódování. Je to proces rektifikace, během něhož jsou transformována obrazová data do určité kartografické projekce a poloha každého obrazového záznamu je vyjádřena v systému mapových souřadnic. Takto vzniklým datům se říká *geokódová data*. Lze je kombinovat s vektorovými daty ve stejné kartografické projekci. [4]

*Ortorektifikace* je proces, který odstraní deformace i nepřesnosti vznikající v důsledku relativní změny polohy objektů, jež plyne z jejich různé nadmořské výšky. Ortorektifikace s využitím digitálního modelu terénu je nejpřesnější metoda převedení digitálních snímků do zvoleného mapového zobrazení [9]. [29]

## 2.2 Zvýraznění obrazu

Zvýraznění obrazu jsou operace, které jsou aplikovány všude tam, kde se předpokládá vizuální interpretace obrazu. Působením procesů se zvýrazní potřebná vlastnost obrazu, která při vytváření dat zůstala potlačena nebo zkreslena. Postupy na zvýraznění obrazu lze dle [14] rozdělit na metody:

- *bodové* – výstupní hodnota pixelu je závislá pouze na hodnotě vstupního pixelu ve stejné poloze (bez ohledu na okolí),
- *prostorové* – výstupní hodnota pixelu je závislá na hodnotách pixelů z vymezeného okolí výstupního pixelu v téže poloze,
- *spektrální* – výstupní hodnota pixelu je závislá na všech hodnotách pixelů ve vstupním obrazu.

### 2.2.1 Bodové zvýraznění

Radiometrické neboli bodové zvýraznění vždy pracuje s histogramem obrazu a zvýrazňuje hodnoty pixelů bez ohledu na okolí. Toto zvýraznění využívá různé metody.

*Prahování* (angl. thresholding) spočívá v tom, že objekty a pozadí mají rozdílnou úroveň intenzity. Tato metoda používá jednoduché zobrazovací tabulky, které podle prahové DN

hodnoty dělí hodnoty pixelů do dvou kategorií. Je zvolená prahová hodnota či práh a každý obrazový bod, který má hodnotu obrazového bodu menší než tento práh, tak přináleží objektům. Bude jim přiřazena hodnota černé, protože odstíny šedé barvy nad tímto prahem jsou interpretovány jako hodnota 0 (v případě 8bitových dat). Všechny ostatní obrazové body přináleží pozadí a ve výstupním obrazu jim bude přiřazena hodnota bílé 255. [4], [14]

*Hustotní řezy* (angl. *density slicing*) tvoří rozšíření konceptu prahování, proto se můžeme setkat i s výrazem *vícenásobný práh*. V obou metodách jde o redukování počtu hodnot pixelů v původním obraze do menšího počtu tříd. Na rozdíl od prahování hustotní řezy rozdělují stupně šedi do většího počtu tříd a přiřazují jednotlivým třídám barvu. Stejně jako u předchozí metody jde o jednopásmové zvýraznění. [4], [7]

*Zvýraznění kontrastu* lze dle [12] dosáhnout pomocí roztažení histogramu. Pro optimální zvýšení kontrastu obrazu se nejčastěji používá metoda vyrovnání histogramu. Ve výsledném vyrovnaném histogramu obrazu jsou jednotlivé jasové úrovně zastoupeny zhruba stejně četně.

## **2.2.2 Prostorové zvýraznění - pomocí filtrů**

Prostředkem prostorového zvýraznění je filtrace. Filtrace je obecný název pro soubor operací úpravy obrazů, které mění hodnotu jasu vstupního obrazu na jiné hodnoty jasu výstupního obrazu. Mají za cíl zvýraznit či naopak potlačit určité informace např. zvýraznění kontrastu mezi objekty, zmírnění rozostření obrazu atd.

U údajů pořízených DPZ máme k dispozici jen jeden obraz se šumem, proto obraz filtrujeme lokálním filtrováním. Je velmi pravděpodobné, že sousední obrazové elementy mají blízkou intenzitu jasu, proto při průměrování každého bodu obrazu přiřadíme novou hodnotu jasu, která je průměrem původních jasů v okolí. Nejčastěji se používá okolí 3x3 nebo 5x5 nejbližších okolních pixelů. Velikost okolí se stanovuje filtrovacím obrazovým okénkem označovaným jako maska filtru. Nevýhodou takového filtrování je rozmazávání hran v obraze. [28]

S filtrací souvisí i pojem prostorová frekvence, která vyjadřuje odlišnosti mezi daným pixelem a jeho sousedy. Vysoká frekvence znamená, že jsou rozdíly vysoké, nízká frekvence naopak znamená, že rozdíly jsou malé. Všeobecně lze filtry rozdělit na filtry s nízkou propustností, které ořezávají vysoké frekvence v obraze (ztrácejí se ostře vystupující detaily, jako např. liniové prvky), a filtry s vysokou propustností, které naopak zdůrazňují vysoké frekvence (jsou to zejména ostřicí filtry a hranové operátory). [11]

Obraz lze dle [11] dále prostorově zvýraznit pomocí textury a Fourierovy transformace. Na texturu můžeme pohlížet ze dvou úhlů. Jednak jako na míru uspořádanosti povrchových objektů, jednak jako na plošné rozložení stupňů šedi. Textura se hodnotí velmi často u radarových obrazových dat. Zde se používají tzv. texturální míry. Pro popis textury lze užít gradientové operátory nebo statistické momenty.

Jak už bylo zmíněno v první kapitole, prostřednictvím Fourierovy transformace lze přejít z prostorového souřadnicového systému do souřadnicového systému frekvenčního. Vlastní operace je založena na proložení spojité funkce diskrétními DN hodnotami. „Vrcholy“ a „prohlubně“, které jsou umístěny podél dané řádky či sloupce, se dají popsat pomocí série trigonometrických funkcí sin a cos o různých amplitudách a frekvencích. Když je obraz transformován do svých složkových četností výskytu, lze tyto hodnoty ukázat ve dvourozměrném rozptylogramu jako tzv. Fourierovo spektrum. Vyšší četnosti jsou směrem ven ze středu souřadnicového systému. [11]

### **2.2.3 Spektrální zvýraznění**

Jak uvádí [24], do spektrálního zvýraznění obrazu náleží operace, které pracují s hodnotami spektrální odrazivosti snímků. Jsou založeny na výpočtech, které využívají vícepásmovou podstatu materiálů DPZ. Spektrální zvýraznění počítá s tím, že spektrální příznaky objektů se v jednotlivých pásmech liší. Spadá sem tvorba barevných syntéz, transformace barevného obrazu a analýza hlavních komponent.

#### **Barevná syntéza**

Digitální obrazy se obvykle zobrazují jako aditivní barevné syntézy složené ze tří základních barev - červené, zelené a modré. Výsledný obraz se označuje jako RGB (Red, Green, Blue). Jestliže máme k dispozici tři pásma z viditelné části spektra, která odpovídají vnímání lidského oka pro červené, zelené a modré pásmo, pak jsou označovány jako tzv. *skutečné barvy*. Pokud se do barevné syntézy použijí pásma zaznamenávající jiné vlnové délky např. kombinování dvou viditelných pásem spektra a infračerveného pásma, hovoříme dle [11] o tzv. *nepravých (falešných) barvách*.

#### **Transformace barevného obrazu**

Dle [11] sem zahrnujeme transformaci IHS a transformaci Martin - Taylor. Akronym IHS vychází z anglických slov pro intenzitu (intensity) vyjadřující celkový jas, odstín (hue) sdělující průměrnou vlnovou délku světla a sytost (saturation) popisující čistotu barvy

vzhledem ke stupni šedi. Výhodou systému IHS je, že lze zvýraznit každou složku nezávisle bez ovlivnění ostatních.

Model Martin – Taylor (MT) je podle [11] transformace trojrozměrného souřadnicového systému do nového barevného prostoru, který lépe odpovídá citlivosti lidského oka. Složky MT systému jsou mírou zastoupení jasu, červeno-zelené a modro-žluté. Jejich pořadí je závislé na důležitosti pro lidský zrak.

### **Analýza hlavních komponent**

Ke zvýraznění multispektrálního obrazu se využívá metoda analýzy hlavních komponent (PCA, angl. Principal Components Analysis). Je to statistická metoda, která vychází z toho, že důležitá spektrální informace není obsažena ve všech pásmech. Cílem je redukce původního množství popisovaných proměnných novými veličinami (označenými jako komponenty), které shrnují informaci o původních proměnných za cenu minimální ztráty informace. Komponenty jsou vzájemně nezávislé. První komponenta vysvětluje největší množství rozptylu, druhá pak menší množství rozptylu, které se u dalších komponent rychle snižují. [13]

## **2.3 Klasifikace**

Klasifikace obrazových dat DPZ představuje proces, kdy jsou kvantitativní charakteristiky obrazu transformovány na kvalitativní. Podstata klasifikace podle [24] spočívá v předpokladu, že spektrální odrazivost různých typů objektů se v různých oblastech spektra projevuje odlišně. Cílem klasifikace je záměna hodnot radiometrických charakteristik původního obrazu hodnotami vyjadřujícími informační třídy. Klasifikace je založena na použití rozhodovacích pravidel (klasifikátorů), podle nichž lze identifikovat podobné prvky (entity) obrazu a vzájemně je seskupit do jednotlivých skupin (tříd) o stejných vlastnostech. Klasifikace jako taková zahrnuje dva důležité kroky. V prvním kroku je analyzována podobnost obrazových prvků s ohledem na spektrální odrazivost objektů. V druhém, neméně důležitém kroku, následuje vlastní klasifikace, tj. přiřazení k jednotlivým třídám.

### **2.3.1 Druhy klasifikace**

#### **Řízená klasifikace**

Řízenou klasifikaci můžeme chápat jako proces, kdy jsou vytvářeny spektrální signatury uvažovaných kategorií [24]. V případě řízené klasifikace je vyžadován vstup od uživatele, který předem definuje tzv. trénovací plochy. Statistika obrazových dat je ovlivněna výběrem

trénovacího souboru, proto má uživatel možnost ovlivnit počet výsledných tříd i jejich význam. [8]

### **Neřízená klasifikace**

Neřízenou klasifikací rozumíme proces, který automaticky seskupuje jednotlivé pixely s podobnými charakteristikami do spektrálních tříd. Od řízené klasifikace se dle [8] liší celým svým pojetím. Nejprve jsou seskupeny pixely na základě blízké spektrální odezvy do tzv. shluků (clusterů). Vlastní klasifikace se pak provádí iterativním přiřazením pixelů k jednotlivým centrům shluků. Po klasifikaci je nutné provést analýzu, která ukáže, co jednotlivé třídy vlastně představují.

### **Tvrdá a měkká klasifikace**

Tvrdé klasifikátory přiřazují každý pixel jednoznačně do té kategorie povrchu, která má nejpodrobnější signaturu.

Měkké klasifikátory vyhodnocují míru příslušnosti zpracovávaného pixelu ve všech uvažovaných třídách včetně neznámých a nespecifikovaných. [20]

## **2.3.2 Hodnocení přesnosti klasifikace**

Metoda určující obecně přijímaný postup pro přesnost klasifikace neexistuje, protože je nutné hodnotit kvalitu a množství pozemních podpůrných dat. Dva nejvíce používané přístupy používají digitální porovnávání výsledku klasifikace se skutečností.

Podle Halounové [11] je jedním z nich porovnávání v testovacích plochách, které jsou známy z jiných referenčních dat. Testovací plochy jsou reprezentovány předem vybranými homogenními testovacími plochami nebo testovacími plochami, případně pixely, vybranými náhodně. Druhým přístupem je kontingenční tabulka, kterou nelze použít jako určení přesnosti, neboť nehodnotí celý obraz, ale pouze výsledek klasifikace trénovacích ploch. Testovací plochy jsou reprezentativní homogenní typy zemského povrchu, které se liší od trénovacích ploch. Teprve pro tyto plochy se zjistí kontingenční tabulka. Nevýhodou kontingenční tabulky je nepřesný obraz skutečnosti, protože testovací plochy jsou většinou homogenní oproti celému obrazu. Porovnání celého výsledku klasifikace je časově a finančně náročné, proto se většinou provádí náhodné vzorkování.

Přesnost výsledků klasifikace je možné také vyjádřit pomocí hodnot *Kappa indexu*, který se pohybuje v rozsahu  $<0,1>$ . Tato metoda porovnává klasifikaci provedenou podle určitého rozhodovacího pravidla s klasifikací vzniklou zcela náhodným procesem. Výpočet indexu je



založen na předpokladu, že i při naprosto náhodném procesu zařazování pixelů do jednotlivých tříd bude určité procento těchto pixelů zařazeno správně. [4]

Při odhadu přesnosti klasifikace je potřeba vzít v úvahu, že kvalita jakéhokoliv odhadu je pouze tak dobrá, jak je dobrá informace o skutečném stavu. Také je důležité si uvědomit, že způsob odhadu přesnosti klasifikace musí být v souladu s účelem klasifikace. [11]

### **2.3.3 Úpravy po klasifikaci**

Klasifikovaná data mají několik izolovaných pixelů, které jsou často umístěny na hranicích mezi dvěma jasně stanovenými oblastmi. Dávají obrazu vzhled, který je z hlediska prezentace výsledků nežádoucí [5]. V takovém případě nehomogenní plochy chceme dále upravit, vyhladit. K tomu slouží postklasifikační filtry, které jsou založeny na logickém operátoru (ne na aritmetických operacích). Jedním z nich je síťový filtr, dalším pak filtr majoritní. Nejprve je stanovena majoritní třída. Jestliže střední pixel v okně nemá hodnotu majoritní třídy, na tuto hodnotu se změní. Pokud v okně není majoritní třída, identita středního pixelu zůstane nezměněná. [11]

### **3 NÁSTROJE ERDAS IMAGINE V ARCGIS DESKTOP**

Vlastní bakalářská práce se zabývá digitálním zpracováním dat v softwaru ArcGIS Desktop. ArcGIS Desktop lze rozšířit o produkty přidáním specializovaných nadstavěb. Firma ERDAS poskytuje několik řešení v různých aplikačních oblastech na platformě ArcGIS. Jednou z nich je Image Analysis pro ArcGIS Desktop. V tomto programovém prostředí byly nástroje ERDAS IMAGINE vypracovány praktické příklady, jež jsou součástí této bakalářské práce. Image Analysis nabízí řadu rozšiřujících nástrojů, které však mohou být pro náročnější uživatele nedostačující. V tomto případě mohou využít jiný rastrově orientovaný software, konkrétně např. ERDAS IMAGINE.

#### **3.1 ArcGIS Desktop**

Vektorově orientovaný komerční software ArcGIS Desktop patří do sady softwarových produktů společnosti Environmental System Research Information (Esri), což je v současné době největší světový výrobce softwarů zabývající se GIS problematikou.

ArcGIS Desktop je integrovaná sada aplikací GIS. Je k dispozici ve třech licencích lišících se různou úrovní složitosti, a to ArcGIS for Desktop Basic, ArcGIS for Desktop Standard a ArcGIS Desktop Advanced. Obsahuje sadu integrovaných softwarových aplikací: ArcMap, ArcCatalog, a ArcToolbox a ModelBuilder.

ArcCatalog aplikace umožňuje organizovat a uspořádat data používaná v GIS. Dále také slouží k vyhledávání geografických informací, prohlížení metadat či datových sad, editování geografických dat (geodat) a vytváření komplexních geodatabází, ve kterých budou data uložena. [2]

ArcMap je jednou z hlavních aplikací ArcGIS Desktop. Slouží k vytváření map, s nimiž interaktivně pracuje nebo je prohlíží. Dále pak edituje a analyzuje geodata a umožňuje vytvářet mapy, které propojují data velké palety formátů včetně shapefile, tabulek, gridů, rastrů, nepravidelných trojúhelníkových sítí atd. [2], [27]

ArcToolbox je dle [2] aplikace obsahující velké množství GIS nástrojů používaných k prostorovým operacím. Je určena na analyzování stávajících geodat a tím i k získání nových informací.

## 3.2 ERDAS IMAGINE

ERDAS IMAGINE je převážně rastrově orientovaný software navržený americkou společností ERDAS, kterou koupila firma Leica Geosystems. Uživateli umožňuje zpracovávat různé typy geodat. Stejně jako u ArcGIS se jedná o komerční software. Primárně je určen na zpracování distančních dat počínaje jejich multispektrální analýzou přes rektifikaci či ortorektifikaci až po tvorbu nebo aktualizaci tematických vrstev GIS a kartografické výstupy. ERDAS IMAGINE má nástroje určené pro prostorovou analýzu, pro práci s atributovými tabulkami, pro editaci stávajících či vytváření nových datových modelů, které slouží k ukládání geografických prvků. [27]

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

Sestava modulů **IMAGINE Essentials** je dle [27] vstupní úrovní ERDAS IMAGINE. Nabízí nástroje pro radiometrické, prostorové a spektrální zvýraznění snímků, vizualizaci, rychlou analýzu změn v území, tvorbu a editaci vektorových vrstev, pro zobrazení tematických dat (mohou být rastrová i vektorová) podle hodnot atributů, rektifikaci snímků do zvoleného kartografického zobrazení. Dále také poskytuje nástroje pro automatickou klasifikaci multispektrálních snímků, tvorbu mapových výstupů. Je možné také vytvářet vizualizaci rastrů ve 2D a 3D.

Sestava modulů **IMAGINE Advantage** nabízí vyspělejší a přesnější mapování. Především sestavu doplňují tyto moduly o nástroje zpracování obrazu a analýzy GIS, spojování snímků (mosaicking), vyrovnání barev a jednosnímkové ortorektifikace. [27]

Výše zmíněné sestavy modulů doplňuje **IMAGINE Professional** o nástroje pro profesionální klasifikaci multispektrálních a hyperspektrálních snímků a pro zpracování radarových dat. Dále je rozšířen o grafický objektový nástroj Model Maker, ve kterém lze definovat vlastní úlohu pomocí grafického schématu a přiřazením požadovaných funkcí. [27]

## 3.3 ERDAS extenze pro ArcGIS Desktop

ERDAS extenze pro ArcGIS Desktop nabízí několik rozšiřujících sad nástrojů. Patří sem Image Analysis, Stereo Analyst (s doplňky ERDAS Terrain Editor a FeatureAssist pro ArcGIS), Feature Analyst a LIDAR Analyst.

Image Analysis pro ArcGIS je nadstavbou od ERDAS IMAGINE, která umožňuje přípravu snímků pro GIS přímo v prostředí ArcGIS Desktop. Jedná se o rozšiřující nástroje pro zpracování snímků pořízených DPZ. Pomocí těchto nástrojů lze například provádět barevné vyrovnání, klasifikaci snímků dále ořezávat, maskovat, mozaikovat, využívat detekci změn nebo ortorektifikaci. Je možné provádět import a export různých rastrových formátů jako TIFF, PNG, IMG, JPG a mnoho dalších. Umí rovněž převádět rastrová data na vektorová a naopak. Image Analysis je plně integrován s ArcGIS, proto umožňuje získat aktuální informace ze snímků přímo do geodatabáze, čímž zvyšuje přesnost a produktivitu. Může běžet na ArcGIS for Desktop Basic, Standard i Advanced. Téměř všechny funkce Image Analysis jsou k dispozici v aplikaci ArcToolbox. [15]

Stereo Analyst pro ArcGIS vytváří a reviduje rozsáhlou databázi feature dat ve 3D. Rozšiřuje možnosti vizualizace a zároveň podporuje všechny nástroje ArcGISu. [15]

Feature Analyst a LIDAR Analyst pro ArcGIS a ERDAS IMAGINE poskytují obsáhlou sadu nástrojů pro tvorbu digitální mapy. Nástroje slouží k získání objektově-specifických prvků ze všech typů GIS snímků a LIDAR dat. [15]

Tato bakalářská práce se v závěrečné části zabývá nástroji ERDAS IMAGINE v extenzi Image Analysis pro ArcGIS Desktop.

## 4 PŘEHLED DOSTUPNÝCH VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ

Odkazy na DPZ lze najít v nejrůznějších podobách počínaje fyzicky vydanými publikacemi, jako jsou knihy, časopisy či skripta z různých vysokých škol konče virtuálními výukovými materiály. Ke studiu je možné použít české, ale i zahraniční materiály, které se zabývají jak obecnými pojmy, tak úzce zaměřenými dílčími tématy až po konkrétní aplikaci pomocí praktických příkladů.

### 4.1 Přehled výukových materiálů pro DPZ a DZO

Existuje celá řada publikací zabývajících se dálkovým průzkumem Země a digitálním zpracováním obrazu. Jednou z možností jsou i internetové výukové materiály. Jejich hlavní předností je snadná a rychlá dostupnost. Níže je uvedeno jen několik z nich. Studijní text od docenta Dobrovolného byl vybrán z toho důvodu, že obsahuje všechna důležitá témata DPZ a DZO. Skriptum doktorky Svatoňové sice není nejobsáhlejší, ale zato je srozumitelné a přehledně zpracované. Ostatní materiály byly inspirací při tvorbě vlastních příkladů.

Učební text *Dálkový průzkum Země: Digitální zpracování obrazu* napsaný doc. RNDr. Petrem Dobrovolným, CSc. [4] se zabývá zejména družicovým DPZ a metodami zpracování digitálních obrazových záznamů z družic.

Doc. Ing. Lena Halounová, CSc. a Prof. Dr. Ing. Karlem Pavelkou vytvořili studijní text *Dálkový průzkum Země* [11] určený převážně pro studenty technických univerzit. Věnuje se především fyzikální a technické podstatě DPZ.

Skriptum PhDr. Hany Svatoňové a Prof. Ing. Lubomíra Lauermanna, CSc. *Dálkový průzkum Země - aktuální zdroj geografických informací* [26] shrnuje nejpodstatnější informace o DPZ z družic včetně údajů o jejich oběžných drahách. Charakterizuje nejznámější družicové systémy, prostřednictvím nichž se pořizují obrazy Země.

Jedna z nejvíce citovaných zahraničních publikací *Remote Sensing And Image Interpretation* [19] tří autorů Thomase Lillesnda, Ralpa Kiefera a Jonathana Chipmana seznamuje čtenáře s nejnovějším vývojem v oblasti DPZ a interpretací obrazu. Poskytuje tak ucelený úvod do této oblasti. Zdůrazňuje úzkou součinnost mezi souvisejícími oblastmi DPZ, DZO, GIS a environmentálním modelováním.

Tutoriál *The Remote Sensing Tutorial* [25] od Dr. Nicolase M. Shorta, Sr. je dostupný na internetových stránkách FAS (Federation of American Scientists). Je obsahově velmi rozsáhlým materiálem pojednávajícím o DPZ.

## **4.2 Přehled výukových materiálů o DZO pro různá programová prostředí**

Profesionálním programovým nástrojem GIS pro práci s mapami a geografickými informacemi je ArcGIS Desktop. Pro digitální zpracování distančních dat slouží i mnoho jiných softwarů jako např. ERDAS IMAGINE, GRASS, Manifold GIS či Idrisi.

Jedním z vhodných materiálů pro práci s Image Analysis je uživatelská příručka *Using Image Analysis for ArcGIS* [1], jež je součástí softwaru. Příručka obsahuje základní informace pro použití pokročilých metod zpracování dat DPZ včetně několika praktických příkladů a je napsána v anglickém jazyce. Některé úlohy byly použity jako vzor pro tvorbu vlastních příkladů.

Donedávna neexistovala žádná česká publikace zabývající se prací v Image Analysis pro ArcGIS. V roce 2009 vznikla bakalářská práce Bc. Pavla Peciny [22], která řeší osm cvičení zpracování obrazu v extenzi Image Analysis programu ArcGIS Desktop. Je to tedy první česky psaný studijní materiál. Práce dále obsahuje podrobně zpracované příklady v pdf formátu a CD s daty pro cvičení. Tato práce mě inspirovala ve tvorbě vlastní bakalářské práce zejména strukturou jednotlivých cvičení. Mým záměrem bylo na tuto práci navázat.

Uživatelská příručka *ERDAS IMAGINE Tour Guide* [6], která je dodávána spolu se softwarem ERDAS IMAGINE, je kompletním manuálem reprezentujícím Imagine komponenty a přídatné moduly. Neobsahuje obecnou teorii, ale popisuje na praktických příkladech, jak by se měly používat některé základní nástroje určené pro zpracování snímků pořízených DPZ. Součástí příručky jsou i vzorová data, která jsem využila v následující části bakalářské práce.

Výukový a metodický text *Země očima satelitů* [18] od RNDr. Lucie Kupkové, Ph.D. a Mgr. Luboše Krále je publikace, která se skládá ze dvou částí. První část tvoří stručné pojednání o podstatě, principech a využití DPZ. Druhou částí jsou pracovní listy s klíčem. Některé listy jsou zaměřené na vizuální interpretaci snímků, v dalších jsou pak zařazeny úkoly, které vyžadují speciální software LEOWorks.

Akademickou práci *Soubor řešených příkladů pro Idrisi Andes* [20] vypracovala Ing. Ivana Merunková. Diplomová práce se zabývá DZO a její součástí je přepracování existujících příkladů a návrh nových úloh v programu Idrisi Andes. V rámci této práce byl vytvořen e-learningový kurz v LMS Moodle obsahující soubor řešených příkladů.

Bakalářská práce Bc. Markéty Kotlanové *Analýza mikroskopického obrazu v LabVIEW* [17] se zabývá analýzou a zpracováním mikroskopického obrazu. V této práci je popsána teorie ke zpracování a analýze obrazu. V prostředí LabVIEW byl vytvořen funkční software pro předzpracování, zpracování a analýzu obrazu a zpracování barevného obrazu.

Výukový materiál *Image Analysis and Classification Techniques using ArcGIS 10* [23] od Pariho Ranada a Ayse Irmaka obsahuje soubor typických úloh analýzy DPZ řešených v ArcGIS 10. Spolu s materiálem jsou poskytována i cvičná data, která byla využita ve vlastním příkladu.

## 5 SOUBOR ŘEŠENÝCH PŘÍKLADŮ

Úkolem této bakalářské práce bylo navrhnout několik příkladů DZO a vypracovat je v programu ArcGIS Desktop nástroji ERDAS IMAGINE. Předpokládá se tedy základní znalost prostředí ArcGIS Desktop a to alespoň v rámci rozsahu předmětu Geografické a informační systémy (GIS I), který se vyučuje na Fakultě ekonomicko-správní Univerzity Pardubice.

### 5.1 Struktura příkladů

Příklady byly logicky uspořádány podle jednotlivých fází DZO od předzpracování přes zvýraznění až po klasifikaci. Byly také utříděny od operací jednodušších po náročnější z hlediska přípravy i teoretických znalostí řešitele. Při práci byla dodržována určitá struktura příkladů. Samotný text obsahuje různé typy formátování písma. Například používaná data byla značena proloženě a text zvýrazněný tučně upozorňoval na názvy nástrojů, dialogových oken či na jednotlivé příkazy, přičemž vše je v jednotném stylu.

Jednotlivá cvičení vždy začínají teoretickým úvodem, který má uživatele uvést do problematiky daného příkladu. Každé cvičení také obsahuje téma, jež stručně vytyčuje, čeho se cvičení týká. Další částí struktury je určení cílů cvičení. Zde jsou uvedeny jednotlivé dílčí cíle, které vedou k vypracování celého cvičení. Před samotným cvičením je uvedena pracovní složka, v níž se nacházejí zdrojová data. S těmito daty uživatel pracuje v následujícím příkladu.

Samotné vypracování cvičení je doprovázeno množstvím doprovodných snímků obrazovky (print screenů). Tyto snímky zjednodušují práci řešitele tím, že zobrazují aktuální příklad v rozpracované podobě. Pro lepší orientaci je také cvičení členěno do dílčích kroků, jež mohou být uvedeny krátkým popisem. Díky komentářům řešitel lépe pochopí problematiku daného cvičení.

V závěru je uveden krátký souhrn celého cvičení, jeho účel a výsledky. Pro ověření porozumění cvičení a získaných znalostí jsou na konci k dispozici kontrolní otázky a úkoly. Samozřejmě zde nechybí prostor pro poznámky.



## 5.2 Použitá data

Převážná většina použitých dat v jednotlivých příkladech je od firmy ERDAS a je volně dostupná na stránkách jejich společnosti ([geospatial.intergraph.com](http://geospatial.intergraph.com)). Jedná se o ukázky dat ERDAS nadstavby pro ArcGIS 10. Další data byla stažena ze stránek Fakulty životního prostředí UJEP v Ústí nad Labem ([gis.fzp.ujep.cz](http://gis.fzp.ujep.cz)). Výukový materiál [23], který byl také využit v dílčí části příkladu, sloužil jako třetí zdroj dat.

Ve cvičeních byly použity tři datové formáty, jeden z nich byl IMG od firmy ERDAS další TIFF a třetí formát Shapefile (.shp, .shx, .dbf) určen pro ukládání vektorových prostorových dat. Jednotlivé snímky pocházejí převážně ze satelitů Landsat TM a SPOT.

## 5.3 Obsah jednotlivých příkladů

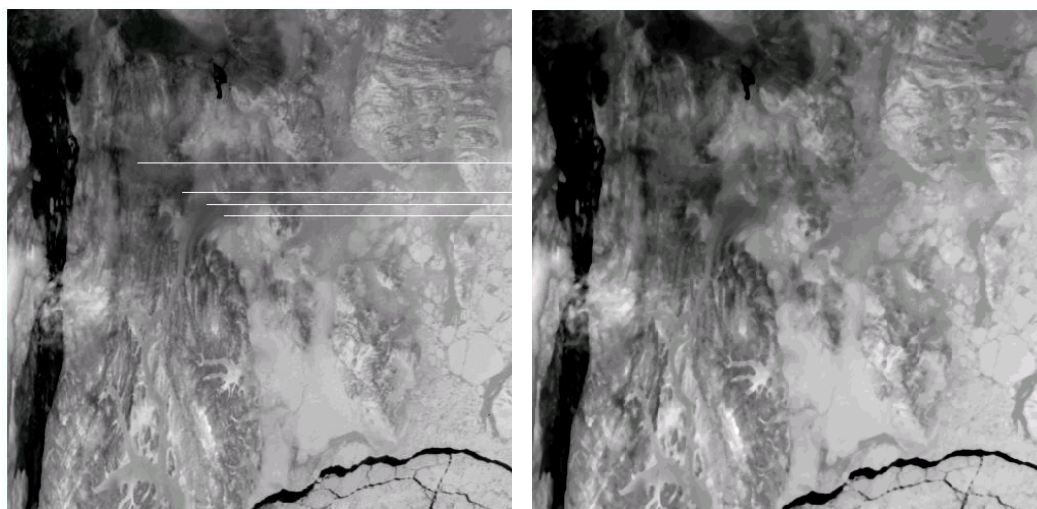
Všechny příklady byly vypracovány v programu ArcGIS Desktop nástroji ERDAS IMAGINE. Cvičení 6. je převzato z [15], dílčí příklady cvičení 2 a 4 jsou také převzaty z [15]. Ostatní 1, 3, 5 a 7 jsou vlastní, inspirovány [15], [22], [23]. Koncepce sedmi příkladů pro DZO je následovná:

1. Úvod do digitálního zpracování obrazu
2. Předzpracování
3. Zvýraznění 1. část – radiometrické a prostorové
4. Zvýraznění 2. část – transformace multispektrálního obrazu
5. Vegetační indexy
6. Automatický výběr oblasti s podobnými vlastnostmi
7. Řízená klasifikace

První cvičení – **Úvod do digitálního zpracování obrazu** je zaměřeno na seznámení s nástroji ERDAS IMAGINE v prostředí ArcGIS Desktop. Úvod je věnován praktické stránce například přidání extenze do prostředí ArcGIS Desktop, vytvoření nového mapového okna či načtení snímku. V závěrečné části jsou pak na snímku *lanier.img* ukázány základní operace zpracování dat DPZ a to vytváření barevných kompozic, práce s histogramem a inverze barev.

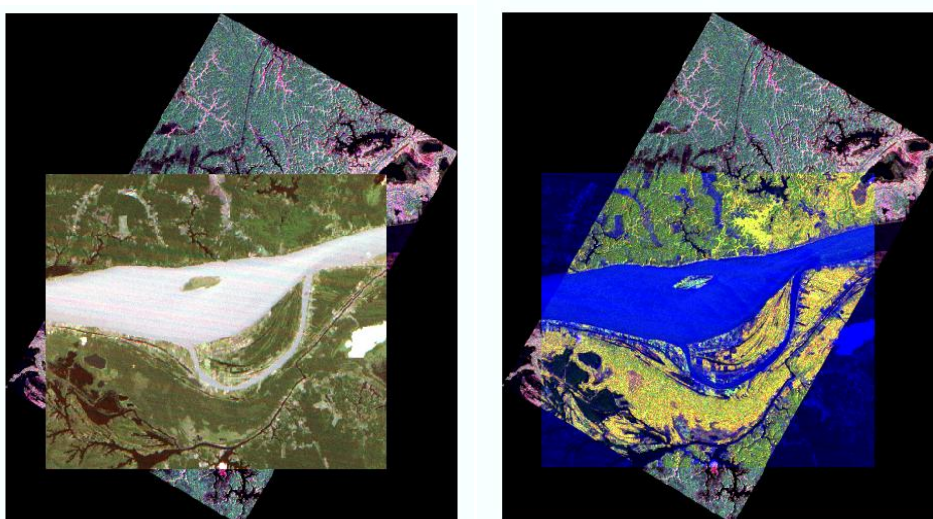
Druhé cvičení – **Předzpracování** je zaměřeno na předzpracování snímku s využitím převážně radiometrických korekcí.

Úvodní část příkladu se věnuje radiometrické korekci, jež vyplní řádky chybějících hodnot snímku *badline.img*, viz Obrázek 1. Mozaikování je zpracováno v další části. Jde o proces spojení překrývajících se snímků do jednoho obrazu. Vznikne tedy větší snímek složený ze dvou či více dílčích částí. Následuje tvorba nového snímku pomocí spektrálních vlastností jiných snímků – *amazon\_tm.img* a *amazon\_lband.img*, viz Obrázek 2. Další díl příkladu je orientován na geometrickou korekci, která má za cíl měnit souřadnicový systém z jedné projekce do druhé. Závěr je zaměřen na maskování, které slouží k eliminování nežádoucí oblasti.



**Obrázek 1** Ukázka vyplnění chybějících hodnot

*Zdroj: vlastní zpracování*



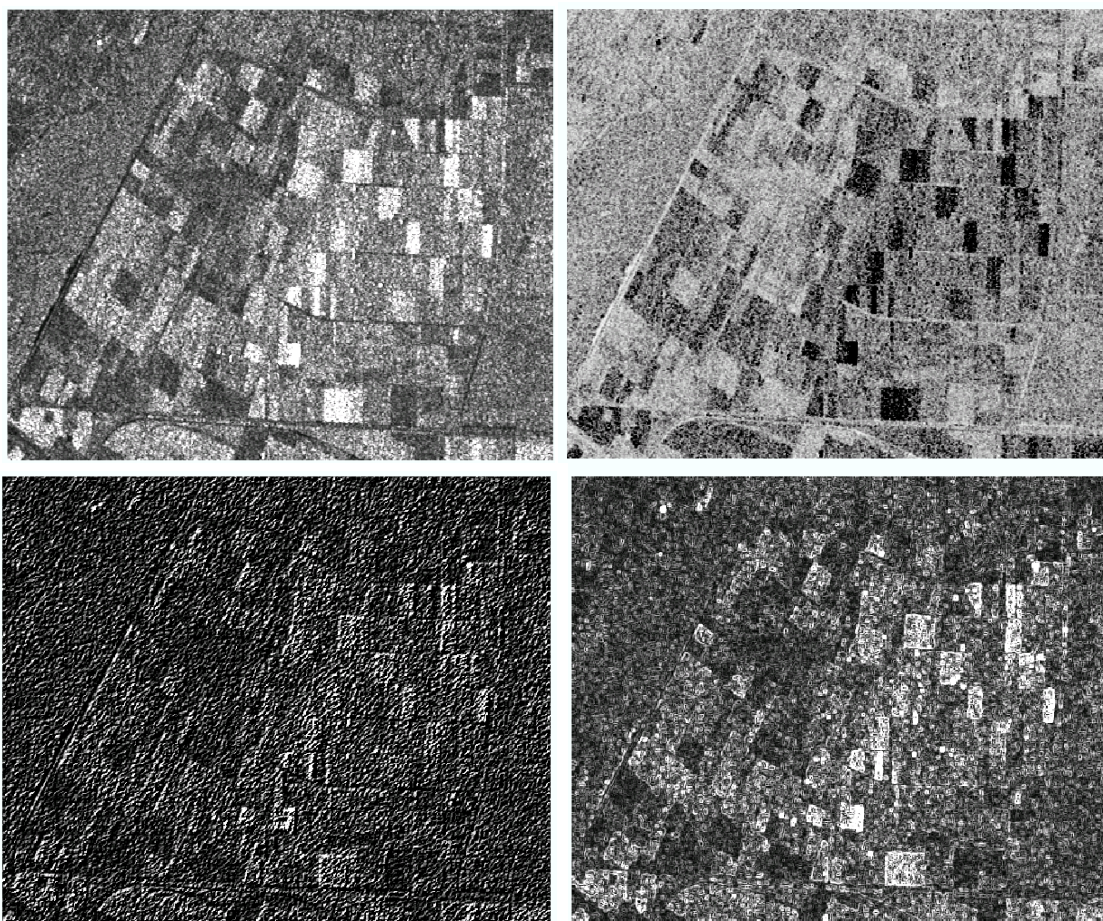
**Obrázek 2** Ukázka tvorby nového snímku pomocí spektrálních vlastností

*Zdroj: vlastní zpracování*

Třetí cvičení – **Zvýraznění 1. část: radiometrické a prostorové** začíná první část zvýraznění. Příklad je zaměřen na radiometrické a prostorové zvýraznění, které má za cíl zvýraznit či naopak potlačit určité informace.

Úvod se zabývá zvýrazněním hodnot na snímku pomocí základních operací s histogramem. Následuje úpravou snímku pomocí inverze barev. Proces inverze vytváří obraz, který má opačný kontrast originálního obrazu. Závěrečná část cvičení se zabývá filtrováním snímku.

V levé horní části je původní obraz *flevolandradar.img*, vpravo od něho je snímek po inverzi, v levém dolním rohu je obraz zvýrazněn Sobelovým filtrem. Poslední snímek zobrazuje filtraci pomocí detekce hran. Viz Obrázek 3.

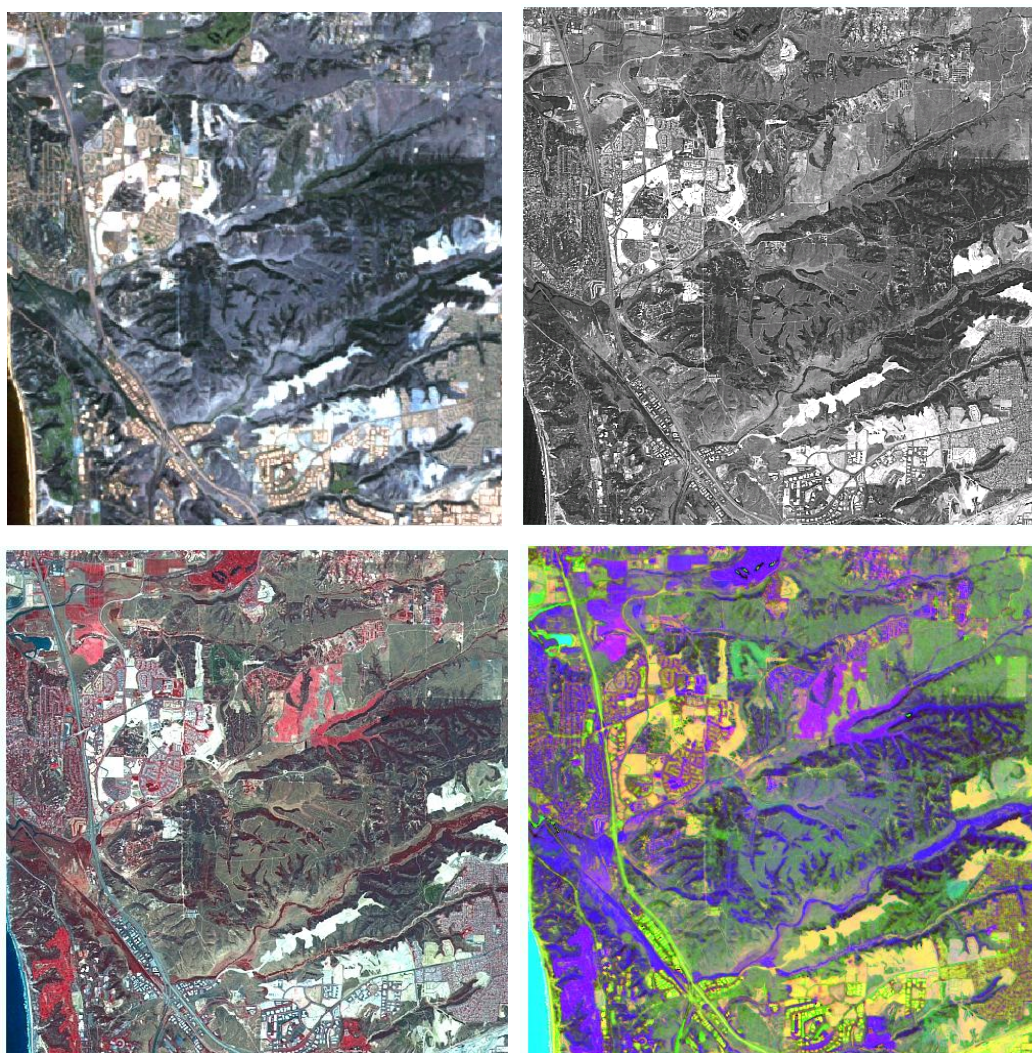


Obrázek 3 Ukázka radiometrického a prostorového zvýraznění

*Zdroj: vlastní zpracování*

Ve čtvrtém cvičení – **Zvýraznění 2. část: transformace multispektrálního obrazu** pokračuje zvýraznění obrazu. Konkrétně se zabývá spektrálním zvýrazněním pomocí různých transformací multispektrálního obrazu. První část se věnuje Broveyho transformaci, další pak změně infračerveného snímku do přirozených barev. Závěr cvičení je ukončen transformací RGB barev do IHS systému.

V levém horním rohu je zobrazen multispektrální snímek s nízkým rozlišením – *sandiego\_spot\_pan.img*. V pravém horním okraji je možno vidět panchromatický snímek s vysokým rozlišením – *sandiego\_tm\_ms.img*. V levém dolním rohu leží vytvořený multispektrální snímek s vysokým rozlišením pomocí Broveyovy transformace. V pravém dolním rohu je ukázka snímku vytvořeného pomocí transformace IHS. Viz Obrázek 4.

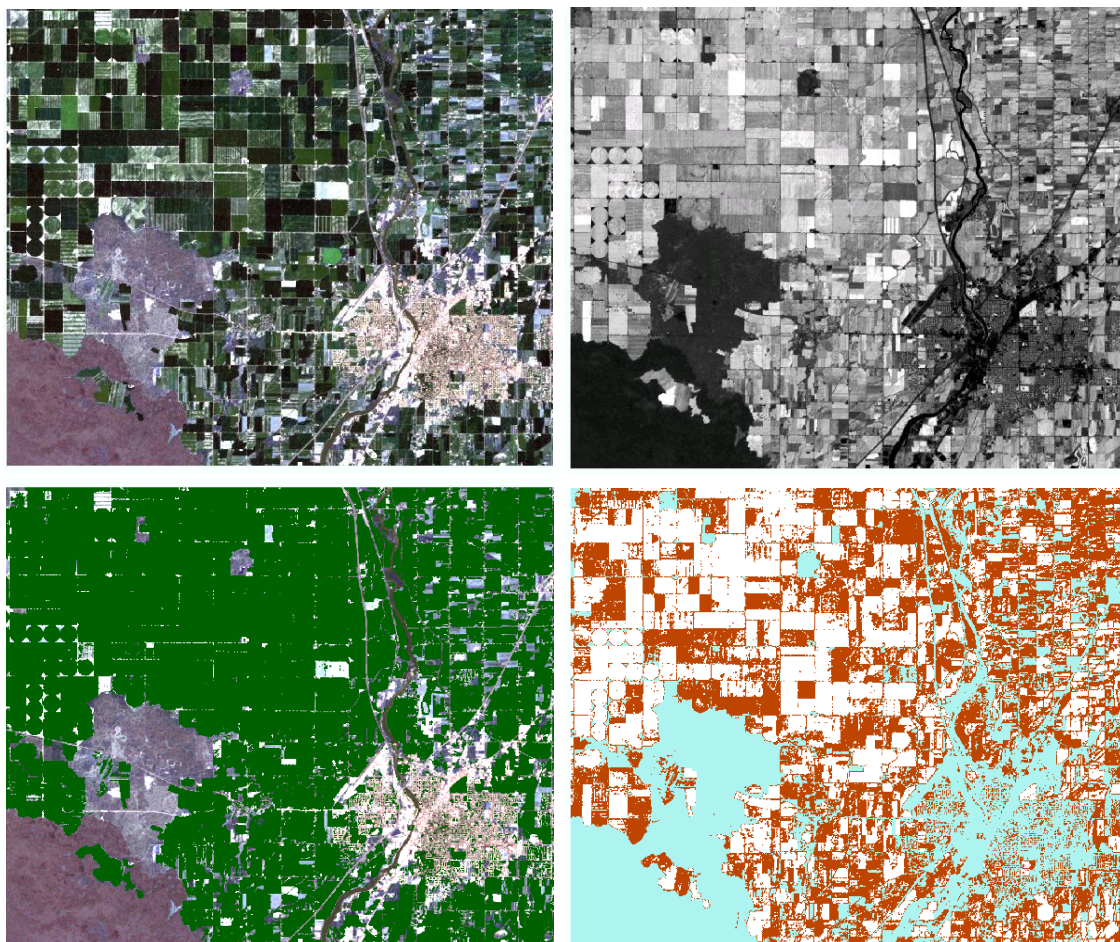


**Obrázek 4** Ukázka transformace multispektrálního obrazu

*Zdroj: vlastní zpracování*

V pátém cvičení – **Vegetační indexy** jsou ukázány možnosti využití vegetačních indexů k získání informací o vegetaci zájmového území. Úvodní část se zabývá změnou vegetace dvou snímků pomocí vegetačního indexu NDVI. Snímky jsou pořízeny v časovém rozmezí sedmi let. Příklad dále pokračuje vegetačním indexem a následnou interpretací.

V levé horní části je umístěn originální snímek – *idaho\_tm.img*, vpravo od něj je obraz vzniklý pomocí vegetačního indexu. Pod nimi lze pozorovat následnou vizualizaci snímku – vlevo snímek zobrazující celé území pokryté vegetací, vpravo klasifikační snímek, kde hnědá barva reprezentuje oblasti s nejvíce zatíženou půdou. Viz Obrázek 5.

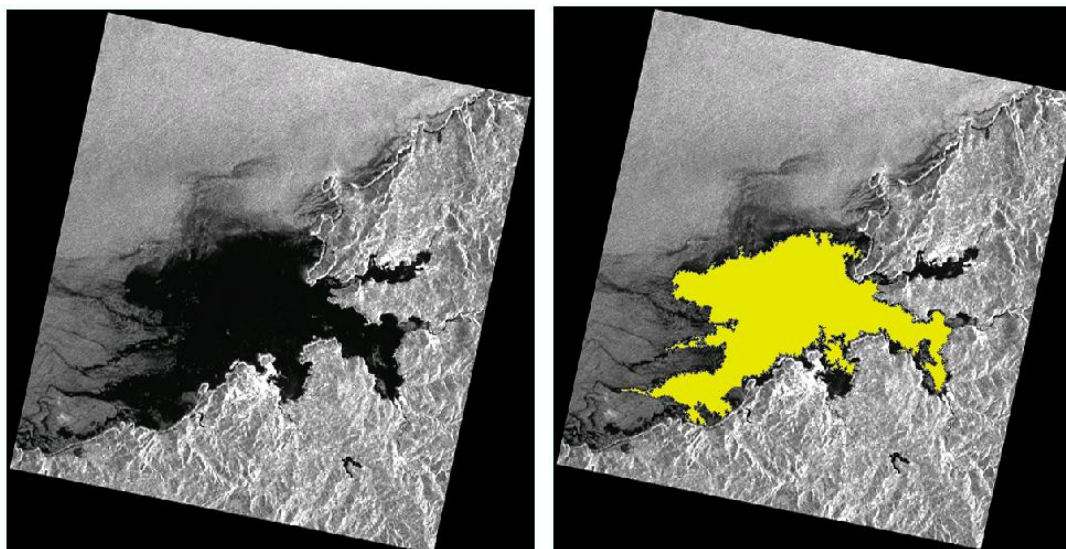


**Obrázek 5** Ukázka práce s vegetačním indexem

*Zdroj: vlastní zpracování*

V šestém cvičení – **Automatický výběr oblasti s podobnými vlastnostmi** je předvedeno určení oblasti se stejnými charakteristickými znaky. Nejprve byl vytvořen v ArcCatalogu prázdný shapefile, posléze byl pomocí nástroje Seed naplněn hodnotami zájmového území.

V levém snímku – *oilspill.img* je zobrazeno území s únikem ropy. Vpravo je detekováno území zasažené ropou. Viz Obrázek 6.

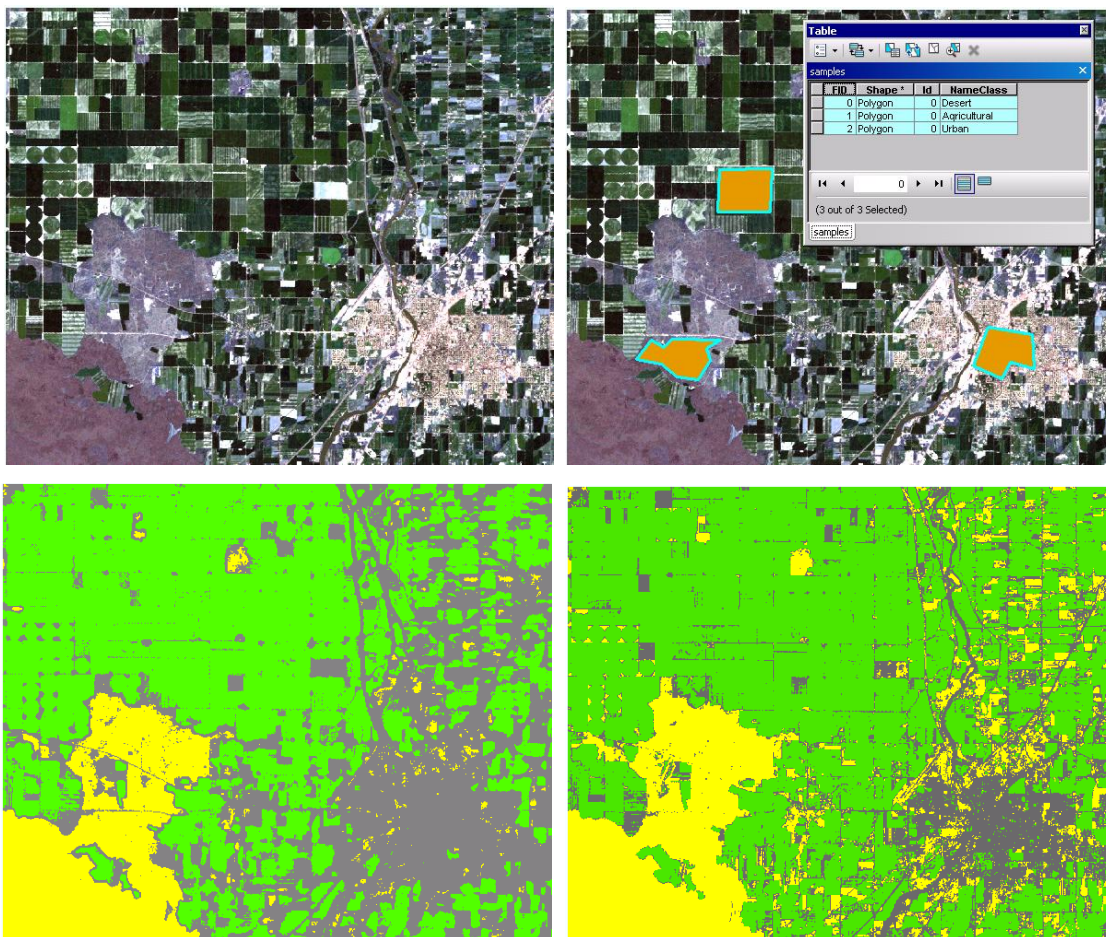


**Obrázek 6** Ukázka automatického výběru oblasti s podobnými vlastnostmi

*Zdroj: vlastní zpracování*

Sedmé cvičení – **Řízená klasifikace** je zaměřeno na řízenou klasifikaci pomocí tvrdých klasifikátorů. Úvodní část – 7A se zabývá tvorbou trénovacích ploch. Nejprve je vytvořen prázdný shapefile v ArcCatalogu a posléze je naplněn trénovacími plochami. Závěr cvičení – 7B se věnuje řízené klasifikaci z tvrdých klasifikátorů, a to metodou maximální věrohodnosti a metodou minimální vzdálenosti. Jako signatury jsou použity trénovací plochy z předešlé části příkladu.

Levá horní část zobrazuje originální snímek *idaho\_tm.img*, vpravo od něho je ukázka tvorby trénovacích ploch. V dolní části jsou klasifikované snímky pomocí tvrdých klasifikátorů – nalevo podle klasifikátoru Maximum Likelihood a v pravém dolním okraji je pak zachycena klasifikace pomocí metody Minimum Distance. Viz Obrázek 7.



Obrázek 7 Ukázka řízené klasifikace

*Zdroj: vlastní zpracování*

## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vytvoření souboru příkladů DZO nástroji ERDAS IMAGINE v softwarovém prostředí ArcGIS Desktop. Tento soubor příkladů by měl sloužit jako studijní opara při studiu předmětu Geografické informační systémy II (GIS II) a to nejen pro studenty Fakulty ekonomicko-správní Univerzity Pardubice. Záměrem je, aby si student osvojil práci s nástroji ERDAS IMAGINE v programu ArcGIS Desktop a rozšířil si své vědomosti z předešlého předmětu GIS I.

Soubor řešených příkladů dodržoval jednotnou strukturu a byl řazen od jednodušších operací po náročnější. V textu byla použita různá zvýraznění písma, která zpřehledňují celý text. Každý příklad začínal teoretickým úvodem, který má řešitele seznámit s jeho problematikou. Po úvodu následovalo téma a dílčí cíle příkladů. Nechybí zde umístění zdrojových dat a jejich název. Samotné vypracování cvičení bylo doprovázeno snímkem obrazovky, na nichž jsou zobrazeny jednotlivé kroky, které mají zjednodušit práci řešitele. Pro přehlednost byl příklad členěn do dílčích kroků, které vedou k vyřešení celého příkladu. Souhrn, účel i výsledky byly popsány v závěru daného cvičení. Celé cvičení bylo uzavřeno kontrolními otázkami a úkoly s místem pro poznámky.

Celkem bylo vytvořeno sedm příkladů. Úvodní seznamuje řešitele s nástroji ERDAS IMAGINE a následně na praktických ukázkách zobrazuje možnou práci se základními operacemi DZO, jako je tvorba barevné kompozice. Cílem druhého příkladu bylo seznámit uživatele s předzpracováním obrazu, které je nutné pro další práci se snímkem. Zahrnuje mj. mozaikování, maskování nebo transformaci do jiného souřadnicového systému. Třetí a čtvrtý příklad uvádí řešitele do problematiky zvýraznění obrazu, a to jak radiometrickým, tak prostorovým a spektrálním způsobem. Příklady zahrnují např. práci s histogramem, úpravu snímku pomocí filtrů či inverze barev nebo různé transformace multispektrálního obrazu. Pátý příklad se zabývá možným užitím vegetačních indexů včetně jejich následné interpretace. Šesté cvičení je zaměřeno na automatický výběr oblasti s podobnými vlastnostmi. První fází je tvorba prázdného shapefile a druhou naplnění hodnot oblasti s charakteristickou vlastností, která byla určena. V závěrečném příkladu se řešitel seznamuje s řízenou klasifikací. V první části příkladu se nejprve tvoří trénovací plochy a posléze se pomocí tvrdých klasifikátorů provádí řízená klasifikace.



Celý soubor řešených příkladů se nalézá v příloze na CD ve formátu pdf. Řešitel proto potřebuje k jeho otevření Adobe Acrobat Reader. V přílohovém CD se také nalézají veškerá data, která se ve cvičeních používají. Dalším předpokladem pro vypracování příkladů je nainstalovaný software ArcGIS Desktop. Dále je nutné, aby byla přidána extenze ERDAS IMAGINE pro ArcGIS, konkrétně Image Analysis, protože není běžnou součástí softwaru ArcGIS Desktop. Na stránkách společnosti ERDAS lze využít možnosti stažení třicetidenní zkušební verze. Součástí zkušební verze jsou i vzorová data a manuál rozšíření.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BOOTH-LAMIRAND, Julie. *Using Image Analysis for ArcGIS: Geographic Imaging by Leica Geosystems*. United States of America: Leica Geosystems GIS & Mapping, LLC, [2008], 207 s.
- [2] CROSIER, Scott, et al. *ArcGIS 9: Začínáme s ArcGIS*. Redlands: New York Street, 2004, 265 s.
- [3] DAVIS, David. *GIS: jak si vytvářet vlastní mapy*. Praha: Computer Press, 2000, 112 s. ISBN 80-7226-289-7.
- [4] DOBROVOLNÝ, Petr. *Dálkový průzkum Země: Digitální zpracování obrazu*. Brno: MU Brno, 1998, 210 s. ISBN 80-210-1812-7.
- [5] Post-classification . *Introducing Remote Sensing*. [online]. Last update: October 20, 2011 [cit. 2011-11-13].. Dostupné z: <http://eoedu.belspo.be/en/guide/index.htm>.
- [6] *ERDAS IMAGINE Tour Guides: ERDAS IMAGINE V8.5*. United States of America: ERDAS, 2001, 662 s.
- [7] Density slicing. In *ESRI: Understanding our world*. [online]. c2011 [cit. 2011-11-04]. Dostupné z: <http://support.esri.com/en/knowledgebase/GISDictionary/term/density%20slicing>.
- [8] 153YZOD / 10. Cvičení. *GeoWikiCZ* [online]. 2008, naposledy editována 5. 12. 2012 [cit. 2011-11-08]. Dostupné z: [http://gama.fsv.cvut.cz/wiki/index.php/153YZOD\\_Zpracov%C3%A1n%C3%AD\\_obrazov%C3%BDch\\_dat\\_-\\_cvi%C4%8Den%C3%AD\\_10#Ne.C5.99.C3.ADzen.C3.A1\\_klasifikace](http://gama.fsv.cvut.cz/wiki/index.php/153YZOD_Zpracov%C3%A1n%C3%AD_obrazov%C3%BDch_dat_-_cvi%C4%8Den%C3%AD_10#Ne.C5.99.C3.ADzen.C3.A1_klasifikace).
- [9] Ortorektifikace. *Gisat s.r.o.* [online]. 2010 [cit. 2011-10-31]. Dostupné z: <http://www.gisat.cz/content/cz/sluzby/zpracovani-dat/ortorektifikace>.
- [10] DPZ. *Gymnázium Jakuba Škody* [online]. c2006, Aktualizace: 30. 9. 2008 [cit. 2011-11-01]. Dostupné z: <http://www.gjs.cz/vedy-o-zemi/dpz.htm>.
- [11] HALOUNOVÁ, Lena a Karel PAVELKA. *Dálkový průzkum Země*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 192 s. ISBN 80-01-03124-1.

- [12] HLAVÁČ, Václav a Milan ŠONKA. *Počítačové vidění*. Praha: GRADA a.s., 1992, 272 s. ISBN 80-85424-67-3.
- [13] HORÁK, Jiří. Kap. 6.5.2. *Prostorová analýza dat* [online]. 8. 12. 2002 [cit. 2011-11-12]. Dostupné z: [http://gis.vsb.cz/pad/Kap\\_6/kap\\_6\\_5\\_2.htm](http://gis.vsb.cz/pad/Kap_6/kap_6_5_2.htm).
- [14] HOZMAN, J. Základní metody předzpracování obrazu. *ČVUT* [online]. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003 [cit. 2011-11-04]. Dostupné z: [webzam.fbmi.cvut.cz/hozman/Zprac\\_obr\\_prisp\\_kurz\\_UEM\\_3\\_2003.pdf](http://webzam.fbmi.cvut.cz/hozman/Zprac_obr_prisp_kurz_UEM_3_2003.pdf).
- [15] Image Analysis for ArcGIS. *Intergraph* [online]. c2012 [cit. 2012-06-01]. Dostupné z: <http://geospatial.intergraph.com/products/erdasextensionsforarcgis/imageanalysisforarcgis.aspx>.
- [16] KOMÁRKOVÁ, Jitka a Hana KOPÁČKOVÁ. *Geografické informační systémy: pro kombinovanou formu studia*. 1. vyd. Pardubice: Tiskařské středisko Univerzity Pardubice, 2005, 55 s. ISBN 80-7194-819-5.
- [17] KOTLANOVÁ, Markéta. *Analýza mikroskopického obrazu v LabVIEW*. Brno, 2011. 38 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Vratislav Čmiel.
- [18] KUPKOVÁ, Lucie a Luboš KRÁL. *Země očima satelitů*. Praha: P3K, 2011, 51 s. ISBN 978-80-87186-55-8.
- [19] LILLESAND, Thomas M., Ralph W. KIEFER a Jonathan W. CHIPMAN. *Remote Sensing And Image Interpretation*. 6th edition. New York: John Wiley, 2008, 804 s. ISBN 978-0-470-05245-7.
- [20] MERUNKOVÁ, Ivana. *Soubor řešených příkladů pro Idrisi Andes*. Pardubice, 2010. 64 s. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Fakulta ekonomicko-správní. Vedoucí práce doc. Ing. Jitka Komárková, Ph.D. Dostupné z: <http://dspace.upce.cz/handle/10195/36482>.
- [21] PAVELKA, Karel. *Zpracování obrazových záznamů DPZ*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999, 138 s. ISBN 80-01-02031-2.
- [22] PECINA, Pavel. *Soubor příkladů zpracování obrazu v extenzi Image Analysis programu ArcGIS Desktop*. Pardubice, 2009. 45 s. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta ekonomicko-správní. Vedoucí práce Mgr. Pavel Sedlák, Ph.D. Dostupné z: <http://dspace.upce.cz/handle/10195/36328>.

- [23] RENADE, Pari a Ayse IMARK. *Image Analysis and Classification Techniques using ArcGIS 10* [online]. 2010 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/giswr2010/Ex6/EX6.htm>.
- [24] SEDLÁK, Pavel a Ondřej HOBZA. *Digitální zpracování obrazu: Systém Idrisi32 Release Two*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2006, 85 s. ISBN 80-244-1538-0.
- [25] SHORT, Nicholas. The Remote Sensing Tutorial. *Federation of American Scientists* [online]. 2011 [cit. 2012-06-07]. Dostupné z: <http://www.fas.org/irp/imint/docs/rst/Front/overview.html>.
- [26] SVATOŇOVÁ, Hana a Lubomír LAUERMANN. *Dálkový průzkum Země - aktuální zdroj geografických informací*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2010, 96 s. ISBN 978-80-210-5162-1.
- [27] Technické a programové prostředky GIS. *Katedra Geoinformatiky: UP v Olomouci* [online]. Prosinec 2004, aktualizace 5.1.2005 [cit. 2011-11-17]. Dostupné z: [http://www.geoinformatics.upol.cz/app/prostredkygis/frameset\\_soft.htm](http://www.geoinformatics.upol.cz/app/prostredkygis/frameset_soft.htm).
- [28] TUČEK, Ján. *Geografické informační systémy: Principy a praxe*. 1. vyd. Praha: Computer Press, 1998, 424 s. ISBN 80-7226-091-X.
- [29] ŽELEZNÝ, Miloš. KKY: ZČU. *DPZ-prednasky.pdf* [online]. 2009 [cit. 2011-10-29]. Dostupné z: <http://www.kky.zcu.cz/uploads/courses/dpz/DPZ-prednasky.pdf>.

# **PŘÍLOHY**

Příloha č. 1 – Soubor řešených příkladů na CD