

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**  
**Přírodovědecká fakulta**  
Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie



# **HODNOCENÍ DLOUHODOBÝCH ZMĚN LAND COVER OKRESU NÁCHOD POMOCÍ DAT DPZ**

**LAND COVER CHANGES IN DISTRICT NACHOD USING  
REMOTE SENSING DATA**

Bakalářská práce

Lucie Červená

květen 2010

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Přemysl Štych, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem všechny použité prameny řádně citovala.

Jsem si vědoma toho, že případné použití výsledků, získaných v této práci, mimo Univerzitu Karlovu v Praze je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

V České Skalici dne 20. května 2010

.....

Lucie Červená

### **Poděkování**

Na tomto místě bych v první řadě ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce RNDr. Přemyslu Štychovi, Ph.D. za cenné rady a věnovaný čas. Dále bych chtěla poděkovat agentuře CENIA za poskytnutí databáze CORINE Land Cover. A v poslední řadě děkuji také rodině za podporu v průběhu celého studia.

# Hodnocení dlouhodobých změn land cover okresu Náchod pomocí dat DPZ

## Abstrakt

Cílem této práce bylo vytvořit klasifikaci krajinného pokryvu okresu Náchod pro roky 1979, 1991 a 2001 na základě multispektrálních snímků získaných z volně dostupného archivu snímků pořízených družicemi Landsat. V práci jsou použita data podrobně popsána. Klasifikační systém byl stanoven na základě CORINE Land Cover a byl přizpůsoben hodnocenému území a dostupným datům. Pro klasifikaci snímků byla použita metoda řízené klasifikace v programu PCI Geomatics a klasifikační algoritmus maximální pravděpodobnosti. Výsledek byl vyhlazen majoritním filtrem a převeden do vektorové podoby. Podrobně byla hodnocena přesnost klasifikací na základě kontrolních bodů. Celkové přesnosti vyšly poměrně nízké (2001 – 82 %, 1991 – 74 %, 1979 – 67 %), v závislosti na kvalitě (především spektrálním a prostorovým rozlišení) snímků a také dostupnosti dalších referenčních dat. Změny land cover pro celý časový úsek byly tak hodnoceny pouze bilančně (tj. byly porovnávány celkové rozlohy tříd v okrese mezi jednotlivými lety). Pro roky 1991 a 2001 byl vyzkoušen i překryv jejich výsledných vektorových vrstev land cover, avšak výsledné změnové plochy v některých případech spíše vyjadřují nedostatky v klasifikacích než skutečné změny land cover mezi danými lety.

**Klíčová slova:** land cover, okres Náchod, archiv snímků Landsat

## Land cover changes in District Nachod using remote sensing data

### Abstract

The purpose of this project was to create a classification of the land cover of Náchod district for years 1979, 1991 and 2001 based on multi-spectral images gained from publicly available archive images database provided by Landsat satellites. Data used in this paper are described in details. The created classification system is based on CORINE Land Cover and adjusted to a measured area and data available. The method used for images classification was method of supervised classification in PCI Geomatics program and classification algorithm of Maximum Likelihood Classification. The result was smoothed by majority filter and converted to the vector form. Accuracy of the classification was evaluated in details, based on the check points. Overall accuracy was quite low (2001 – 82 %, 1991 – 74 %, 1979 – 67 %), depending on the quality (mainly spectral and spatial resolution) of the images and also availability of other reference data. Land cover changes for the whole time period were therefore evaluated using just the balance method (i.e. overall classes distributions in district were compared between separate years). For years 1991 and 2001 it was also tried to overlap their final vector land cover layouts, however target Change areas in some cases more likely depicts inadequacy in classifications than real changes of the land cover between given years.

**Key words:** land cover, district Nachod, Landsat archiv

# OBSAH

<b>OBSAH .....</b>	<b>5</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....</b>	<b>7</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>8</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>2 LITERÁRNÍ REŠERŠE A ÚVOD DO PROBLEMATIKY.....</b>	<b>10</b>
2.1 Dálkový průzkum Země .....	10
2.1.1 Spektrální charakteristiky různých druhů krajinného pokryvu .....	10
2.1.1.1 Vegetace .....	11
2.1.1.2 Voda .....	11
2.1.1.3 Povrchy bez vegetace .....	12
2.1.2 Data dálkového průzkumu Země .....	12
2.2 Klasifikace land cover a land use .....	13
2.2.1 USGS Land Use/Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data .....	14
2.2.2 CORINE Land Cover .....	15
2.2.3 Další klasifikace a databáze land cover / land use .....	15
2.3 Klasifikační metody .....	16
2.3.1 Řízená klasifikace.....	17
2.3.2 Neřízená klasifikace .....	19
2.3.3 Postklasifikační úpravy .....	20
2.3.4 Hodnocení přesnosti klasifikace.....	21
<b>3 DATA A METODIKA.....</b>	<b>23</b>
3.1 Použitý software .....	23
3.2 Použitá data.....	23
3.2.1 Snímky Landsat.....	23
3.2.2 Ostatní zdroje dat .....	26
3.3 Přípravné práce .....	26
3.3.1 Geometrické a radiometrické korekce snímků Landsat .....	26
3.3.2 Úpravy dat pro další zpracování.....	28
3.4 Klasifikační systém land cover .....	29
3.4.1 Uměle přetvořené povrchy .....	30
3.4.1.1 Nesouvislá zástavba.....	30
3.4.1.2 Souvislá zástavba .....	30
3.4.2 Zemědělské areály .....	31
3.4.2.1 Orná půda .....	31
3.4.2.2 Ovocné sady .....	31
3.4.2.3 Louky a pastviny .....	31
3.4.3 Lesní a polopřirodní areály.....	31
3.4.3.1 Listnaté lesy.....	31
3.4.3.2 Jehličnaté lesy.....	31
3.4.3.3 Smíšené lesy .....	31
3.4.3.4 Ostatní nelesní zeleň.....	31
3.4.3.5 Skály.....	32
3.4.4 Voda .....	32
3.4.4.1 Vodní plochy .....	32
3.4.5 Třídy CORINE Land Cover nepoužité pro klasifikaci hodnoceného území.....	32
3.5 Klasifikace land cover .....	33
3.5.1 Trénovací plochy .....	33
3.5.2 Vlastní klasifikace a úpravy jejich výsledků .....	37
3.5.3 Hodnocení přesnosti klasifikací .....	37

3.6	Převod výsledků klasifikací do vektorů.....	39
3.7	Výpočet změn land cover mezi jednotlivými lety .....	40
<b>4</b>	<b>ZMĚNY KRAJINNÉHO POKRYVU V OKRESE NÁCHOD.....</b>	<b>42</b>
4.1	Přesnost klasifikací land cover .....	42
4.1.1	Přesnost trénovacích ploch.....	42
4.1.2	Přesnost klasifikací na základě kontrolních bodů .....	43
4.2	Změny land cover .....	44
<b>5</b>	<b>DISKUSE.....</b>	<b>47</b>
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>50</b>
	<b>POUŽITÉ ZDROJE INFORMACÍ .....</b>	<b>51</b>
	<b>POUŽITÉ DATOVÉ ZDROJE .....</b>	<b>53</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>54</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1	Obecný průběh spektrální odrazivosti vody, vegetace, suché půdy a vlhké půdy.....	10
Tab. 1	Přehled pásem senzorů družic Landsat a jejich prostorové rozlišení.....	25
Tab. 2	Hodnoty pixelů vodních objektů v IČ pásmech.....	27
Tab. 3	Řazení pásem v souborech PCIDSK pro jednotlivé roky .....	28
Tab. 4	Třídy land cover v okrese Náchod - klasifikační systém CORINE Land Cover versus použitý klasifikační systém .....	30
Tab. 5	Trénovací plochy v roce 2001 .....	35
Tab. 6	Trénovací plochy v roce 1991 .....	35
Tab. 7	Trénovací plochy v roce 1979 .....	36
Tab. 8	Celková přesnost klasifikací vyhlazených majoritními filtry o velikostech 3x3 a 5x5.....	39
Tab. 9	Průměrná a celková přesnost klasifikace trénovacích ploch pro jednotlivé roky .....	42
Tab. 10	Celkové rozlohy tříd land cover ve všech hodnocených letech.....	45
Tab. 11	Změny mezi jednotlivými třídami land cover vyplývající z překryvu vektorových vrstev land cover let 1991 a 2001 – minimální mapová jednotka 2 ha.....	46
Tab. 12	Porovnání výsledků procentního zastoupení ploch LC v letech 1990 a 2000 s databázemi CORINE a LUCC .....	47

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

<b>BP</b>	Bakalářská práce
<b>CD</b>	Compact disc - kompaktní disk
<b>DN</b>	Digital Number (hodnoty, které nesou jednotlivé obrazové prvky)
<b>DPZ</b>	Dálkový průzkum Země
<b>ETM+</b>	The Enhanced Thematic Mapper Plus (senzor na družici Landsat 7)
<b>GeoTIFF</b>	Geographic Tagged Image File Format
<b>IČ</b>	Infračervené záření
<b>LC</b>	Land cover
<b>LUCC</b>	Land use / land cover change
<b>MLC</b>	Maximum Likelihood Classification - klasifikace maximální pravděpodobnosti
<b>MRLC</b>	Multi-Resolution Land Characteristics Consortium
<b>MS</b>	Microsoft (MS Excel či MS Word)
<b>MSS</b>	Multispectral Scanner System (senzor na družicích Landsat 1 až 5)
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration
<b>NDVI</b>	Normalized Difference Vegetation Index - normalizovaný vegetační index
<b>NLCD</b>	National Land Cover Database
<b>PDF</b>	Portable Document Format (formát souborů dokumentů firmy Adobe)
<b>pix</b>	PCIDSK - PCI Geomatics Database File (databázový formát software PCI)
<b>RMS</b>	Root Mean Square - střední kvadratická chyba
<b>S-JTSK</b>	System jednotné trigonometrické sítě katastrální
<b>shp</b>	Shapefile (vektorový datový formát)
<b>TM</b>	The Thematic Mapper (senzor na družicích Landsat 4 až 5)
<b>UTM</b>	Universal Transverse Mercator (souřadnicový systém)
<b>USGS</b>	United States Geological Survey
<b>WGS84</b>	World Geodetic System 1984 - geodetický referenční systém z roku 1984
<b>WRS</b>	The Worldwide Reference System (WRS-1, WRS-2)



# 1 ÚVOD

Krajinný pokryv (land cover) je v poslední době často studován, neboť informace o něm jsou základním datovým vstupem pro celou řadu analýz, především v oblasti krajinného plánování, životního prostředí, ale i zemědělství. S rozvojem dálkového průzkumu Země se získávání informací o aktuálním land cover stává stále snazší. Velký potenciál pro sledování stavu krajinného pokryvu, ale i jeho změn v průběhu let, mají snímky středního rozlišení pořízené družicemi Landsat 1 až Landsat 7, které jsou od roku 2008 volně dostupné na internetu.

Cílem této bakalářské práce je klasifikace land cover vybraného modelového území okresu Náchod ve třech časových horizontech s využitím snímků pořízených senzory MSS, TM a ETM+ na družicích Landsat. Práce se také pokusí zhodnotit změny krajinného pokryvu, ke kterým v průběhu posledních let na území okresu došlo.

V rešeršní části bakalářské práce bude stručně pojednáno o základních principech dálkového průzkumu Země, o vybraných klasifikačních systémech land cover a land use a také budou podrobně popsány různé klasifikační metody založené na spektrální odrazivosti povrchů a možnosti hodnocení přesnosti klasifikací. Metodická část se bude zabývat nejdříve vlastnostmi dat dostupných v archivu snímků Landsat. Dalším bodem v metodické části bude vytvoření klasifikačního systému vhodného pro území okresu Náchod a dostupná data. Zvolena bude nejlepší klasifikační metoda, s pomocí které budou provedeny klasifikace land cover vybraného území pro tři časové horizonty. Velmi důležitým dalším krokem bude zhodnocení přesností provedených klasifikací s pomocí ortofotomap a databáze CORINE Land Cover. Nakonec budou popsány změny krajinného pokryvu v okrese a případné problémy plynoucí z nepřesností v klasifikacích.

Hlavním důvodem pro zvolení okresu Náchod jako modelového území je znalost tohoto území, která bude nápomocna při klasifikacích (přehledová mapka okresu je umístěna na konci práce jako příloha 2). Území obsahuje všechny třídy land cover typické pro Českou republiku, kromě tříd mokřadů a areálů těžby nerostných surovin. Vzhledem k tomu, že okres Náchod není významným jádrovým regionem a jeho velkou část zabírají chráněná území (CHKO Broumovsko a maloplošná chráněná území – např. Národní přírodní a kulturní památka Babiččino údolí, přírodní rezervace Peklo u Nového Města nad Metují, Dubno u České Skalice a další), je předpoklad, že krajinný pokryv se v okrese nebude příliš měnit.

## 2 LITERÁRNÍ REŠERŠE A ÚVOD DO PROBLEMATIKY

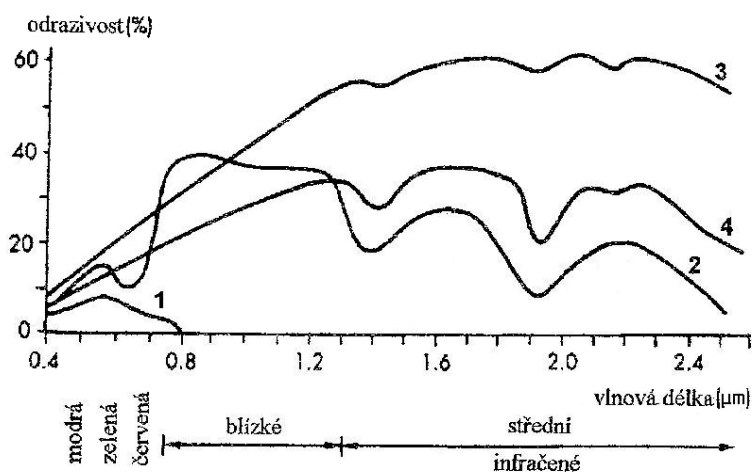
### 2.1 Dálkový průzkum Země

Existuje mnoho definic dálkového průzkumu Země. V nejobecnějším smyslu slova znamená dálkový průzkum získávání informací o objektech a jevech na dálku (bez přímého kontaktu s nimi), pouze za pomoci různě složitých přístrojů a znalostí, jakým charakteristickým způsobem tyto objekty či jevy ovlivňují své okolí (Dobrovolný, 1998).

#### 2.1.1 Spektrální charakteristiky různých druhů krajinného pokryvu

Metoda dálkového průzkumu Země je založena na poznatku, že každá látka má své specifické elektromagnetické vlastnosti, které určují, kolik záření o konkrétních vlnových délkách bude touto látkou odraženo, vyzářeno či pohlceno. Průběh závislosti odrazivosti nebo emisivity dané látky na vlnové délce je označován jako spektrální charakteristika této látky. Na základě znalostí spektrálních charakteristik různých látek lze pak z naměřených intenzit záření stanovit, o jakou látku jde. Spektrální charakteristiky jsou taktéž specifické pro jednotlivé druhy krajinného pokryvu, které jsou však ještě dále ovlivňovány konkrétním chemickým složením a aktuálním stavem (především vlhkostí) těchto povrchů. Základními čtyřmi druhy povrchů, jejichž spektrální charakteristiky jsou výrazně odlišné, jsou pevné povrchy bez vegetace, vegetační pokryv, voda a plynné látky. (Kolář a kol., 1997)

Na obrázku 1 jsou znázorněny spektrální křivky základních typů krajinného pokryvu – vegetace, vody a holé půdy (suché a vlhké). V následujících podkapitolách jsou pak podrobněji popsány.



Obr. 1 Obecný průběh spektrální odrazivosti vody (1), vegetace (2), suché půdy (3) a vlhké půdy (4) (zdroj: Kolář a kol., 1997)

### 2.1.1.1 Vegetace

Vegetace představuje výraznou dominantu v dálkovém průzkumu zemského povrchu. Jejimi obvyklými formami jsou travní porosty, zemědělské rostliny a listnaté a jehličnaté stromy. (Kolář, 1990). Tyto formy mohou být z hlediska odrazových vlastností značně různorodé, ale i přesto lze jejich spektrální chování charakterizovat určitými společnými rysy (Dobrovolný, 1998).

Hlavní částí rostlin, podílející se na odrazu záření, jsou listy, proto je důležité znát především jejich spektrální projev (Kolář, 1990). Spektrální křivka odrazivosti listu se dělí do tří hlavních částí: oblasti pigmentační absorpce (0,4 – 0,7  $\mu\text{m}$ ), oblasti buněčné struktury (0,7 – 1,3  $\mu\text{m}$ ) a oblasti vodní absorpce (1,3 – 3,0  $\mu\text{m}$ ) (Dobrovolný, 1998). Spektrální křivku v oblasti pigmentační absorpce nejvíce ovlivňují pigmentační látky (především chlorofyl a karoteny), které pohlcují většinu viditelného záření. Minimum pohltivosti v této oblasti se pak nachází v okolí vlnové délky 0,54  $\mu\text{m}$ , což způsobuje zelené zbarvení vegetace ve vegetačním období (Kolář, 1990). Odrazivost v oblasti buněčné struktury nejvíce ovlivňuje morfologická stavba listu, která se liší pro různé druhy rostlin, tudíž toto pásmo je velmi vhodné k odlišení jednotlivých druhů rostlin. Pro všechny rostliny se však oblast buněčné struktury projevuje typickou vysokou odrazivostí. Spektrální křivka v pásmu vodní absorpce je formována absorpčními pásy vody, jejichž středy leží přibližně na vlnových délkách 1,4  $\mu\text{m}$ , 1,9  $\mu\text{m}$  a 2,7  $\mu\text{m}$ , lokální maxima odrazivosti jsou na vlnových délkách 1,6 a 2,2  $\mu\text{m}$ . Odrazivost v této oblasti spektra závisí nepřímo úměrně na obsahu vody v listu a také je ovlivněna tloušťkou listu. (Dobrovolný, 1998)

Vzhledem k tomu, že celkový vegetační kryt neodráží záření pouze listy, ale i jinými částmi rostlin, jeho celková odrazivost je nižší než odrazivost „průměrného“ listu. Další změny v odrazivosti oblastí s vegetací mohou být způsobeny jejich větším zastíněním či naopak osvětlením. (Dobrovolný, 1998)

### 2.1.1.2 Voda

Voda se může na snímcích vyskytovat v různých skupenstvích, jejichž odrazové vlastnosti jsou velmi odlišné. Sníh a led mají velmi vysokou odrazivost ve viditelné i blízké infračervené části spektra, kterou významně převyšují odrazivost všech ostatních povrchů. Naopak voda v kapalném stavu má ve viditelné části spektra odrazivost velmi nízkou, která ještě dále klesá, až se v infračervené části spektra čistá voda chová téměř jako absolutně černé těleso. V případě výskytu jakýchkoli znečišťujících látek ve vodě (plankton, mechanické či biologické příměsi atd.) odrazivost vody roste, a to především v oblasti viditelného záření. Přítomnost vody mění spektrální projevy všech objektů. (Dobrovolný, 1998)

### 2.1.1.3 Povrchy bez vegetace

Anorganické látky se obecně vyznačují postupným vzestupem odrazivosti se vzrůstající vlnovou délkou, avšak v závislosti na konkrétním typu povrchu dochází k odchylkám od tohoto obecného schématu (Dobrovolný, 1998). Povrchy bez vegetace mohou být děleny na půdu, minerály a horniny a různé člověkem vytvořené umělé povrchy (Kolář, 1990).

Půda je z hlediska spektrálních vlastností povrchem velmi heterogenním, neboť je tvořena komplexem abiotických i biotických součástí. Její spektrální vlastnosti jsou vytvářeny především jejím minerálním složením, půdní vlhkostí, obsahem organických látek a texturou (drsností) půdního povrchu. Spektrální křivka půd je nejprve ovlivněna absorpčními pásy jednotlivých v ní obsažených minerálů a poté je modifikována hlavně vlhkostí, která způsobuje celkové snížení odrazivosti půd, a obsahem organických látek, který ovlivňuje odrazivé vlastnosti půd především v kratších vlnových délkách. (Dobrovolný, 1998)

Na rozdíl od půd jsou horniny a především minerály objekty do značné míry homogenními. Jejich spektrální křivky jsou ovlivněny především absorpčními pásy jednotlivých chemických prvků či sloučenin a jejich krystalickou stavbou. (Dobrovolný, 1998)

Umělých povrchů existuje celá řada a jejich spektrální vlastnosti se liší, avšak obecně dodržují trend vzestupné odrazivosti s vlnovou délkou, což je charakteristické pro všechny anorganické látky. Například spektrální křivky asfaltu a betonu jsou velmi ploché, přičemž beton má větší odrazivost než asfalt ve viditelném i infračerveném spektru. Odrazivosti těchto materiálů mohou být ovlivněny jejich stářím, barvou a obsahem vody či jiných látek. (Lillesand et al., 2008)

## 2.1.2 Data dálkového průzkumu Země

Získávání údajů o krajině metodou dálkového průzkumu Země spočívá v měření množství zářivé energie obsahující elektromagnetické záření emitované či odražené jednotlivými krajinnými povrchy. Takovéto měření umožňují buď fotografické kamery, které registrují změny vyvolané různou velikostí zářivé energie na základě změn způsobených chemickou reakcí, nebo radiometry, které registrují změny vyvolané různou velikostí zářivé energie na základě odečítání změn elektrických veličin. Měření s pomocí radiometru je modernější a v dnešní době více využívaný způsob získávání dat dálkovým průzkumem. Aby bylo zajištěno kontinuální měření zemského povrchu, jsou radiometry (nejčastěji zobrazovací radiometry neboli skenery) nejčastěji umístovány na různé družicové nosiče. (Kolář a kol., 1997)

Snímky pořízené dálkovým průzkumem Země mají čtyři základní typy rozlišení (prostorové, časové, radiometrické a spektrální), které vyplývají z rozlišovacích schopností snímacího zařízení, kterým byly pořízeny. (Dobrovolný, 1998)

*Prostorové rozlišení* je dáno velikostí pixelu a udává nejmenší objekt, který může být na snímku ještě rozpoznán (Dobrovolný, 1998). Například prostorová rozlišovací schopnost všech pásem viditelného záření pořízených senzorem ETM+ na družici Landsat 7 je 30 metrů (U.S. Department of the Interior & U.S. Geological Survey, [2006?]).

*Časové (temporální) rozlišení* udává v jakém nejmenším časovém rozmezí je systém schopný poskytovat snímky téhož území. Nejvyšší časovou rozlišovací schopnost mají geostacionární družice. (Dobrovolný, 1998). Landsat 1 až 3 měl časovou rozlišovací schopnost 18 dní, novější družice Landsat 16 dní (NASA, [?]).

*Radiometrické rozlišení* je určeno sensitivitou detektoru na sílu signálu, který je zaznamenáván. Definuje počet rozlišitelných úrovní signálu, které se udávají v mocninách dvou – data mají nejčastěji radiometrické rozlišení 256 (8-bitová data) či 1024 (10-bitová data). (Dobrovolný, 1998). Data pořízená detektory na družicích Landsat jsou 8-bitová, což znamená, že tzv. DN hodnoty pixelů v těchto snímcích se pohybují v rozmezí 0 až 255.

*Spektrální rozlišení* udává počet a šířku spektrálních pásem, která jsou přístrojem snímána. Pokud je k dispozici pro jedno dané území a čas několik spektrálních pásem (tzn. několik současných měření jednoho území provedených na různých intervalech vlnových délek), jsou výsledná data označována jako multispektrální. Multispektrální data se nejlépe hodí na klasifikace krajinných objektů na základě jejich spektrálních charakteristik. (Kolář a kol., 1997)

## **2.2 Klasifikace land cover a land use**

Nejprve je vhodné definovat rozdíl mezi pojmy land cover a land use, neboť bývají často nesprávně zaměňovány.

Termín land cover reprezentuje typ krajinného pokryvu, zatímco termín land use je spojen s lidskou činností a ekonomickou funkcí konkrétní části krajiny (Lillesand et al. 2008). Lillesand ... [et al.] (2008) uvádí jako názorný příklad vztahu mezi land use a land cover vilovou čtvrť. V závislosti na podrobnosti mapování by byla v rámci hodnocení land use popsána jako městská zástavba, obytná zóna či obytná zóna skládající se z rodinných domů. Stejná oblast by se v rámci hodnocení land cover skládala ze střech domů, trávníků, stromů a silnic (asfaltových ploch). Gregorio a Jansen (2000) uvádějí jako příklad vztahu mezi pojmy land use a land cover rekreační oblast (termín land use), která může být vymezena na různých typech krajinného pokryvu, tímto pokryvem mohou být např. písčité povrchy (pláže), lesy nebo i zastavěné oblasti (zábavní centra).

Pro krajinné plánování a jiné obory, zabývající se krajinou, je však důležitá znalost obojího, jak land cover tak i land use. Proto i mnoho klasifikací, databází a map je vytvořeno dohromady pro oba popisy krajiny. Takovýmto příkladem může být i klasifikace zhotovená v polovině 70. let 20. století vědeckou organizací U. S. Geological Survey (Andersonem et al., 1976), jejíž základní koncepty a struktura jsou dodnes využívány. (Lillesand et al., 2008)

Více o této klasifikaci, a také o dalších existujících klasifikacích a pomocí nich tvořených databázích land cover i land use, je uvedeno v následujících podkapitolách.

## **2.2.1 USGS Land Use/Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data**

Klasifikační systém USGS Land Use/Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data je založen na kategoriích, které lze jednoznačně interpretovat z leteckých či satelitních snímků (Lillesand et al., 2008). Anderson ... [et al.] (1976) určil následujících deset základních kritérií, které tato klasifikace, využívající data dálkového průzkumu Země, musí splňovat:

- „ 1. Minimální hodnota interpretační přesnosti při identifikaci kategorií land use a land cover z dat dálkového průzkumu Země by měla být minimálně 85 %.
2. Přesnosti interpretace pro několik kategorií by měly být přibližně vyrovnané.
3. Opakovaných či opakovatelných výsledků by mělo být dosaženo různými interpreátory i v různých časech interpretace.
4. Systém klasifikace by měl být použitelný v rámci rozsáhlých oblastí.
5. Klasifikace by měla být provedena tak, aby bylo možné odvodit z daných tříd land cover jejich využití (land use).
6. Klasifikační systém by měl být použitelný pro data získaná dálkovým průzkumem Země ve všech obdobích roku.
7. Mělo by být umožněno efektivní využívání subkategorií, které mohou být získány pozemním průzkumem nebo použitím dat dálkového průzkumu Země větších měřítek či lepšího zvýraznění.
8. Musí být možné slučování tříd.
9. Měla by existovat možnost srovnání s predikcemi o využití půdy.
10. Pokud je to možné, měla by být rozeznána víceúčelovost využití půdy. “

Tento klasifikační systém je navrhnout tak, aby do něj šla zařadit veškerá místa na zemském povrchu. Pracuje se čtyřmi různými úrovněmi podrobnosti, které jsou označovány jako Level I až Level IV. Levely I a II mají pevně dané třídy a jsou interpretovatelné ze satelitních snímků, využívají se nejvíce pro mapování krajinného pokryvu a využití půd na národní úrovni. Zbývající úrovně (Level III a IV) je nutno interpretovat z dat s vysokým prostorovým rozlišením (převážně letecké snímky). Tyto úrovně jsou přizpůsobitelné pro potřeby podrobnějších klasifikací využití půdy, převážně na lokální a regionální úrovni. Celkový systém tak umožňuje uspokojení potřeb nejpodrobnějších klasifikací a zároveň zaručuje kompatibilitu tříd mezi sebou i s národním systémem. (Anderson ... [et al.], 1976).

Dle Andersona ... [et al.] (1976) jsou základní třídy úrovně I vymezeny následovně: 1. městská či zastavěná půda (Urban or Built-up Land), 2. zemědělská půda (Agricultural Land), 3. pastviny (Rangeland), 4. lesní půda (Forest Land), 5. voda (Water), 6. mokřady (Wetland), 7. neúrodná půda (Barren Land), 8. tundra (Tundra) a 9. věčný sníh či led (Perennial Snow or Ice). Detailní definice těchto tříd spolu s definicemi tříd úrovně II lze nalézt v právě citované publikaci.

## **2.2.2 CORINE Land Cover**

Iniciátorem programu CORINE (COoRdination of INformation on the Environment) byla v roce 1985 Evropská komise, roku 1991 byl tento projekt rozšířen i na státy střední a východní Evropy (Cenia, [200–?]). Nyní je projekt CORINE veden organizací European Environment Agency (Lillesand et al., 2008).

Cílem CORINE Land Cover je tvorba databáze krajinného pokryvu Evropy na základě jednotné metodiky a pravidelné aktualizace databáze. Databáze krajinného pokryvu jsou vytvářeny interpretací snímků družice LANDSAT nasnímaných v příslušných referenčních letech. Z těchto snímků jsou identifikovány pouze plošné objekty (polygony), jejichž minimální rozloha je 25 ha a minimální šíře 100 m. Změnové databáze jsou tvořeny porovnáním databází krajinného pokryvu pro jednotlivé roky, přičemž za změnovou plochu jsou považována pouze souvislá přeměněná území o minimální velikosti 5 ha. V České republice byly zatím vytvořeny databáze krajinného pokryvu pro roky 1990, 2000 a 2006 a změnové databáze mezi těmito lety. (Cenia, [200–?]).

Klasifikace CORINE Land Cover je tvořena třemi úrovněmi – úroveň 1 (vhodná pro měřítko menší než 1 : 1 000 000) obsahuje pět tříd (Cenia, [200–?]). České názvy těchto hlavních tříd jsou dle webových stránek Ministerstva životního prostředí tyto: 1. uměle přetvořené povrchy, 2. zemědělské oblasti, 3. les a polopřírodní vegetace, 4. mokřady a 5. vody. Úroveň 2 zpřesňuje základní první úroveň, zahrnuje 15 tříd a používá se pro měřítko 1 : 500 000 až 1 : 1 000 000 (European Environment Agency, 1994). Nejpodrobnější úroveň 3 v měřítku 1 : 100 000 obsahuje 44 tříd, přičemž v České republice se vyskytuje 28 z nich (Cenia, [200–?]). Podrobné definice veškerých tříd a přesnou metodiku zpracování databází lze nalézt v reportu CORINE Land Cover: Methodology and Nomenclature [online], v technických reportech EEA z let 2000 a 2007 lze pak nalézt doplňující informace pro databáze CORINE Land Cover 2000 a 2006. Zjednodušené definice tříd včetně velmi stručné metodiky v českém jazyce pak lze dohledat na výše zmiňovaných webových stránkách Ministerstva životního prostředí ČR.

## **2.2.3 Další klasifikace a databáze land cover / land use**

Existuje i mnoho dalších databází land cover či land use pro různá místa na Zemi a pro různá časová období. Tato podkapitola stručně zmíní některé vybrané projekty.

Ve Spojených státech se od počátku 90. let 20. století již několikrát sešlo konsorcium federálních agentur nesoucí označení Multi-Resolution Land Characteristics Consortium (MRLC), které koordinuje vytváření komplexní národní databáze krajinného pokryvu National Land Cover Database (NLCD). Tyto databáze vznikly zatím dvě – NLCD 1992 a NLCD 2001. Obě vznikly interpretací snímků pořízených družicí Landsat (prostorové rozlišení je 30 metrů). Použitá klasifikace vychází z klasifikace navržené Andersonem ... [et al.], 1976. Je však upravena a obsahuje 21 tříd pro rok 1992, v roce 2001 pak těchto 21 tříd bylo ještě doplněno o několik dalších pobřežních oblastí. Výsledné databáze jsou dostupné na webových stránkách

MRLC, na těchto stránkách lze také nalézt podrobnou metodiku a definice tříd. (U.S. Department of the Interior & U.S. Geological Survey, [?]).

Food and Agriculture Organization (FAO) pracuje na projektu Africover, jehož cílem je zmapování krajinného pokryvu celé Afriky a vytvoření databáze Multipurpose Africover Database for Environmental Resources v měřítku 1 : 200 000, příp. 1 : 100 000 ve specifických územích a malých státech (Lillesand et al., 2008). Ke klasifikaci využívá systém Land Cover Classification System (LCCS), který je postaven na primárním rozdělení krajiny na povrchy s vegetací a povrchy bez vegetace, ty jsou dále děleny do základních osmi tříd, které jsou pak dalšími postupy ještě podrobněji členěny (Gregorio et al., 2000). Více o tomto projektu je k nalezení na jeho webových stránkách: <http://www.africover.org>.

## 2.3 Klasifikační metody

Podstata klasifikace spočívá v rozdělení naměřeného datového souboru do určitých tříd podle předem definovaného klasifikačního pravidla. Klasifikační pravidlo lze stanovit na základě příznaků, což jsou význačné a charakteristické změny radiální veličiny v závislosti na změně druhového či stavového parametru. Rozeznávají se čtyři typy příznaků, z nichž jsou nejvíce využívány příznaky spektrální, dále se rozlišují příznaky prostorové, časové a polarizační. (Kolář, 1990)

Prvním krokem ke klasifikaci obrazového datového souboru musí být vždy oprava dat, která odstraní či alespoň potlačí zkreslení, šum a další nepřesnosti vzniklé už v průběhu jejich získávání. Proces odstraňování chyb je specifický pro každý obrazový datový soubor. Obecně musí být provedeny geometrické korekce, které transformují celý snímek tak, aby bylo možné vlícovat ho do mapy, a radiometrické korekce, které upravují hodnoty jednotlivých pixelů. Geometrickými korekcemi se opravují zkreslení vzniklá ze zakřivení Země a z výškové členitosti reliéfu a také zkreslení vzniklá změnou výšky, polohy a rychlosti nosiče. Geometrické chyby lze rozdělit na chyby systematické (předvídatelné) a chyby náhodné (nepředvídatelné). Zkreslení způsobená systematickými chybami jsou známá již předem z charakteristik čidla a letu nosiče a jsou odstraňována pomocí tzv. georeferenčních korekcí již v přijímací stanici dat. Chyby náhodné musí být odstraňovány geometrickou transformací pomocí vlíčovacích bodů, které lze nalézt na snímku a jsou známy jejich přesné souřadnice. Po geometrické transformaci musí následovat převzorkování, které může být provedeno dvěma způsoby. Buď má pixel transformovaného obrázku hodnotu stejnou jako nejbližší pixel v obrázku původním (princip nejbližšího souseda), nebo se vypočte nová hodnota pixelu dle určitého předpisu (princip bilineární interpolace či kubické konvoluce). Převzorkování obrazu druhým způsobem má za výsledek vyhlazený převzorkovaný obraz, který ovšem mírně mění úroveň šedi původních dat, proto je dobré převzorkovávat až po klasifikaci obrazu. Provádění radiometrických korekcí je obtížnější, neboť na ně neexistuje žádná absolutní metoda či vzorec a je využíváno pouze různých modelů. Radiometrické korekce opravují především chyby ze stavu atmosféry, dále pak chyby dané kalibrací přístrojů, chyby ze změny ozáření a chyby vyplývající z geometrie letu. (Kolář a kol., 1997)



Samotnou klasifikaci předzpracovaného obrazu lze provést dvěma způsoby, buď vizuálně – tj. prohlížením obrazu a určováním určitých úrovní šedi či barevných odstínů na jeho ploše (označováno jako interpretace) nebo s pomocí počítačových klasifikačních algoritmů. Zásadně převládá způsob využívající počítače, neboť pomocí něho lze řešit složitější úkoly s velkými rozsahy hodnot a lze zpracovávat vícerozměrné datové soubory. Další výhodou je také to, že všechny operace prováděné počítačem mají exaktní tvar, tudíž mohou být použity opakovaně naprosto stejným způsobem. Využívání počítačů napomáhá i fakt, že naměřená data na družicových nosičích jsou již pořizována v digitálním tvaru. (Kolář a kol., 1997)

Existují dva základní tradiční typy klasifikací – klasifikace řízená a klasifikace neřízená. Další možností klasifikace je využití prvků obou těchto klasifikací, tento přístup je pak označován jako hybridní klasifikace. Všechny tyto tradiční automatické klasifikace jsou založeny pouze na studiu spektrálního chování jednotlivých pixelů a neberou na zřetel informace o jejich okolí. Proto jsou vyvíjeny nové klasifikační přístupy, které umožňují kombinovat různé typy vstupních dat. Jedná se o metodu neuronových sítí, texturální klasifikátory, princip neurčitosti a kontextuální klasifikátory. (Dobrovolný, 1998). Tato práce však uvádí v následujících podkapitolách podrobnosti pouze o klasifikaci řízené a neřízené a o postklasifikačních úpravách výstupů a možnostech hodnocení přesnosti klasifikací.

Výstupem všech klasifikací bývají nejčastěji tematické mapy, tabulky nebo digitální datové soubory, které slouží jako vstupy do geoinformačních systémů. (Lillesand et al., 2008)

### **2.3.1 Řízená klasifikace**

Řízená klasifikace se skládá ze tří základních, na sebe navazujících, kroků - z tréninkového stadia, klasifikačního stadia a z výstupů. (Lillesand et al., 2008).

Tréninkové stádium je prvním krokem, ve kterém musí být vybrány trénovací plochy (tj. představitelé jednotlivých tříd, které jsou spektrálně od sebe oddělitelné). Kvalitní trénování plochy musí splňovat několik podmínek. Hranice trénovacích ploch by se měly vyhnout okrajovým pixelům ploch, neboť tyto pixely obsahují smíšenou spektrální informaci. Trénovací plochy musí obsahovat dostatečný počet pixelů, lepší je však vymežit několik různých menších ploch definujících jednu třídu nežli jednu plochu velkou. Všechny trénovací plochy by měly být na snímku pokud možno rovnoměrně rozmístěny, neboť vyzařovací či odrazivé vlastnosti stejných objektů mohou být v různých částech snímku odlišné. Velmi důležité je také normální rozložení pixelů ve všech pásmech pro všechny trénovací plochy. Normální rozložení pixelů indikuje, že trénovací plocha zahrnuje opravdu pouze pixely jedné třídy, a také je nutnou vstupní podmínkou pro některé klasifikátory. Aby výsledná klasifikace byla dobrá, je nutné, aby tréninková data byla kompletní a reprezentativní. (Dobrovolný, 1998)

Klasifikační stadium je automatická práce počítače, který zařadí či nezařadí jednotlivé pixely do předem vybraných tříd a vytvoří tak zcela nový obraz v digitální podobě s novými funkčními hodnotami (Kolář a kol., 1997). K rozřazování pixelů do jednotlivých tříd

je využíváno různých statistických klasifikátorů, jejichž základní principy jsou popsány v následujících odstavcích.

*Klasifikátor minimální vzdálenosti středů shluků (Minimum Distance to Means Classifier)* je velmi jednoduchý, avšak není příliš citlivý na různý stupeň rozptylu ve spektrálním chování dat, proto není pro velkou část úloh vhodný. Funguje na principu porovnávání vzdáleností mezi určeným pixelem a centroidy (tj. mezi středy shluků ve vícerozměrném prostoru, což jsou vypočítané průměry ze spektrálních hodnot pro každou třídu pro každé pásmo). Určovaný pixel se pak podle pravidla o nejmenší vzdálenosti zařadí do toho shluku, k jehož centroidu má nejbližší. Klasifikátor minimální vzdálenosti středů shluků lze vylepšit zadáním hodnoty mezní vzdálenosti, tj. maximální vzdálenosti od centroidu, kdy je ještě pixel do daného shluku zařazen. Pokud je tato mezní vzdálenost od centroidu větší než definovaná mezní vzdálenost, pixel není zařazen do žádného ze shluků a zůstává nezařazený. Rozšířením klasifikátoru minimální vzdálenosti středů shluků je *klasifikátor „K“ nejbližších sousedů*, který hodnotí příslušnost daného pixelu k určité třídě nejen na základě jeho vzdálenosti od centroidů, ale i na základě početního zastoupení pixelů určité třídy v okolí zpracovávaného obrazového prvku. „K“ je předem stanovený počet nejbližších sousedů v analyzovaném příznakovém poli, který je vyhledáván ke klasifikovanému pixelu. Pixel je zařazen do té třídy, která v množině sousedů převažuje. (Dobrovolný, 1998)

*Klasifikátor pravoúhelníků (Parallelepiped Classifier)* nepracuje s průměrnými hodnotami, nýbrž bere pro každou třídu, pro každé pásmo minimální a maximální hodnotu ze všech pixelů, které jsou pro danou třídu natrénovány. Vedením rovnoběžných linií pixely s minimální a maximální hodnotou v každém pásmu vzniknou čtyřúhelníky (v případě dvou pásem) či pravoúhelníky (v případě více pásem), které budou vymezovat oblast, uvnitř které budou všechny pixely patřit do jedné třídy. Pixely mimo takto vymezené oblasti zůstanou nezařazené. Problémy nastávají v případě, že dojde k překrytu pravoúhelníků. Pixely v těchto překrytových oblastech pak musejí být rozřazeny v druhém kroku pomocí jiného rozhodovacího pravidla. Jinou možností pro zařazení těchto sporných pixelů do správné třídy je stanovení priority jednotlivých tříd. Jednou z modifikací klasifikátoru pravoúhelníků je vypuštění odlehlých pixelů a definování pravoúhelníků nikoliv minimálními a maximálními hodnotami, ale například určitým násobkem směrodatné odchylky. Jinou modifikací může být nahrazení jednoduchého pravoúhelníku několika menšími pravoúhelníky pro každou třídu, neboť tyto menší čtyřúhelníky lépe vystihují tvar shluků. (Dobrovolný, 1998)

*Klasifikátor maximální pravděpodobnosti (Gaussian Maximum Likelihood Classifier)* pracuje na principu výpočtu pravděpodobnosti s jakou klasifikovaný pixel spadá do určité třídy. Vychází z předpokladu, že shluky pixelů v trénovacích datech mají normální rozdělení. Poté při zatřídění každého pixelu klasifikátor maximální pravděpodobnosti kvantitativně hodnotí rozptyl hodnot, kovarianci i korelaci každé třídy. Hodnoty stejných pravděpodobností tvoří ve vícerozměrném prostoru izolinie, které mají často tvar elipsy. Klasifikovaný pixel se zařadí do třídy, do které s největší pravděpodobností spadá. Lze také nastavit prahovou hodnotu pravděpodobnosti a pokud maximální pravděpodobnost zařazení pixelu je nižší než tato prahová

hodnota, pixel zůstane neklasifikován. Klasifikátor maximální pravděpodobnosti je výpočetně velmi náročný a také velmi citlivý na případné nedostatky v trénovacích datech. Pokud jsou však trénovací data kvalitní, dává skvělé výsledky. Vylepšením klasifikátoru maximální pravděpodobnosti je *Bayesovský klasifikátor*, který navíc pracuje s různými váhami tříd. Váhou může být pravděpodobnost výskytu každé třídy v daném území (tj. třídy běžné budou mít větší váhu než třídy, které se na území vyskytují vzácně) nebo třeba „cena“ za špatné zatřídění pixelu (tj. nejvyšší váhu dostanou ty třídy, na jejichž správném určení nejvíce záleží). Klasifikátor maximální pravděpodobnosti předpokládá stejnou pravděpodobnost výskytu pro všechny třídy, Bayesovský klasifikátor pak tyto stejné pravděpodobnosti mění na různé dle zadaných vah. Bayesovský klasifikátor je tak nejpřesnějším a nejcitlivějším klasifikátorem, velkým problémem je ovšem správné určení vah tříd, proto je využíván méně než klasifikátor maximální pravděpodobnosti. (Dobrovolný, 1998)

### **2.3.2 Neřízená klasifikace**

Na rozdíl od řízené klasifikace, v procesu neřízené klasifikace se nevyužívá trénovacích ploch. Je založena na předpokladu, že každý krajinný pokryv má charakteristické spektrální vlastnosti a že stejné typy povrchu způsobují stejné či velmi podobné spektrální odezvy. Na základě spektrální podobnosti jsou pak pomocí určitých algoritmů pixely slučovány do shluků, ze kterých vzniknou spektrální třídy (tj. třídy prvků od sebe spektrálně rozlišitelných). Tyto spektrální třídy ovšem ještě nemají požadovanou informační hodnotu, proto musí zpracovatel porovnat výsledné spektrální třídy s leteckými snímky či jinými dostupnými informacemi a zjistit, jaké povrchy (informační třídy) jednotlivým spektrálním třídám odpovídají. Největší výhodou neřízené klasifikace je, že před počátkem procesu nemusí být přesně definovaný počet tříd land cover jako u klasifikace řízené, takže se nemůže stát, že by bylo na nějakou třídu zapomenuto. (Kolář a kol., 1997)

Princip neřízené klasifikace lze jednoduše shrnout do několika kroků, například dle Dobrovolného (1998) jsou základní kroky obecné neřízené klasifikace obrazu následující:

1. Definování přibližného počtu výsledných shluků (například minimální a maximální počet).
2. Generování počáteční polohy centroidu pro každý shluk.
3. Postupné přiřazení všech pixelů k tomu shluku, k němuž mají v příznakovém prostoru nejbližší.
4. Výpočet nového centroidu pro každý shluk na základě přiřazených pixelů.
5. Opakování kroku 3 a 4 do té doby, dokud se poloha shluku či počet pixelů zařazených do shluku výrazně nemění.
6. Přiřazení konkrétního významu každému tzv. stabilnímu shluku.
7. Vytvoření informačních tříd spojováním (agregací) tříd spektrálních. “

Existuje mnoho různých algoritmů používaných k vytváření spektrálních tříd. Nejjednodušším a jedním z nejběžněji používaných je shlukovací algoritmus označovaný jako *K-means*. Algoritmus *K-means* vyžaduje od zpracovatele na počátku procesu zadání

požadovaného počtu iterací a požadovaného počtu shluků, případně i lokaci jejich středů. Pokud lokace středů shluků nejsou zadány, algoritmus jejich počáteční polohy zvolí sám rovnoměrným rozmístěním ve vícerozměrném prostoru. Každý pixel ve snímku je pak přiřazen ke shluku, jehož střed (průměrový vektor) je mu v analyzovaném prostoru nejbližší. Po klasifikaci všech pixelů ve snímku dojde k přepočítání průměrových vektorů všech shluků a pixely jsou přeřazeny dle těchto nových průměrových vektorů. Celý proces se opakuje v dalších iteracích až do té doby, než je dosaženo zadaného počtu iterací nebo do té doby, kdy už nedochází k významnému počtu změn v zařazení jednotlivých klasifikovaných pixelů. (Dobrovolný, 1998)

Vylepšenou variantou algoritmu K-means je algoritmus *ISODATA* (Iterative Self-Organizing Data Analysis Techniques A), kde koncové A je přidáno pouze z důvodu lepšího pojmenování algoritmu. Algoritmus *ISODATA* se od algoritmu K-means liší tím, že nemá stálý počet shluků, aneb požadovaný počet shluků musí být zadán jejich minimálním a maximálním počtem. V tomto rozmezí pak počet shluků kolísá v jednotlivých iteracích. Shluky mohou být spojovány, pokud vzdálenost středů těchto shluků je menší než nějaká předem definovaná vzdálenost. Shluky mohou být také rozdělovány, pokud se stanou příliš heterogenními (pokud hodnota směrodatné odchylky určitého shluku přesáhne její předem zadanou maximální hodnotu), nebo dokonce rušeny, pokud obsahují méně pixelů než je předem zadaná minimální velikost shluku. Po každé iteraci dochází k přepočítávání statistik a opakování celého procesu a přeřazování pixelů. Proces klasifikace je definitivně ukončen, když je dosaženo maximálního zadaného počtu iterací nebo když už nedochází k významnému počtu změn v zařazení jednotlivých klasifikovaných pixelů. (Lillesand et al., 2008)

### **2.3.3 Postklasifikační úpravy**

Do postklasifikačních úprav lze zahrnout agregaci tříd, přejmenování tříd a úpravu jejich barevnosti, a také vyhlazení výsledků klasifikace.

Agregace neboli shlukování je sloučení mnoha velmi specifických tříd do menšího počtu tříd požadovaných. Agregaci je nutné provést především u výsledků klasifikace neřízené, neboť tímto přístupem jsou vymezeny i velmi specifické třídy povrchů lišící se například pouze vlhkostí. Avšak i u klasifikace řízené je někdy nutné agregovat třídy, neboť pro co nejlepší výsledky klasifikace je třeba již v trénovacích plochách vymežit podtřídy, které nejsou ve výsledcích klasifikace potřebné (např. čistá voda a voda s velkým obsahem sedimentů = voda). (Dobrovolný, 1998)

Vzhledem k tomu, že uvedené způsoby klasifikací (řízená i neřízená) rozhodují o zařazení pixelu do určité třídy pouze na základě jeho spektrálních hodnot a neberou ohled na vlastnosti okolních pixelů, nachází se v klasifikovaném obraze velké množství osamocených pixelů či malých skupinek pixelů zatříděných odlišně od jejich okolí. Pro řadu účelů je tento výsledek nepřilíživý, proto je dobré obraz vyhladit. Jednou z možností jak obraz vyhladit je použití nízkofrekvenčního filtru. Tento filtr však nesmí být založen na aritmetických operacích (například na průměru), neboť hodnoty pixelů mají kvalitativní funkci a v obraze by tak

vznikaly nesmyslné výsledky. Postklasifikační filtr musí být tedy založen na logickém operátoru. Příkladem takového filtru může být filtr majoritní, který pracuje na principu pohybujícího se okénka (nejčastěji o velikosti 3x3 nebo 5x5 pixelů) přes klasifikovaná data. V každém okénku je určena majoritní třída a pokud střední pixel nemá hodnotu příslušné majoritní třídy, je na ni jeho hodnota změněna. Pokud však v okénku jednu majoritní třídu určit nelze, hodnota středního pixelu zůstává nezměněna. (Kolář a kol., 1997)

### **2.3.4 Hodnocení přesnosti klasifikace**

Klasifikace snímku může být považována za dokončenou teprve tehdy, když jsou provedeny všechny postklasifikační úpravy včetně zhodnocení přesnosti klasifikace. I přesto, že hodnocení přesnosti klasifikace je velmi důležitým krokem v celém klasifikačním procesu, možnosti hodnocení přesnosti klasifikací jsou stále dosti omezené. Využívají se pouze způsoby hodnocení přesnosti, které přesnost klasifikace spíše odhadují. Kdyby však bylo požadováno dokonalé zhodnocení přesnosti klasifikace, bylo by potřeba porovnat celý klasifikovaný obraz se skutečným územím, což by bylo finančně velmi náročné a ztrácel by se tak i význam dálkového průzkumu Země. Proto tento způsob hodnocení přesnosti klasifikace je využíván pouze u výjimečných vědeckých projektů. (Lillesand et al., 2008). Přehled používaných ukazatelů přesnosti klasifikací je uveden v následujícím textu.

Jedním z nejčastěji využívaných způsobů hodnocení klasifikace je použití tzv. *klasifikační chybové matice*, někdy také označované jako kontingenční tabulka (v angličtině označováno jako *error matrix*, *confusion matrix* nebo *contingency table*). Klasifikační chybová matice je vždy čtvercová, obsahuje tolik řádků a tolik sloupců, kolik tříd obsahuje posuzovaná klasifikace. Řádky chybové matice jsou vždy tvořeny klasifikovanými daty a její sloupce daty, která odpovídají skutečnosti. Data správně klasifikovaná, odpovídající skutečnému zemskému pokryvu, se nachází v této chybové matici na hlavní diagonále jdoucí z levého horního rohu do rohu pravého dolního (v ideálním případě by měla být tvořena nejvyššími hodnotami v tabulce a hodnoty mimo tuto diagonálu by měly být nulové). Všechny ostatní hodnoty mimo hlavní diagonálu jsou chyby, a to buď chyby z opomenutí (*omission*) či chyby z nesprávného zařazení (*inclusion*). Chyby z opomenutí korespondují s hodnotami ve sloupcích mimo hlavní diagonálu - je to počet pixelů, které jsou ve skutečnosti určitou třídou, avšak v klasifikaci byly zařazeny do tříd jiných. Chyby z nesprávného zařazení korespondují s hodnotami v řádcích mimo hlavní diagonálu - je to počet pixelů, které byly zařazeny do určité třídy, ale ve skutečnosti reprezentují třídy jiné. (Lillesand et al., 2008)

Mohou být dva typy chybových matic. Prvním typem je chybová matice založená na trénovacích datech (sloupce matice jsou tvořeny trénovacími daty). Tato chybová matice a ukazatele přesnosti odvozené od ní však hodnotí pouze výsledek klasifikace trénovacích ploch, nikoliv celého obrazu. Vypovídá pouze o tom, jak dobře lze využít statistické charakteristiky získané z trénovacích ploch na klasifikaci těch samých ploch. Druhý typ chybové matice je založen na náhodném vzorkování, kde je nejprve potřeba definovat vhodný počet bodů dobře geograficky rozmístěných v obraze, u kterých je známo, jakou třídu

krajinného pokryvu skutečně reprezentují. Počet těchto bodů by měl být minimálně 50 pro každou třídu land cover, avšak pro rozlehlejší území (více než milion arů) a pro území, ve kterém se vyskytuje více než 12 tříd land cover, by měl být počet těchto bodů pro každou třídu navýšen na 75 až 100. Počty bodů pro každou třídu lze však přizpůsobovat i podle důležitosti a četnosti výskytu těchto tříd v klasifikovaném území. V případě chybové matice druhého typu jsou sloupce matice tvořeny právě těmito referenčními body. Všechna hodnocení přesnosti vycházející z této chybové matice mají vypovídající hodnotu o přesnosti klasifikace celého obrazu. (Lillesand et al., 2008)

Z klasifikačních chybových matic pak vycházejí další ukazatele přesnosti – jedná se o uživatelskou přesnost, zpracovatelskou přesnost a přesnost celkovou. *Uživatelská přesnost* udává s jakou pravděpodobností pixel zařazený do určité třídy tuto třídu doopravdy představuje. Počítá se pro každou třídu zvlášť a to jako podíl správně klasifikovaných pixelů (hodnota na hlavní diagonále) ku počtu pixelů, které do této kategorie byly zařazeny (suma v řádku odpovídajícímu posuzované třídě). *Zpracovatelská přesnost* je poměr mezi správně klasifikovanými pixely (opět hodnota na hlavní diagonále) a pixely použitými pro testování dané třídy (suma ve sloupci, tj. celkový počet pixelů trénovacích ploch dané třídy či počet bodů použitých pro testování dané třídy). *Přesnost celková* se udává pro celou klasifikaci. Počítá se jako podíl všech správně vyklasifikovaných pixelů (suma hodnot na hlavní diagonále) ku celkovému počtu klasifikovaných pixelů. (Lillesand et al., 2008)

Jiným ukazatelem přesnosti je *Kappa koeficient*. Tento koeficient porovnává přesnost provedené klasifikace (určené z chybové matice) s přesností dosažitelnou čistě náhodným zařazením pixelů do jednotlivých tříd. Hodnota koeficientu Kappa se může pohybovat v rozmezí hodnot nula až jedna. Hodnota jedna by teoreticky znamenala, že při dané klasifikaci bychom se vyhnuli 100 % chyb, které by vznikly při čistě náhodném zařazování pixelů do jednotlivých tříd. (Dobrovolný, 1998)

## 3 DATA A METODIKA

### 3.1 Použitý software

Ke zpracování bakalářské práce byl nejvíce využíván komerční software PCI Geomatics verze 10.1 (z roku 2007), a to konkrétně modul Focus verze 10.1.2 (z roku 2008). Pomocí tohoto programu byl proveden ořez snímků Landsat dle hranic zájmového území a především pomocí něj byly provedeny veškeré klasifikace včetně postklasifikačních úprav a hodnocení přesnosti. Software PCI Geomatics pracuje hlavně se soubory typu PCIDSK (přípona \*.pix), ale umožňuje převod mezi různými formáty souborů, přičemž využíván byl převod rastrových dat formátu GeoTIFF (přípona \*.tif) do formátu PCIDSK a zpět.

Dále byl velmi využíván komerční software firmy ESRI - ArcGIS verze 9.3 s licencí ArcInfo. Z celého software ArcGIS byla nejvíce využívána jeho část ArcMap, ve které byl vytvořen shapefile okresu Náchod. Ten byl také v tomto programu převeden do stejného souřadnicového systému jako snímky Landsat. Na konci procesu byly pomocí programu ArcMap převedeny rastrové výstupy land cover z PCI Geomatics do vektorové podoby (formát shapefile), vytvořeny překryvy land cover jednotlivých let a překryvy s CORINE Land Cover. Také v programu ArcMap byly vytvořeny všechny mapové výstupy. Využívanou součástí software ArcGIS byl i ArcCatalog pro správu dat.

Dalšími využitými programy byly: Microsoft Office Word 2003, Microsoft Office Excel 2003 a Microsoft Poznámkový blok verze 5.1.

### 3.2 Použitá data

#### 3.2.1 Snímky Landsat

Základním datovým podkladem pro tuto bakalářskou práci jsou satelitní snímky pořízené družicemi Landsat, které jsou v současné době volně dostupné na internetu. První zprávu o zveřejnění archivu snímků vydala USGS 21. dubna 2008 a do konce roku 2008 se pak na internetu objevily snímky pořízené Landsatem 5 a 7. Na počátku roku 2009 k nim pak přibýly i snímky nejstarší, pořízené Landsaty 1 až 4 (U.S. Department of the Interior & U.S. Geological Survey, [2006?]). Jednotlivé multispektrální scény jsou komprimovány pomocí softwaru Gzip (přípona souborů \*.gz či \*.tar.gz). Jednotlivá pásma jsou ve formátu GeoTIFF, v souřadnicovém systému UTM s referenčním elipsoidem WGS84. Veškerá volně dostupná družicová data je možno po zaregistrování se na webových stránkách USGS vyhledávat a stahovat pomocí těchto prohlížečů: <http://earthexplorer.usgs.gov> nebo <http://glovis.usgs.gov/>.

Pro snadné hledání dat je zaveden globální záznamový systém (global notation system) označovaný jako World Reference System (WRS), který pomocí čísla dráhy (path) a čísla řádky

(row) jednoznačně definuje požadovanou scénu. Vzhledem k rozdílným parametrům oběžných drah Landsatu 1-3 a Landsatu 4-7 existuje WRS-1 a WRS-2. Pro WRS-1 (Landsat 1-3) je odvozeno 251 drah (číslo 001 se nachází na  $65,48^\circ$  západní šířky a dále číslování postupuje k západu) a 248 řádek (z toho 119 je pořízených za denního světla, číslování řádek začíná na  $80^\circ 1' 12''$  severní šířky, číslo 060 je na rovníku a 119 je na  $80^\circ 1' 12''$  jižní šířky). WRS-2 vychází z číslování WRS-1, řádky jsou zachovány v takřka nezměněné podobě, avšak dráhy musely být přizpůsobeny rozdílné časové rozlišovací schopnosti Landsatu 4-7, která se zkrátila z 18 na 16 dní. WRS-2 tedy obsahuje 233 drah, ale ponechává 248 řádek. (NASA, [?])

Okres Náchod lze nalézt na scénách označených dráhou 205 (WRS-1) či 190 (WRS-2) a v obou případech řadou 025. Ve vyhledávacích <http://earthexplorer.usgs.gov> nebo <http://glovis.usgs.gov/> lze nalézt několik desítek snímků pro dané území z různých let, avšak tyto snímky nejsou všechny zcela kvalitní, což je způsobeno především výskytem oblačnosti ve scéně. Proto pro hodnocení dlouhodobých změn land cover ve zkoumaném okrese byly použity kvalitní, již ortorektifikované snímky z let 1979, 1991 a 2001, které patří do tzv. Global Orthorectified Landsat Data Set.

Global Orthorectified Landsat Data Set je unikátní soubor snímků celého zemského povrchu, které byly pořízeny družicemi Landsat ve třech časových horizontech – cca 1975 (senzor MSS), cca 1990 (senzor TM) a cca 2000 (senzor ETM+). Tento soubor snímků, vhodný především k hodnocení dlouhodobých změn celosvětového land cover, byl vypracován na základě jednoho z programů NASA společností Earth Satellite Corporation (sídlící v Rockville, Maryland, USA), přejmenované v roce 2005 na MDA Federal Inc. (U.S. Department of the Interior & U.S. Geological Survey, [200-?]). Scény Landsat pro jednotlivá území a jednotlivé časové horizonty byly pečlivě vybírány na základě několika kritérií: 1) rok pořízení snímku by měl být co nejbližší stanoveným časovým horizontům, 2) snímky by neměly v ideálním případě obsahovat žádnou oblačnost, popř. maximálně 60 % oblačnosti (což se však týká především tropických oblastí, kde je bezoblačná obloha výjimečným stavem), 3) snímky by neměly obsahovat chyby způsobené senzorem (chybějící pixely apod.), 4) snímky by měly být pořízeny nejlépe v době vrcholného vegetačního růstu a 5) přednost byla dána na sebe navazujícím scénám, které splňují předchozí kritéria a zároveň byly pořízeny ve stejný den (Tucker et al., 2004). Takto vybrané snímky byly zmíněnou společností ortorektifikovány, umístěny do souřadnicového systému UTM a poté převzorkovány metodou nejbližšího souseda na velikosti pixelů 14,25 m (panchromatické pásmo senzoru ETM+), 28,5 m resp. 57 m (základní spektrální pásma senzorů TM a ETM+, resp. MSS) a 57 m resp. 114 m (termální pásma ETM+ resp. TM) (Tucker et al., 2004). Ortorektifikované snímky celého světa pro všechny tři časové horizonty jsou volně ke stažení nejen v databázích dostupných přes výše zmíněné vyhledávače, ale dají se taktéž stáhnout na webových stránkách Global Land Cover Facility, University of Maryland (<http://glcf.umiacs.umd.edu>). Všechny scény obsahující mé zájmové území mají projekci UTM 33 a vztahný elipsoid WGS84. Konkrétní informace ke snímkům okresu Náchod z jednotlivých



hodnocených let jsou získány z metadat příslušných snímků a jsou uvedeny v následujících odstavcích.

Scéna z roku 1979 byla pořízena 30. května v dopoledních hodinách senzorem MSS na družici Landsat 3. Scéna se skládá pouze ze čtyř spektrálních pásem: viditelného zeleného a červeného záření a dvou pásem blízkého infračerveného záření. Hraniční vlnové délky a velikosti pixelů všech pásem lze zjistit v tabulce 1.

Scéna z roku 1991 byla pořízena 10. září senzorem TM na družici Landsat 5. Scéna se skládá ze sedmi spektrálních pásem – ze tří viditelných (modrého, zeleného a červeného), dvou blízkých infračervených, jednoho středního infračerveného a jednoho termálního. Vlnové délky a prostorové rozlišení jednotlivých pásem jsou uvedeny v tabulce 1.

Scéna z roku 2001 byla pořízena 24. května senzorem ETM+ na družici Landsat 7. Scéna obsahuje devět spektrálních pásem - tři viditelná (modré, zelené a červené), dvě blízká infračervená, jedno střední infračervené, dvě termální a jedno panchromatické pásmo. Vlnové délky všech pásem a také velikosti jejich pixelů jsou uvedeny opět v tabulce 1.

**Tab. 1 Přehled pásem senzorů družic Landsat a jejich prostorové rozlišení**  
(Zdroje: NASA, [?]; Tucker et al., 2004)

<b>Pásma senzoru MSS (Landsat 3)</b>	<b>velikost pixelu získaná senzorem MSS</b>	<b>velikost pixelu po převzorkování *</b>
Viditelné zelené (0,5 – 0,6 $\mu\text{m}$ )	68 m x 83 m	57 m
Viditelné červené (0,6 – 0,7 $\mu\text{m}$ )	68 m x 83 m	57 m
Blízké IČ (0,7 – 0,8 $\mu\text{m}$ )	68 m x 83 m	57 m
Blízké IČ (0,8 – 1,1 $\mu\text{m}$ )	68 m x 83 m	57 m
<b>Pásma senzoru TM (Landsat 5)</b>	<b>velikost pixelu získaná senzorem TM</b>	<b>velikost pixelu po převzorkování *</b>
Viditelné modré (0,45 – 0,52 $\mu\text{m}$ )	30 m	28,5 m
Viditelné zelené (0,52 – 0,60 $\mu\text{m}$ )	30 m	28,5 m
Viditelné červené (0,63 – 0,69 $\mu\text{m}$ )	30 m	28,5 m
Blízké IČ (0,76 – 0,90 $\mu\text{m}$ )	30 m	28,5 m
Blízké IČ (1,55 – 1,75 $\mu\text{m}$ )	30 m	28,5 m
Termální (10,40 – 12,50 $\mu\text{m}$ )	120 m	114,0 m
Střední IČ (2,08 – 2,35 $\mu\text{m}$ )	30 m	28,5 m
<b>Pásma senzoru ETM+ (Landsat 7)</b>	<b>velikost pixelu získaná senzorem ETM+</b>	<b>velikost pixelu po převzorkování *</b>
Viditelné modré (0,45 – 0,52 $\mu\text{m}$ )	30 m	28,50 m
Viditelné zelené (0,52 – 0,60 $\mu\text{m}$ )	30 m	28,50 m
Viditelné červené (0,63 – 0,69 $\mu\text{m}$ )	30 m	28,50 m
Blízké IČ (0,77 – 0,90 $\mu\text{m}$ )	30 m	28,50 m
Blízké IČ (1,55 – 1,75 $\mu\text{m}$ )	30 m	28,50 m
Termální (10,40 – 12,50 $\mu\text{m}$ )	60 m	57,00 m
Termální (10,40 – 12,50 $\mu\text{m}$ )	60 m	57,00 m
Střední IČ (2,08 – 2,35 $\mu\text{m}$ )	30 m	28,50 m
Panchromatické (0,52 - 0,9 $\mu\text{m}$ )	15 m	14,25 m

\* tj. velikost pixelu ortorektifikovaných snímků, se kterými bude dále pracováno

### **3.2.2 Ostatní zdroje dat**

Důležitým zdrojem dat pro tuto práci je databáze krajinného pokryvu CORINE Land Cover, kterou v České republice spravuje Česká informační agentura životního prostředí Cenia. Databáze CORINE Land Cover je v měřítku 1 : 100 000, obsahuje 28 tříd land cover na území České republiky a je vytvořena pro roky 1991, 2001 a 2006. Nejmenší mapová jednotka je 25 ha. Databáze CORINE Land Cover je pro prohlížení volně dostupná přes mapový server geoportal.cenia.cz. Pro potřeby bakalářské práce mi však byla databáze na základě žádosti poskytnuta zdarma ve formátu shapefile. Z mapového serveru geoportal.cenia.cz byly jako další zdroje informací využity i jiné zde dostupné mapové podklady: ortofotomapa s rozlišením 0,5 metru (cenia\_b\_ortorgb05m\_sde) a vrstva půd v ČR (pudy).

Dalším zdrojem dat pro ověřování přesnosti klasifikace krajinného pokryvu byl mapový server mapy.cz, kde jsou pro prohlížení volně dostupné i ortofotomapy z let 2002 až 2003.

Pro srovnání výsledných rozloh jednotlivých tříd land cover v letech 1991 a 2001 byla také použita Databáze dlouhodobých změn využití ploch Česka (1845 – 2000), která byla vytvořena na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze v rámci projektu Land Use / Land Cover Change (LUCC) in Czechia 1845 – 1948 – 1990 – 2000. Tato databáze využití půdy za katastrální území pro dané roky byla zpracována na základě dat evidovaných různými orgány geodetické služby a zahrnuje následující kategorie: 1) orná půda, 2) trvalé kultury, 3) louky, 4) pastviny, 5) lesní plochy, 6) vodní plochy, 7) zastavěné plochy a 8) ostatní plochy, které jsou velmi heterogenní a zahrnují plochy jak přírodní a polopřírodní, tak plochy silně antropogenně ovlivněné (LUCC Czechia, c2009 - 2010).

Hranice okresu Náchod byly převzaty ze souboru okresy.shp z digitální geografické databáze ArcČR 500 firmy ARCDATA Praha.

## **3.3 Přípravné práce**

### **3.3.1 Geometrické a radiometrické korekce snímků Landsat**

Vzhledem k tomu, že data pořízená dálkovým průzkumem Země obsahují řadu systematických i náhodných chyb, je třeba vždy provést korekce, které tyto chyby alespoň potlačí. Jsou dva typy korekcí, a) korekce geometrické, které transformují souřadnou soustavu obrazového záznamu nebo velikost obrazového prvku, a b) korekce radiometrické, upravující hodnoty jednotlivých pixelů. Z korekcí radiometrických mohou být zvláště vyčleněny korekce atmosférické, které se snaží minimalizovat vliv atmosféry, který zkresluje výsledky distančního měření. (Dobrovolný, 1998)

Použité ortorektifikované snímky v kartografické projekci UTM zaručují dobrou polohovou přesnost danou chybou RMS lepší než 50 metrů pro rok 1991 a 2001 a lepší než 100 m pro rok 1979 (Tucker et al., 2004). Polohová přesnost snímků byla vizuálně ověřena pomocí překrytu celých neořezaných scén všech třech časových horizontů. Kontrolováno bylo, zda-li se na stejném místě ve všech snímcích nacházejí pixely charakterizující dobře určitelné objekty,

např. mosty přes řeky. Tímto způsobem bylo zjištěno, že vybraná místa si polohově odpovídají ve všech snímcích zcela přesně či se liší maximálně o polohu jednoho pixelu. Z toho vyplývá, že snímky byly společností Earth Satellite Corporation správně prostorově ztotožněny, a tudíž je lze využít k hodnocení změn land cover okresu Náchod bez toho, aniž by bylo potřeba na nich provádět jakékoli další geometrické korekce.

Snímky kromě geometrických korekcí obsahují i základní systematické radiometrické korekce, které jsou provedeny na základě dat sesbíraných příslušným senzorem a satelitem (U.S. Department of the Interior & U.S. Geological Survey, [200-?]). Potřeba je pouze vyřešit otázku korekcí atmosférických, o kterých se informační zdroje, nalezené k použitým snímkům, nezmiňují.

Atmosférické korekce jsou složitým problémem a na jejich provedení neexistuje žádné spolehlivé obecně platné řešení. Nejjednodušší metodou eliminace příspěvků atmosféry je tzv. metoda nejtmaššího pixelu, která je založena na faktu, že vyzařování vodních objektů je v oblasti blízkého infračerveného záření téměř nulové (Dobrovolný, 1998). Předpokladu, že vyzařování vodních objektů je v oblasti infračerveného záření minimální, bylo využito i v případě mnou hodnocených snímků. Z radiance odvozené DN hodnoty pixelů všech použitých scén byly zkoumány pro střed vodní nádrže Rozkoš a střed rybníka Špínka. DN hodnoty pixelů v příslušných IČ pásmech a letech jsou uvedeny v tabulce 2. Z této tabulky je vidět, že hodnoty pixelů sice nejsou nulové, avšak ani nijak vysoké. Těchto nízkých hodnot mohou pixely nabývat nejen díky příspěvkům atmosféry, ale i v důsledku sedimentů obsažených ve vodě (obě vodní díla mají bahnité dno) a ne přílišné hloubky vodních děl (průměrná hloubka Rozkoše je cca 10 m a průměrná hloubka Špínky je ještě menší, což je pravděpodobně příčinou vyšších hodnot jejich pixelů). Důležitým zjištěním bylo, že se hodnoty v jednotlivých sledovaných letech příliš nelišily. Vzhledem k výše zmíněným faktům a tomu, že k metodám atmosférických korekcí jsou potřeba meteorologická data z doby pořízení snímků, která by se velmi obtížně zjišťovala, atmosférické korekce nebyly provedeny. Chybějící proces atmosférických korekcí by neměl zásadně ovlivnit výsledky klasifikace land cover.

**Tab. 2 Hodnoty pixelů vodních objektů v IČ pásmech**  
(zdroj: vlastní)

rok	pásma	DN hodnoty pixelů	
		Rozkoš	Špínka
1979	blízké IČ 0,7 – 0,8 $\mu\text{m}$	6 – 7	7 – 8
	blízké IČ 0,8 – 1,1 $\mu\text{m}$	2 – 4	5 – 7
1991	blízké IČ 0,76 – 0,90 $\mu\text{m}$	8 – 9	9 – 11
	blízké IČ 1,55 – 1,75 $\mu\text{m}$	3 – 5	4 – 5
	střední IČ 2,08 – 2,35 $\mu\text{m}$	2 – 3	2 – 3
2001	blízké IČ 0,77 – 0,90 $\mu\text{m}$	12 – 13	16 – 17
	blízké IČ 1,55 – 1,75 $\mu\text{m}$	10 – 11	12 – 13
	střední IČ 2,08 – 2,35 $\mu\text{m}$	8 – 10	10 – 12

### 3.3.2 Úpravy dat pro další zpracování

Jednotlivá pásma multispektrálních snímků Landsat jsou poskytována odděleně ve formátu GeoTIFF. Aby bylo možné s multispektrálním snímkem pohodlně pracovat v software PCI Geomatics, bylo nutné spojit jednotlivá pásma ve formátu GeoTIFF do jednoho souboru formátu PCIDSK (\*.pix). Tento proces spojení pásem do multispektrálního obrazu byl proveden individuálně pro všechny tři zkoumané časové horizonty pomocí funkce Data Merge v software PCI Geomatics, modulu Focus. Vytvoření souboru PCIDSK probíhá ve třech krocích. Nejprve je nutné vybrat vstupní data ke spojení, následně musí být definovány vlastnosti výstupního souboru (jeho název a umístění, souřadnicový systém a velikost pixelu) a musí být zvolena metoda převzorkování souboru. V posledním kroku lze uspořádat a přejmenovat jednotlivá pásma výsledného souboru. Konkrétně byly všechny snímky převzorkovány metodou nejbližšího souseda (Nearest Neighbour). Společný byl také pro všechny snímky souřadnicový systém, který zůstal totožný se vstupním souřadnicovým systémem – UTM 33. Rozdílný byl však pro každý časový horizont počet vstupních pásem (a tím pádem jejich výsledné uspořádání) a velikost pixelu (prostorové rozlišení) výsledného souboru PCIDSK. V roce 1979 vstupovala do procesu všechna čtyři dostupná pásma a velikost výsledného pixelu byla ponechána na 57 metrech. V roce 1991 bylo sloučeno všech dostupných sedm pásem a velikost pixelu byla nastavena na 28,5 metru, tzn. že byla změněna velikost pixelu termálního pásma. Výsledná velikost pixelu 28,5 metru byla také v roce 2001, kdy byla opět změněna velikost pixelu termálních pásem. V roce 2001 bylo sloučeno pouze osm pásem z devíti dostupných, pásmo panchromatické využito nebylo. Řazení pásem v souborech PCIDSK pro jednotlivé roky uvádí tabulka 3.

**Tab. 3 Řazení pásem v souborech PCIDSK pro jednotlivé roky**  
(Zdroj: U.S. Department of the Interior & U.S. Geological Survey, [2006?])

číslo vrstvy	1979	1991	2001
1	Viditelné zelené (0,5 – 0,6 $\mu\text{m}$ )	Viditelné modré (0,45 – 0,52 $\mu\text{m}$ )	Viditelné modré (0,45 – 0,52 $\mu\text{m}$ )
2	Viditelné červené (0,6 – 0,7 $\mu\text{m}$ )	Viditelné zelené (0,52 – 0,60 $\mu\text{m}$ )	Viditelné zelené (0,52 – 0,60 $\mu\text{m}$ )
3	Blízké IČ (0,7 – 0,8 $\mu\text{m}$ )	Viditelné červené (0,63 – 0,69 $\mu\text{m}$ )	Viditelné červené (0,63 – 0,69 $\mu\text{m}$ )
4	Blízké IČ (0,8 – 1,1 $\mu\text{m}$ )	Blízké IČ (0,76 – 0,90 $\mu\text{m}$ )	Blízké IČ (0,77 – 0,90 $\mu\text{m}$ )
5	-	Blízké IČ (1,55 – 1,75 $\mu\text{m}$ )	Blízké IČ (1,55 – 1,75 $\mu\text{m}$ )
6	-	Termální (10,40 – 12,50 $\mu\text{m}$ )	Termální Low Gain (10,40 – 12,50 $\mu\text{m}$ )
7	-	Střední IČ (2,08 – 2,35 $\mu\text{m}$ )	Termální High Gain (10,40 – 12,50 $\mu\text{m}$ )
8	-	-	Střední IČ (2,08 – 2,35 $\mu\text{m}$ )

Vzhledem k tomu, že scény Landsat zabírají podstatně větší území než je území okresu Náchod, musely být tyto scény dle zájmového území oříznuty. Oříznuty byly pomocí vektorové masky vytvořené v programu ArcMap. Ze souboru okresy.shp z digitální geografické databáze ArcČR 500 byl vyexportován jako samostatný shapefile pouze okres Náchod, který byl následně pomocí nástroje Project, který se nachází v ArcToolboxu v balíčku nástrojů Data Management Tools, přetransformován ze souřadného systému S-JTSK do souřadného systému UTM 33 (v ArcGIS přesně pojmenovaný jako: WGS\_1984\_UTM\_Zone\_33N), shodného se snímků Landsat, a uložen pod názvem Nachod\_project.shp. Pomocí nástroje Project byly přetransformovány ze souřadnicového systému S-JTSK do UTM 33 i shapefiley CORINE Land Cover 1990 a 2000, potřebné k porovnání výsledků klasifikací na konci celého procesu.

Dle vytvořené vektorové vrstvy Nachod\_project.shp byly oříznuty soubory PCIDSK pro roky 1979, 1991 i 2001. Ořez scén byl proveden v programu PCI Geomatics, modulu Focus, pomocí funkce Clip, nalézající se v knihovně algoritmů (Algorithm Librarian). Multispektrální snímky okresu Náchod pro zkoumané roky byly uloženy pod těmito názvy: Nachod\_1979.pix, Nachod\_1991\_EarthSat.pix a Nachod\_2001\_EarthSat.pix. Tímto krokem byla dokončena příprava všech souborů potřebných pro klasifikace land cover.

### **3.4 Klasifikační systém land cover**

Před započítím samotné klasifikace je nutné definovat třídy, do kterých bude zkoumaný land cover dělen. Inspirací vytvořeného klasifikačního systému je klasifikační systém CORINE Land Cover. Klasifikace CORINE Land Cover byla vytvořena pro krajinný pokryv celé Evropy, proto některé její třídy v České republice nelze nalézt. Některé třídy se v ČR vyskytují, ale nevyskytují se v okrese Náchod. Všechny třídy nevyskytující se v hodnoceném území byly z klasifikačního systému, použitého v této práci, vypuštěny.

V klasifikaci CORINE Land Cover byla pro klasifikaci tříd, které nelze jednoznačně identifikovat z družicových snímků, použita ještě další pomocná data – letecké snímky, podrobné topografické a tematické mapy či data získaná terénním průzkumem (European Environment Agency, 1994). Tato bakalářská práce je však omezena na klasifikaci land cover okresu Náchod pouze na základě volně dostupných dat, kterými jsou multispektrální snímky pořízené družicemi Landsat o prostorovém rozlišení 28,5 m pro roky 1991 a 2001, resp. 57 m pro rok 1979. Z důvodu nemožné přesné identifikace některých tříd z dostupných dat, musely být vybrané třídy klasifikace CORINE Land Cover sloučeny do agregované třídy, viz tabulka 4.

Dalším zásadním rozdílem, ze kterého vyplývají odlišnosti v některých třídách mezi mnou použitým klasifikačním systémem a systémem CORINE Land Cover, je velikost nejmenší mapové jednotky. Pro klasifikaci krajinného pokryvu v území Náchod bylo za nejmenší mapovou jednotku zvoleno území o rozloze 5 ha, zatímco CORINE Land Cover má nejmenší mapovou jednotku 25 ha.

Srovnání tříd použitých pro klasifikaci land cover okresu Náchod v této BP a tříd CORINE Land Cover uvádí tabulka 4. Celý klasifikační systém CORINE Land Cover (včetně anglických

názvů tříd) je vložen jako příloha 3. Přesné definice tříd použitého klasifikačního systému jsou uvedeny v následujícím textu.

**Tab. 4 Třídy land cover v okrese Náchod - klasifikační systém CORINE Land Cover versus použitý klasifikační systém**

(Zdroj: legendy vektorových vrstev CORINE Land Cover 1990 a 2000 pro okres Náchod)

<b>CORINE Land Cover v okrese Náchod</b>	<b>Můj klasifikační systém - okres Náchod</b>
1. UMĚLE PŘETVOŘENÉ POVRCHY	1. UMĚLE PŘETVOŘENÉ POVRCHY
1.1.2. Nesouvislá městská zástavba	1.1. Nesouvislá zástavba
1.2.1. Průmyslové a obchodní areály	1.2. Souvislá zástavba
1.4.1. Městské zelené plochy	
1.4.2. Sportovní a rekreační plochy	
2. ZEMĚDĚLSKÉ OBLASTI	2. ZEMĚDĚLSKÉ AREÁLY
2.1.1. Nezavlažovaná orná půda	2.1. Orná půda
2.2.2. Sady, chmelnice a zahradní plantáže	2.2. Ovocné sady
2.3.1. Louky a pastviny	2.3. Louky a pastviny
2.4.2. Směsice polí, luk a trvalých plodin	
2.4.3. Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací	
3. LES A POLOPŘÍRODNÍ VEGETACE	3. LESNÍ A POLOPŘÍRODNÍ AREÁLY
3.1.1. Listnaté lesy	3.1. Listnaté lesy
3.1.2. Jehličnaté lesy	3.2. Jehličnaté lesy
3.1.3. Smíšené lesy	3.3. Smíšené lesy
3.2.1. Přírodní louky (pouze v roce 1990)	
3.2.4. Nízký porost v lese	3.4. Ostatní nelesní zeleň
3.3.2. Skály	3.5. Skály
5. VODA	4. VODA
5.1.2. Vodní plochy	4.1. Vodní plochy

### **3.4.1 Uměle přetvořené povrchy**

#### **3.4.1.1 Nesouvislá zástavba**

Do této třídy patří především vesnická zástavba a okrajové části větších měst. Povrch je zde tvořen zastavěnými plochami (především rodinné domy a komunikace) obklopenými zahradami (trávníky, záhony, rozptýlené stromy apod.). Zástavba i vegetace se obě podílejí na odrazivosti povrchu zaznamenané ve snímku.

#### **3.4.1.2 Souvislá zástavba**

Tuto třídu reprezentují především centra větších měst, kde výrazně převažuje zástavba (obytné domy, ulice a jiné umělé povrchy) nad vegetací. V CORINE Land Cover se třída souvislé zástavby na celém území okresu Náchod nevyskytuje pravděpodobně z důvodu velké nejmenší mapové jednotky (centra měst nemají rozlohu větší než 25 ha).

### **3.4.2 Zemědělské areály**

#### **3.4.2.1 Orná půda**

Do této třídy je řazena veškerá orná půda v okrese Náchod (především nezavlažovaná), na které se pěstují převážně obilniny, okopaniny, průmyslové plodiny, zelenina a krmiva. Patří sem rovněž úhor a také plochy pro pěstování léčivých rostlin, květin a malých stromků.

#### **3.4.2.2 Ovocné sady**

Tato třída je tvořena areály ovocných sadů, tvořených různými druhy ovocných stromů nebo keřů a travnatým podrostem.

#### **3.4.2.3 Louky a pastviny**

Tuto třídu reprezentují plochy trvale porostlé travními porosty, které jsou pravidelně sečeny či spásány. Do této kategorie jsou řazeny také přirozené louky, na kterých se kromě přirozených travin vyskytují také rozptýlené keře či solitérní stromy.

### **3.4.3 Lesní a polopřírodní areály**

#### **3.4.3.1 Listnaté lesy**

Třída tvořená areály listnatých stromů, listnaté stromy musí tvořit minimálně 75 % celé jednotky. Podrost listnatých stromů může být tvořen keři i bylinami.

#### **3.4.3.2 Jehličnaté lesy**

Třída tvořená areály jehličnatých stromů, jehličnaté stromy musí tvořit minimálně 75 % celé jednotky. Podrost jehličnatých stromů může být tvořen keři i bylinami.

#### **3.4.3.3 Smíšené lesy**

Třída tvořená areály obsahující listnaté i jehličnaté stromy přibližně ve stejném množství (25 až 75 %). Podrost smíšených lesů může být také tvořen keři i bylinami.

#### **3.4.3.4 Ostatní nelesní zeleň**

Pro tuto třídu je charakteristická keřovitá či bylinná vegetace s rozptýlenými stromy. Tato třída může být představována degradovanými lesními porosty i lesními porosty nově se vyvíjejícími (různými sukcesními stádii či „školkami“). Také jsou do této kategorie řazeny porosty na březích řek, biokoridory, remízky a podobné útvary, které jsou natolik velké, že je lze rozlišit

ze snímku Landsatu a které jsou větší než minimální mapová jednotka. Této třídě přibližně odpovídá třída CORINE Land Cover označovaná jako nízký porost v lese či jako přechodné leso-křoviny (European Environmental Agency, 1994).

### **3.4.3.5 Skály**

Tuto třídu tvoří areály skal. V hodnoceném území jsou to pískovcová skalní města a stěny.

## **3.4.4 Voda**

### **3.4.4.1 Vodní plochy**

Přirozené i umělé vodní nádrže. Ostrůvky v nich jsou vyznačeny pouze tehdy, jsou-li větší než nejmenší mapová jednotka. Vodní toky hodnoceny nejsou, neboť v území okresu Náchod se nenachází žádný vodní tok, který by svojí šířkou výrazně překračoval hranici 28,5 metru (tj. velikost pixelu použitých multispektrálních snímků).

## **3.4.5 Třídy CORINE Land Cover nepoužité pro klasifikaci hodnoceného území**

V této podkapitole jsou stručně uvedeny všechny třídy CORINE Land Cover, které se sice vyskytují na území hodnoceného okresu, ale nebyly použity pro účely klasifikace v této práci. Uvedeno je také zdůvodnění.

První vynechanou třídou je třída průmyslových a obchodních areálů, neboť hlavně ze starších snímků Landsat by byla těžko odlišitelná od zástavby.

Další vypuštěnou třídou jsou areály městské zeleně, neboť jejich spektrální vlastnosti jsou velmi podobné lesním kategoriím případně třídě ostatní nelesní zeleně. Aby tato kategorie byla správně vyklasifikována, muselo by být použito dalších informativních zdrojů či by musel být užit nějaký prostorový příznak.

Areály sportu a zařízení pro volný čas nejsou také klasifikovány, neboť tato třída je těžko určitelná bez dalších datových podkladů (nejlépe podrobných topografických map).

Vynechána byla také třída směsice polí, luk a trvalých plodin. Za tuto třídu by se daly označit oblasti, které by obsahovaly shluky pixelů vyklasifikovaných jako pole, louky a trvalé plodiny, přičemž ani jedna ze skupin pixelů by nebyla větší jak nejmenší mapová jednotka. Avšak vzhledem k relativně malé zvolené nejmenší mapové jednotce (5 ha) tato třída ztrácí na významu, neboť je předpoklad, že každý z těchto krajinných pokryvů bude určitelný. Z podobné příčiny byla vynechána i třída zemědělských oblastí s přirozenou vegetací.

Poslední třídou, která nebyla použita v mém klasifikačním systému na rozdíl od klasifikačního systému CORINE Land Cover, jsou přírodní louky, které by nebylo možné identifikovat pouze z družicových snímků a které se i v CORINE Land Cover vyskytují pouze



na jednom místě pouze v roce 1990. Třída přírodních luk byla proto připojena ke třídě louky a pastviny.

### **3.5 Klasifikace land cover**

Existuje více možností, kterými lze provést klasifikaci multispektrálních družicových snímků. Pro rok 2001 byla vyzkoušena řízená i neřízená klasifikace v programu PCI Geomatics, modulu Focus, a také byly vyzkoušeny klasifikace v programu Multispec. Po všech těchto zkouškách pro klasifikaci land cover okresu Náchod pro všechny časové horizonty byla zvolena metoda řízené klasifikace (supervised classification) v programu PCI Geomatics, modulu Focus. Do procesu řízené klasifikace vstupovala v roce 1979 všechna čtyři dostupná pásma (obsažená v souboru Nachod\_1979.pix). Pro klasifikace v letech 1991 a 2001 bylo vyzkoušeno více kombinací vstupních pásem. První variantou byl vstup všech pásem kromě pásem termálních, druhou variantou byl vstup prvních čtyř pásem (tři viditelná a blízké infračervené) a pásma se spočítaným NDVI (pomocí funkce ARI v modulu Focus). Jako nejlepší se však nakonec ukázala v obou letech varianta, ve které do procesu klasifikace vstupovala všechna dostupná pásma vytvořených PCIDSK souborů pro příslušné roky (Nachod\_1991\_EarthSat.pix a Nachod\_2001\_EarthSat.pix) - tj. v roce 1991 sedm pásem a v roce 2001 osm pásem.

#### **3.5.1 Trénovací plochy**

Aby byl výsledek klasifikace co nejpřesnější, je třeba správně nadefinovat trénovací plochy požadovaných tříd. Správné definování trénovacích ploch znamená, že musí být natrénovány plochy pro všechny spektrální třídy tak, aby bylo co nejvíce dodrženo normální rozložení hodnot všech natrénovaných pixelů v každé třídě v každém pásmu. Normální rozložení hodnot natrénovaných tříd indikuje, že do příslušné třídy jsou zařazeny pouze plochy se shodnými spektrálními vlastnostmi a je zároveň nutným předpokladem pro následné použití klasifikátoru maximální pravděpodobnosti (Maximum Likelihood). Pokud se po přidání nové trénovací plochy pro určitou třídu v histogramu v některém z pásem objeví více vrcholů, znamená to, že poslední definovaná plocha svými spektrálními vlastnostmi nepatří do příslušné třídy. Nadefinovaných spektrálních tříd je tak vždy podstatně více než požadovaných tříd informačních, tj. tříd land cover použitého klasifikačního systému. (Dobrovolný, 1998)

Trénovací plochy byly vybírány na základě znalosti území, interpretace barevných syntéz hodnocených družicových snímků a na základně ortofotomap (tato možnost však mohla být využita pouze pro rok 2001). Vektorové vrstvy krajinného pokryvu CORINE Land Cover 1990 a 2000 nebyly využívány k definování trénovacích ploch, aby mohly být využity na konci procesu ke srovnání a zhodnocení přesnosti. Na základě znalosti území mohla být pro všechny hodnocené časové horizonty například spolehlivě natrénována plocha listnatého lesa v místě přírodní rezervace Dubno (přirozený lužní les pralesovitého typu) u České Skalice. Znalost území mi pak byla velmi nápomocná i při definování oblastí ovocných sadů, které jsou ze snímků Landsat pouhou vizuální interpretací nerozpoznatelné. Z barevných syntéz bylo

kromě syntézy v přirozených barvách 3-2-1, využíváno nejvíce klasické zobrazení v nepravých barvách 4-3-2, s jehož pomocí byly hodnoceny převážně vodní plochy, orná půda a vegetace (jehličnaté a listnaté lesy), a syntéza 4-5-3 pro hodnocení zástavby, půdy dle vlhkosti a taktéž vegetace. Ortofotomapy byly využívány převážně k ověřování krajinného pokryvu předpokládaného na základě znalosti území či barevných syntéz. Po určení každé nové trénovací plochy bylo pomocí histogramu kontrolováno normální rozložení hodnot natrénovaných pixelů pro danou třídu. Tímto postupem byly občas zjištěny různé spektrální vlastnosti pro zdánlivě podobné povrchy a daná třída byla pak dále rozdělena na několik podtříd. Nápomocny k trénování ploch jednotlivých spektrálních tříd byly také náhledy klasifikací – především Maximum Likelihood with Null Class. V náhledu této klasifikace bylo zřetelně vidět, v kterých oblastech snímku se nacházejí plochy, pro něž ještě není nadefinována nejvhodnější trénovací třída.

Pro rok 2001 byly k dispozici nejlepší datové podklady: osm pásem multispektrálního snímku pořízeného senzorem ETM+ o prostorovém rozlišení 28,5 m a ortofotomapy dostupné na serveru mapy.cz. Pro tento rok bylo celkem nadefinováno 32 spektrálních tříd, které byly v postklasifikační fázi agregovány do požadovaných 11 tříd. Pouze jedna spektrální třída stačila pro definování každé z následujících informačních tříd: souvislá zástavba, nesouvislá zástavba, ovocné sady, louky a pastviny, jehličnaté lesy, smíšené lesy a listnaté lesy. Pro třídu ostatní nelesní zeleň byly definovány dvě spektrální třídy, přičemž jedna představovala liniovou vegetaci a druhá nízký lesní porost. Tři spektrální třídy byly definovány pro třídu vodní plochy na základě hloubky a množství sedimentů. Osmnáct spektrálních tříd bylo nakonec definováno pro třídu orné půdy, přičemž základním rozdělením bylo rozdělení na pole holá (10 tříd) a pole s vegetací (8 tříd). Zajímavou a dobře identifikovatelnou spektrální třídou byla pole kvetoucí řepky olejky, která v závislosti na intenzitě rozkvětu byla rozdělena ještě na další podtřídy. Dále byla pole s vegetací dělena převážně na základě hustoty porostu a velikosti rostlin. Natrénovat třídy pro holá pole byl podstatně větší problém, neboť zde hraje roli vlhkost, teplota půdy a také půdní typy, které jsou v území dosti různorodé. V jihozápadní části okresu převažují hnědozemě a v menší míře jsou zde zastoupeny luvizemě a fluvizemě, při hranicích s Polskem a v celém Broumovském výběžku převažují kambizemě a významné zastoupení zde mají i podzoly (geoportal.cenia.cz, vrstva pudy, cit. 1.5.2010). Průměrně byly pro každou spektrální třídu definovány čtyři trénovací plochy. Celkový přehled o třídách land cover a o počtu natrénovaných pixelů a ploch v roce 2001 udává tabulka 5.

Pro rok 1991 bylo k dispozici pouze sedm pásem multispektrálního snímku pořízeného senzorem TM o prostorovém rozlišení 28,5 m. Pomocí barevných syntéz a pomocí histogramů bylo pro toto časové období nadefinováno celkem 29 spektrálních tříd, později spojených do požadovaných 11 tříd land cover. Pouze jedna spektrální třída stačila pro definování každé z následujících informačních tříd: souvislá zástavba, nesouvislá zástavba, ovocné sady, jehličnaté lesy, smíšené lesy, listnaté lesy a skály. Pět spektrálních tříd muselo být definováno pro vodní plochy, a po dvou spektrálních třídách pro informační třídu louky a pastviny a třídu ostatní nelesní zeleň. Pro třídu orná půda bylo definováno třináct tříd (8 tříd pro pole holá

a 5 tříd pro pole s vegetací). Odlišnosti v počtu spektrálních tříd jednotlivých tříd land cover oproti roku 2001 mohou být způsobeny rozdílnými ročními obdobími, ve kterých byly družicové snímky pořízeny (rok 2001 květen, rok 1991 září). Průměrně byly pro každou spektrální třídu definovány také čtyři trénovací plochy jako v roce 2001. Celkový přehled o třídách land cover a o počtu natrénovaných pixelů a ploch v roce 1991 udává tabulka 6.

**Tab. 5 Trénovací plochy v roce 2001**  
(Zdroj: vlastní)

<b>třída land cover</b>	<b>počet spektrálních tříd</b>	<b>počet trénovacích ploch</b>	<b>počet pixelů trénovacích ploch</b>
vodní plochy	3	6	2 211
ovocné sady	1	6	470
jehličnaté lesy	1	6	2 091
smíšené lesy	1	5	2 143
listnaté lesy	1	3	412
ostatní nelesní zeleň	2	5	338
louky a pastviny	1	7	1 603
orná půda	18	83	10 894
skály	2	4	200
nesouvislá zástavba	1	4	772
souvislá zástavba	1	3	256
<b>CELKEM</b>	<b>32</b>	<b>132</b>	<b>21 390</b>

**Tab. 6 Trénovací plochy v roce 1991**  
(Zdroj: vlastní)

<b>třída land cover</b>	<b>počet spektrálních tříd</b>	<b>počet trénovacích ploch</b>	<b>počet pixelů trénovacích ploch</b>
vodní plochy	5	8	3 092
ovocné sady	1	3	931
jehličnaté lesy	1	5	2 581
smíšené lesy	1	2	553
listnaté lesy	1	3	423
ostatní nelesní zeleň	2	6	225
louky a pastviny	2	6	687
orná půda	13	70	11 201
skály	1	6	217
nesouvislá zástavba	1	5	1 150
souvislá zástavba	1	3	154
<b>CELKEM</b>	<b>29</b>	<b>117</b>	<b>21 214</b>

Datové podklady pro rok 1979 byly velmi špatné. Jediným podkladem pro tento rok byl multispektrální snímek o čtyřech pásmech pořízený senzorem MSS s prostorovým rozlišením 57 metrů. Tento snímek nemohl být vizualizován v přirozených barvách, neboť neobsahuje modré pásmo. Syntézy 4-3-2 a 4-5-3 byly hlavním zdrojem informací. Dalším zdrojem informací byly předpoklady na základě znalosti současného stavu území (např. přírodní rezervace Dubno musela být i v 70. letech listnatým lesem, historická centra měst se také

nezměnila a tudíž mohla být i v roce 1979 označena za souvislou zástavbu, stejně jako pískovcová skalní města mohla být bez problémů zvolena za trénovací plochu pro skály). Natrénovány vůbec nebyly plochy pro třídu ovocné sady, neboť při natrénování plochy, na které se ovocné sady rozkládaly v novějších časových horizontech, se třída sady vyklasifikovala na mnoha místech, kde s největší pravděpodobností tato třída nikdy nemohla být. Tato situace může mít dva základní důvody 1) sady v místě trénovací plochy v roce 1979 nebyly (i když dle ústního sdělení členů rodiny v tomto místě sady i v 70. letech byly) nebo 2) špatná klasifikace je způsobena velikostí pixelů a nedostatkem spektrálních pásem pro správné rozlišení tříd. Další třídou, která nebyla vůbec natrénována, je ostatní nelesní zeleň, a to z důvodu velikosti pixelu, která znemožňuje liniové prvky identifikovat. Tři kategorie lesů byly ponechány, i přesto že vzhledem k špatným datovým zdrojům budou mezi sebou pravděpodobně zaměňovány. V tomto roce bylo celkových devět tříd land cover nadefinováno pomocí třinácti tříd spektrálních. Více spektrálních tříd bylo v tomto roce natrénováno pouze pro ornou půdu. Průměrně byly pro každou spektrální třídu definovány tři trénovací plochy. Přehled o jejich konkrétním počtu a o počtu pixelů, které zahrnují, udává tabulka 7.

**Tab. 7 Trénovací plochy v roce 1979**  
(Zdroj: vlastní)

třída land cover	počet spektrálních tříd	počet trénovacích ploch	počet pixelů trénovacích ploch
vodní plochy	1	3	802
jehličnaté lesy	1	4	343
smíšené lesy	1	2	187
listnaté lesy	1	2	101
louky a pastviny	1	2	159
orná půda	4	20	1 488
skály	1	2	36
nesouvislá zástavba	1	2	191
souvislá zástavba	1	5	75
<b>CELKEM</b>	<b>12</b>	<b>42</b>	<b>3 382</b>

O tom, jak dobře lze využít statistické charakteristiky získané z trénovacích ploch na klasifikaci těch samých ploch, vypovídají chybové matice založené na trénovacích datech a ukazatele od nich odvozené. Tyto matice jsou automaticky generovány programem PCI Geomatics po provedení klasifikace na základě vybraného algoritmu. Kromě chybových matic jsou vygenerovány i ukazatelé celková přesnost, což je podíl všech správně vyklasifikovaných pixelů ku celkovému počtu klasifikovaných pixelů a průměrná přesnost, což je suma procent správně zařazených pixelů v jednotlivých třídách dělená počtem těchto tříd. Celková přesnost je tak závislá na absolutním počtu správně zařazených pixelů, kdežto průměrná přesnost počítá pouze s procentuálním podílem správně zařazených pixelů z pixelů pro určitou třídu natrénovaných (nebere ohled na velikost jednotlivých tříd). Konkrétní přesnosti pro trénovací plochy v jednotlivých letech jsou popsány v kapitole 4 Změny krajinného pokryvu v okrese Náchod.

### **3.5.2 Vlastní klasifikace a úpravy jejich výsledků**

Po nadefinování všech trénovacích ploch bylo přistoupeno k vlastní klasifikaci. Pro snímek z roku 2001 byly vyzkoušeny všechny klasifikační algoritmy nabízené softwarem PCI Geomatics, tj. klasifikátor minimální vzdálenosti středů shluků (Minimum Distance), klasifikátor pravouhelníků (Parallelepiped) a klasifikátor maximální pravděpodobnosti (Maximum Likelihood). Na tomto snímku byla ověřena hypotéza, že nejlepší výsledky dosahuje klasifikátor maximální pravděpodobnosti, proto byl právě tento klasifikátor použit pro všechny prováděné klasifikace land cover.

Po dokončení klasifikace bylo přistoupeno k agregaci tříd spektrálních do požadovaných informačních tříd land cover. Jak byly třídy slučovány v jednotlivých časových horizontech je již popsáno v kapitole 3.5.1 Trénovací plochy.

Vzhledem k tomu, že použitý způsob klasifikace rozhoduje o zařazení pixelu do určité třídy pouze na základě jeho spektrálních hodnot a nebere ohled na vlastnosti okolních pixelů, nachází se v klasifikovaných snímcích velké množství osamocených pixelů zatříděných odlišně od jejich okolí. Aby byly výsledky klasifikací co nejlepší, byla ještě klasifikace po agregaci tříd vyhlazena nízkofrekvenčním filtrem (Low Pass), konkrétně filtrem majoritním (Mode filter). Nejdříve byl aplikován majoritní filtr o velikosti 3x3 pixelů, poté byla vyzkoušena i varianta velikosti majoritního filtru 5x5 pixelů. Pro všechny zkoumané časové horizonty byly uloženy oba filtrované obrazy.

Všechny výsledky jednotlivých kroků klasifikace snímků (trénovací plochy, klasifikace pomocí klasifikátoru maximální pravděpodobnosti, agregované třídy i výsledné klasifikace po aplikaci majoritního filtru) byly postupně ukládány jako další nové vrstvy do příslušných souborů PCIDSK, obsahujících základní pásma pořízená družicemi Landsat - tzn. do souborů Nachod\_1979.pix, Nachod\_1991\_EarthSat.pix a Nachod\_2001\_EarthSat.pix.

### **3.5.3 Hodnocení přesnosti klasifikací**

Nejdříve byla na základě fotomapy z let 2002 až 2003 z mapového portálu Mapy.cz, z ortofotomapy o rozlišení 0,5 metru z roku 2009, získané z mapového serveru geoportal.cenia.cz, a z vektorové vrstvy CORINE Land Cover 2000 vytvořena v programu ArcMap vektorová vrstva kontrolních bodů pro hodnocení klasifikace pro rok 2001. Kontrolních bodů by dle Congaltona a Greena (1999) Cit. IN Lillesanda et al. (2008) mělo být pro hodnocení přesnosti použito cca 50 pro každou třídu land cover, avšak záleží i na tom, jak velkou plochu celkového území tato třída zabírá. Dle této teorie bylo pro moji klasifikaci obsahující 11 tříd vytvořeno 550 kontrolních bodů. Vzhledem k tomu, že některé třídy land cover zabírají pouze velmi malé území celého okresu Náchod, bylo pro ně definováno kontrolních bodů méně než 50 (skály, ovocné sady, ostatní nelesní zeleň, listnaté lesy, vodní plochy a souvislá zástavba), naopak pro třídy land cover zabírající zřetelně větší území okresu bylo vytvořeno kontrolních bodů více jak 50 (orná půda, louky a pastviny, jehličnaté lesy, listnaté lesy a nesouvislá zástavba). Všechny kontrolní body byly rozmístěny do jednotlivých

ploch tříd krajinného pokryvu náhodně, ale zároveň tak, aby jejich příslušnost k dané třídě land cover mohla být jednoznačně určena a aby se nevyskytovaly v blízkosti hranic mezi více krajinnými pokryvy. Kontrolní body byly zároveň rozmístěny tak, aby pokrývaly celé hodnocené území co nejrovnoměrněji. V atributové tabulce byl pak každému z bodů do sloupečku nazvaného Class, pomocí v ArcCatalogu předem vytvořených domén, přiřazen kód třídy, kterou dle dostupných datových podkladů reprezentuje.

Pro rok 1991 byla vytvořena vrstva kontrolních bodů na základě revize bodů z roku 2001 pomocí vektorové vrstvy CORINE Land Cover 1990. Opraveny byly v atributové tabulce třídy land cover (sloupeček Class) u těch bodů, které se nacházejí na územích, jejichž krajinný pokryv se mezi lety 1991 a 2001 změnil. Na základě CORINE Land Cover 1990 však nebyly měněny kontrolní body pro skály. Vrstva kontrolních bodů pro rok 1979 byla vytvořena z vrstvy kontrolních bodů pro rok 1991, která byla zkontrolována vizuálně pomocí použitých družicových snímků. Protože jediným dostupným podkladem o pokryvu krajiny v roce 1979 byl multispektrální snímek z družice Landsat o prostorovém rozlišení 57 metrů, není skutečná identita kontrolních bodů zcela zaručena. Dále vzhledem k tomu, že v roce 1979 nebyly klasifikovány třídy ovocné sady a ostatní nelesní zeleň, byly body představující tyto třídy smazány a celkový počet kontrolních bodů tak pro rok 1979 klesl z 550 na 519.

Po dokončení vektorových vrstev kontrolních bodů pro všechny časové horizonty v programu ArcMap byly tyto vrstvy načteny ve formátu shapefile společně s příslušnými PCIDSK soubory, obsahujícími vrstvy klasifikací pro jednotlivé roky, do programu PCI Geomatics, modulu Focus. V tomto programu musely být vrstvy kontrolních bodů z formátu shapefile vyexportovány jako další (vektorová) vrstva do souborů PCIDSK obsahujících klasifikace určené k hodnocení přesnosti. Teprve po tomto kroku mohlo být přistoupeno k samotnému hodnocení přesnosti klasifikací na základě vytvořených kontrolních bodů.

Přesnost byla počítána pro každý časový horizont pro výsledky klasifikace přefiltrované majoritními filtry o velikosti 3x3 i 5x5. Celková přesnost všech klasifikací je uvedena v tabulce 8. Z této tabulky je vidět, že pro roky 1991 a 2001 bylo dosaženo vyšší přesnosti výsledků po aplikaci filtru o velikosti 5x5. Pro rok 1979, kdy velikost pixelu klasifikovaného snímku byla 57 metrů, bylo dosaženo lepšího výsledku klasifikace s použitím menšího filtru (3x3). Pro hodnocení změn land cover v okrese Náchod byly použity výsledky klasifikací s vyšší celkovou přesností. Pro rok 1979 to tedy je klasifikace vyhlazená majoritním filtrem o velikosti 3x3, pro roky 1991 a 2001 jsou to klasifikace vyhlazené majoritními filtry o velikosti 5x5. Pro tyto tři výsledné klasifikace jsou v přílohách 4 až 6 uvedeny podrobné chybové matice vytvořené z hodnocení kontrolních bodů.

**Tab. 8 Celková přesnost klasifikací vyhlazených majoritními filtry o velikostech 3x3 a 5x5**  
(Zdroj: vlastní na základě reportu vypočítaného programem PCI Geomatics)

		<b>celková přesnost (%)</b>	<b>kappa index</b>
<b>2001</b>	filtr 3x3	78,545	0,753
	filtr 5x5	82,182	0,795
<b>1991</b>	filtr 3x3	72,000	0,666
	filtr 5x5	74,000	0,689
<b>1979</b>	filtr 3x3	67,245	0,596
	filtr 5x5	65,125	0,569

Aby bylo možné dále pohodlně pracovat s konečnými výsledky klasifikací provedených programem PCI Geomatics v programu ArcGIS, byly tyto výstupy uloženy také jako samostatné soubory ve formátu TIFF. Pojmenovány byly následovně: 1979\_LC.tif, 1991\_LC.tif a 2001\_LC.tif.

### 3.6 Převod výsledků klasifikací do vektorů

Rastrové výsledky klasifikací ve formátu TIFF bylo potřeba pro další analýzy převést do vektorů. Převod do vektorů i všechny ostatní operace s vektory byly prováděny v programu ArcMap. Postup převodu rastrů do vektorů byl totožný pro všechny časové horizonty, proto je v následujícím textu uveden pouze obecně.

Do projektu programu ArcMap byla načtena konečná filtrem vyhlazená klasifikace ve formátu TIFF (1979\_LC.tif, 1991\_LC.tif či 2001\_LC.tif). Tento rastrový soubor byl na vektorovou vrstvu formátu shapefile (\*.shp) převeden pomocí nástroje Raster to Polygon, nacházejícího se v ArcToolboxu, v balíčku nástrojů Conversion Tools. Nástroj Raster to Polygon umožňuje, kromě samotného převodu dat, ještě vyhlazení výsledných polygonů (Simplify polygons). Tato možnost byla využita, aby výsledky nebyly příliš hranaté (hranice polygonů by byly při nevyužití této možnosti tvořené hranicemi jednotlivých pixelů). Po vytvoření tohoto nového vektorového souboru byl do jeho atributové tabulky přidán nový sloupeček datového formátu double, do kterého byly pomocí funkce Calculate Geometry počítány plochy jednotlivých polygonů. Poté byly dle sloupečku s rozlohou polygony vzestupně seřazeny a vybrány byly všechny polygony s rozlohou menší než je nejmenší mapová jednotka, která byla stanovena na 5 ha. Nástrojem Eliminate (ArcToolbox – Data Management Tools) pak byly tyto malé polygony nevyhovující nejmenší mapové jednotce sloučeny s většími s nimi sousedícími polygony, a to na základě nejdelší společné hranice. Po prvním použití funkce Eliminate však stále zůstala ve vektorovém souboru část polygonů menší než 5 ha, proto tyto malé polygony byly opět označeny a nástroj Eliminate byl použit ještě jednou. Výsledné vektorové vrstvy land cover okresu Náchod byly uloženy pod těmito názvy: 1979\_landcover.shp, 1991\_landcover.shp a 2001\_landcover.shp.

Příloha 7 názorně ukazuje celý proces klasifikace land cover pro výřez části hodnoceného území v roce 2001 od prvního rastrového výsledku klasifikace agregací tříd, přes klasifikaci

vyhlazenou majoritním filtrem 3x3 a následně převedenou do vektorové podoby až po konečnou vektorovou vrstvu prezentující land cover v roce 2001.

### 3.7 Výpočet změn land cover mezi jednotlivými lety

Nejprve byly spočítány celkové rozlohy jednotlivých kategorií land cover ve všech zkoumaných časových horizontech. Součty byly provedeny v programu MS Excel, do kterého byla importována data z atributových tabulek (ve kterých byly rozlohy polygonů spočítány pomocí Calculate Geometry) příslušných souborů (1979\_landcover.shp, 1991\_landcover.shp a 2001\_landcover.shp). Rozloha jednotlivých tříd byla také vyjádřena v procentech rozlohy okresu. Tabulka reprezentující výsledky je vložena (jako tabulka 10) a podrobně popsána v kapitole 4 Změny krajinného pokryvu v okrese Náchod.

Dále byly řešeny změny land cover mezi jednotlivými lety pomocí překryvů v programu ArcMap. Nejprve byla řešena změna land cover mezi lety 2001 a 1991, neboť tyto dva časové horizonty byly nejpřesněji vyklasifikovány, takže je předpoklad, že překryvy budou dávat solidní výsledky. Překryv hodnocených dvou vektorových vrstev (2001\_landcover.shp a 1991\_landcover.shp) byl proveden pomocí nástroje Intersect, který se v ArcToolboxu nachází v balíčku analytických nástrojů Overlay. Vzhledem k menší přesnosti vstupních souborů byla zvolena tolerance souřadnic X a Y (tj. minimální vzdálenost dělicí souřadnice uzlů všech polygonů obou vrstev) na 30 metrů, která by měla eliminovat případné chyby vzniklé polohovou nepřesností snímků a chyby vzniklé špatným zařazením pixelů nacházejících se na hranicích několika tříd. Po vytvoření překryvu byla v atributové tabulce spočítána rozloha všech nově vzniklých polygonů pomocí Calculate Geometry. Dle takto vypočtené rozlohy pak byly v editačním režimu vymazány polygony s plochou menší než 2 ha (nejmenší mapová jednotka zaznamenávaných změn land cover). Dalším krokem bylo nutné zjistit, které plochy zůstaly nezměněny, což bylo provedeno také s pomocí atributové tabulky, kde do nového sloupečku bylo funkcí Field Calculator vyplněno číslo získané z kódů jednotlivých tříd na základě tohoto vzorce: kód třídy polygonu v roce 2001 \* 100 + kód třídy stejného polygonu v roce 1991. První dvě číslice výsledného čísla tak představují třídu land cover v roce 2001, druhé dvě číslice třídu land cover v roce 1991. Pokud jsou tato dvě dvojčíslí shodná (např. 1010), land cover polygonu se mezi hodnocenými lety nezměnil. Dle těchto číselných údajů byly pak snadno vyhledány a následně v editačním režimu smazány všechny polygony, které nezměnily svůj krajinný pokryv. Po prohlédnutí výsledků bylo zjištěno, že velkou část změnových polygonů tvoří změny mezi jehličnatými, listnatými, smíšenými lesy a ostatní nelesní zelení a změny mezi souvislou a nesouvislou zástavbou. Vzhledem k tomu, že všechny tyto změny plynou z větší částí ze špatného rozlišení jednotlivých tříd lesů a jednotlivých tříd zástavby mezi sebou při klasifikacích, byly hodnoceny pouze změny obecně mezi lesy, zástavbou a ostatními třídami. Tudíž všechny polygony reprezentující změny mezi jednotlivými třídami lesů a mezi jednotlivými třídami zástavby byly dodatečně také vymazány. Všechny polygony, které v souboru zbyly, by měly indikovat změny krajinného pokryvu mezi lety 1991 a 2001 mezi třídami vodní plochy, lesy, louky a pastviny, orná půda, ovocné sady, zástavba



a skály. Na základě rozlohy těchto polygonů byly v programu MS Excel spočítány celkové rozlohy změn mezi jednotlivými třídami.

Vzhledem k nedokonalému výsledku překryvu vytvořeného pro roky 1991 a 2001 a velmi špatné přesnosti klasifikace pro rok 1979 nebyly pomocí překryvů vektorových vrstev hodnoceny změny land cover mezi lety 1979 a 1991 ani mezi lety 1979 a 2001.

## 4 ZMĚNY KRAJINNÉHO POKRYVU V OKRESE NÁCHOD

Tato kapitola popisuje dosažené výsledky. Nejprve je hodnocena přesnost klasifikací na základě trénovacích ploch a kontrolních bodů, neboť na přesnosti klasifikací velmi záleží i konečné výsledky změn land cover v okrese Náchod, které jsou také dále v této kapitole popsány.

### 4.1 Přesnost klasifikací land cover

Jak bylo již v rešeršní části této práce zmiňováno, lze s pomocí chybových matic a z nich odvozených ukazatelů hodnotit jak přesnost definování trénovacích ploch, tak i přesnost celkové klasifikace. S pomocí různých ukazatelů přesnosti jsou v následujícím textu zhodnoceny klasifikace land cover v území okresu Náchod v letech 1979, 1991 a 2001.

#### 4.1.1 Přesnost trénovacích ploch

Chybové matice (a ukazatele od nich odvozené) založené na trénovacích plochách vypovídají o tom, jak dobře lze využít statistické charakteristiky získané z těchto ploch na klasifikaci těch samých ploch (Lillesand et al., 2008). V tabulce 9 je uvedena celková přesnost a průměrná přesnost klasifikace trénovacích ploch v jednotlivých letech.

*Tab. 9 Průměrná a celková přesnost klasifikace trénovacích ploch pro jednotlivé roky (Zdroj: vlastní výpočty na základě reportu z programu PCI Geomatics)*

rok	průměrná přesnost (%)	celková přesnost (%)
1979	91,78	90,30
1991	92,95	93,20
2001	91,61	90,06

Ve všech hodnocených letech se průměrná i celková přesnost klasifikací trénovacích ploch pohybovala těsně nad 90 %. Konkrétně nejlepších výsledků (i 100 % správně zařazených pixelů) vykazovaly spektrální třídy vodních ploch. Naopak nejproblematičtějšími spektrálními třídami ve všech časových horizontech byly smíšené lesy (které byly zaměňovány s listnatými i jehličnatými lesy), pole s vegetací, která byla zaměňována s loukami, a některé třídy holých polí, které byly vyhodnocovány jako zástavba.

Rok 1979 byl nejproblematičtějším vzhledem k nedostatku podkladových dat. Bylo v něm klasifikováno pouze 12 spektrálních tříd. Nejspíše i nedostatek informací o reálném krajinném pokryvu v tomto roce způsobil, že bylo do spektrální třídy orná půda s vegetací správně zařazeno pouze 61,97 % pixelů, zbytek pixelů byl nesprávně přiřazen třídě luk a pastvin. Louky a pastviny byly pravděpodobně definovány lépe, neboť správně bylo do této třídy zařazeno

90,57 % pixelů a do třídy orné půdy s vegetací bylo přiřazeno zbylých necelých 10 %. Další nejvíce problematickou třídou byly smíšené lesy, 84,49 % správně zařazených pixelů, které byly nejvíce zaměňovány s třídou lesů listnatých. Ostatní třídy měly správně zařazených více jak 90 % svých pixelů. Nejlepšího výsledku dosáhla třída vodních ploch, jejíž žádné pixely nebyly zařazeny do tříd jiných a i naopak žádné pixely ostatních tříd nebyly do třídy vodních ploch přiřazeny navíc.

V roce 1991 bylo určeno 29 spektrálních tříd, z nichž nejhoršího výsledku dosáhly trénovací plochy spektrální třídy smíšených lesů (pouze 61,12 % správně zařazených pixelů). Smíšené lesy byly v roce 1991, na rozdíl od roku 1979, převážně zaměňovány s lesy jehličnatými (cca 28 % pixelů smíšených lesů bylo zařazeno do třídy jehličnatých lesů a naopak cca 11 % jehličnatých lesů bylo zařazeno do třídy lesů smíšených). Dalšími problematickými třídami, do kterých bylo zařazeno správně méně než 80 % jejich pixelů, byly třídy sadů a ostatní nelesní vegetace, které byly nejvíce zaměňovány mezi sebou. Nejlepších výsledků dosahovaly očekávaně opět spektrální třídy vodních ploch, kterých bylo v tomto roce potřeba definovat více, proto také jejich přesnosti v zařazení pixelů nebyly 100%, chyby ovšem byly pozorovány pouze mezi jednotlivými spektrálními třídami informační třídy vodní plochy. Překvapivě bylo nad 99 % pixelů správně zařazeno u spektrálních tříd luk světlých v zobrazení 3-2-1, holé půdy bílé v zobrazení 3-2-1 a u polí s jedním typem vegetačního pokryvu.

32 spektrálních tříd bylo definováno pro rok 2001. Z nich byly nejhůře definovány pixely trénovacích ploch spektrální třídy smíšených lesů (73,08 % správně zařazených pixelů), která byla zaměňována asi o 4 % více s listnatými lesy než s jehličnatými. Více jak 80 % správně zařazených pixelů neměly ani třídy nesouvislé zástavby (zaměňováno s různými spektrálními třídami holých půd) a ostatní nelesní zeleně (nejvíce zaměňováno se třídou skály). Vodní plochy byly v tomto roce rozděleny do tří spektrálních tříd (hluboká, mělká a velmi zakalená voda), které všechny dosáhly 100% zařazení pixelů trénovacích ploch do správných tříd. Nad 99 % správně zařazených pixelů měly ještě dvě spektrální třídy polí s řepkou (jedna s více rozkvetlou, druhá s méně rozkvetlou) a jedna spektrální třída holé orné půdy.

#### **4.1.2 Přesnost klasifikací na základě kontrolních bodů**

Na základě 550 resp. 519 kontrolních bodů pro roky 2001 a 1991 resp. 1979 byla zhodnocena přesnost klasifikací. Celková přesnost výsledných klasifikací klesala se stářím snímků a nedostatkem přidavných referenčních dat. Pro rok 2001 vyšla celková přesnost klasifikace cca 82 %, pro rok 1991 74 % a pro rok 1979 pouze cca 67 % (přesné hodnoty celkové přesnosti včetně kappa indexů pro jednotlivé roky jsou uvedeny v tabulce číslo 8, obsažené v metodické části práce, kapitole 3.5.3). Celé chybové matice na základě kontrolních bodů se pro všechny hodnocené roky nacházejí v přílohách číslo 4 až 6, ve kterých je spočítána také zpracovatelská a uživatelská přesnost pro jednotlivé třídy.

V roce 1979 byla jedinou bezproblémovou třídou třída vodních ploch, jejíž uživatelská přesnost dosáhla 100 % a zpracovatelská 90 %. Slušnou uživatelskou i zpracovatelskou přesnost

mají třídy orná půda a nesouvislá zástavba, i jehličnaté a smíšené lesy. U ostatních tříd se uživatelská a zpracovatelská přesnost velmi liší (listnaté lesy, souvislá zástavba, skály) či jsou hodnoty obou velmi nízké (louky a pastviny). Nejnižší zpracovatelskou přesnost (pouze 33,33 %) mají skály, kde velká část pixelů představujících skály byla označena za jehličnaté lesy. Tato chyba lze však dobře zdůvodnit špatným prostorovým rozlišením družicového snímku, neboť skály jsou obklopeny převážně jehličnatými lesy a pouze na několika místech je skal dostatečné množství na to, aby došlo na ploše cca 60 x 60 metrů k převaze odrazivosti od skal nad odrazivostí lesů. Nejnižší uživatelskou přesnost (35,48 %) mají listnaté lesy, do jejichž třídy byly nesprávně přiřazeny pixely reprezentující smíšené lesy, ale i louky a pastviny a ornou půdu. Louky a pastviny mají nízké obě zkoumané přesnosti, nejvíce byly zaměňovány s ornou půdou, což také není překvapující, neboť v květnu, kdy byl pořízen snímek, je vzhled obilnin podobný travinám a s pouhými čtyřmi spektrálními pásy je problém je od sebe odlišit. Chyby v těchto třídách mohou být ještě větší kvůli nedostatku informací o reálném pokryvu krajiny v roce 1979 a tudíž není vyloučeno, že louky s ornou půdou byly zaměněny i u reálného pokryvu některých kontrolních bodů.

V roce 1991 dosáhly vodní plochy 100% uživatelské i zpracovatelské přesnosti. Po vodních plochách dosáhla nejlepší uživatelské a zároveň zpracovatelské přesnosti třída nesouvislé zástavby. Naopak třída ostatní nelesní zeleně dopadla katastrofálně – její uživatelská přesnost je 25 % a zpracovatelská dokonce pouze 16,67 %. Tato velmi nízká čísla však budou zajisté také ovlivněna i nízkým počtem kontrolních bodů pro tuto třídu, která se vyskytuje pouze na velmi malé ploše okresu. Pixely ostatní nelesní zeleně byly zaměňovány se všemi třídami lesů, ale i s ornou půdou a skalami. Vysokou uživatelskou přesnost, ale nízkou zpracovatelskou, měla třída ovocných sadů, jejíž pixely byly nejčastěji zařazovány do třídy orná půda. Nevysoké zpracovatelské přesnosti dosáhla také souvislá zástavba, jejíž část byla vyklasifikována jako nesouvislá zástavba či několik pixelů jako orná půda. Nízkou uživatelskou přesnost pak měla třída luk a pastvin, do které bylo špatně zařazeno velké množství pixelů představujících ornou půdu.

I v roce 2001 dosáhly vodní plochy 100% uživatelské i zpracovatelské přesnosti. Překvapivě 100% zpracovatelské přesnosti dosáhla i třída skal, která měla i vysokou uživatelskou přesnost (93,75 %). Obou přesností nad 90 % ještě dosáhly třídy souvislé a nesouvislé zástavby. Nejhuře vyhodnocenou třídou se stala v tomto roce třída listnatých lesů (zpracovatelská přesnost 60 %, uživatelská přesnost 45 %), která byla hlavně zaměňována s třídou smíšených lesů, která měla hned druhé nejnižší obě přesnosti. Smíšené lesy byly zaměňovány ještě s jehličnatými lesy a ostatní nelesní zelení. Poslední třídou se zpracovatelskou přesností pod 70 % byly ovocné sady, které byly nejčastěji špatně vyklasifikovány jako orná půda.

## 4.2 Změny land cover

Krajinný pokryv ve všech časových horizontech byl zhodnocen nejprve bilančně. Celkové rozložení tříd land cover a jejich procentní zastoupení na rozloze okresu Náchod pro všechny zkoumané časové horizonty jsou uvedeny v tabulce 10. Prostorové rozložení tříd land cover

v jednotlivých zkoumaných letech je znázorněno v mapách, které jsou k nalezení na konci této práce jako přílohy 8 až 10.

Z tabulky 10 je vidět, že největší plochu zabírá orná půda, která tvoří cca 50 % rozlohy celého okresu, a jejíž rozloha od 70. let pomalu klesá. Naopak roste rozloha luk a pastvin, která dosáhla v roce 2001 18 % rozlohy okresu. Rozdíly mezi lesními třídami se těžko posuzují, neboť v rámci klasifikace byly mezi sebou hodně zaměňovány. Celkově však lesy tvoří přibližně jednu čtvrtinu rozlohy okresu, z níž ve všech obdobích převažovaly lesy smíšené. Rozloha vodních nádrží se v podstatě nezměnila za celé časové období, malé odchylky v rozlohách budou nejspíš dány různými výškami hladiny vodní nádrže Rozkoš v dobách snímkování. Zajímavé jsou kategorie skály, souvislá zástavba a nesouvislá zástavba, které mají všechny své maximální rozlohy v roce 1991. Tento jev bude pravděpodobně způsoben chybami v klasifikacích, neboť především rozloha skal by se pro všechny časové horizonty neměla měnit. Třídy ovocných sadů a ostatní nelesní zeleně zabírají velmi malé rozlohy okresu, které se mezi lety 1991 a 2001 výrazně nezměnily.

**Tab. 10 Celkové rozlohy tříd land cover ve všech hodnocených letech**  
(Zdroj: vlastní výpočty)

název třídy LC	rozloha v hektarech			% rozlohy okresu		
	1979	1991	2001	1979	1991	2001
vodní plochy	898,86	910,99	975,68	1,14	1,17	1,26
ovocné sady	-	457,20	473,49	-	0,59	0,61
jehličnaté lesy	7 079,36	8 841,35	6 452,57	8,96	11,38	8,32
smíšené lesy	14 317,71	9 758,22	14 452,00	18,13	12,56	18,63
listnaté lesy	4 479,10	404,56	412,47	5,67	0,52	0,53
ostatní nelesní zeleň	-	529,05	742,22	-	0,68	0,96
louky a pastviny	5 887,69	10 673,64	14 219,93	7,46	13,74	18,33
orná půda	43 329,06	38 526,24	35 214,57	54,87	49,59	45,38
skály	118,76	1 310,60	476,41	0,15	1,69	0,61
nesouvislá zástavba	2 658,08	5 706,30	3 857,70	3,37	7,35	4,97
souvislá zástavba	202,64	570,39	314,02	0,26	0,73	0,40
<b>CELKEM</b>	<b>78 971,26</b>	<b>77 688,53</b>	<b>77 591,07</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Pomocí překryvu byly porovnávány změny mezi třídami land cover pouze pro roky 1991 a 2001. Rozlohy všech změn mezi třídami uvádí tabulka 11. Z té je vidět, že od roku 1991 do roku 2001 bylo přeměněno nejvíce ploch orných půd na plochy luk a pastvin. Vzhledem k tomu, že orná půda bývá často zatravněována, není tento výsledek překvapivý. Změna opačná (z luk a pastvin na ornou půdu) byla hned druhá největší. Vysoké rozlohy skutečných změn mezi těmito dvěma třídami však mohou být ještě zvýšeny zaměněním některých osetých polí s loukami v klasifikačním procesu. Hlavně z tohoto důvodu je pravděpodobně tak hojně zastoupena přeměna luk a pastvin na ornou půdu. Dalšími výraznými a reálně možnými změnami byly přeměny luk a pastvin a orné půdy na lesy. Překryv vrstev však také ukázal „změny“, které z logického hlediska nejpravděpodobněji ve skutečnosti neproběhly a musely být způsobeny pouze chybami v klasifikacích (v tabulce 11 jsou tyto „změny“ vyznačeny

červeně). Nejprokazatelnějším příkladem takovéto „změny“ je proměna zástavby ve skály. Ve skutečnosti tato změna ve zkoumaném území neproběhla, ale v procesu klasifikací se tyto dvě třídy holých povrchů často zaměňují.

Pomocí překryvu bylo zjištěno, že mezi lety 1991 a 2001 bylo celkově změněno 18 628,78 ha ploch větších než minimální mapová jednotka 2 ha, což je skoro 22 % území okresu Náchod. Kdyby byly brány v úvahu i změnové plochy do 2 ha, změněno by bylo celkem 25 531 ha (30 % rozlohy okresu) a ploch stabilních by bylo 59 585 ha. Prostorové rozložení stabilních a měnících se ploch je znázorněno pomocí mapy v příloze 11.

**Tab. 11 Změny mezi jednotlivými třídami land cover vyplývající z překryvu vektorových vrstev land cover let 1991 a 2001 – minimální mapová jednotka 2 ha**  
(Zdroj: vlastní)

<b>LC 1991</b>	<b>LC 2001</b>	<b>rozloha změn (ha)</b>
louky a pastviny	vodní plochy	5,91
orná půda	vodní plochy	11,72
<b>zástavba</b>	<b>vodní plochy</b>	<b>4,02</b>
louky a pastviny	ovocné sady	156,9
orná půda	ovocné sady	203,65
<b>vodní plochy</b>	<b>lesy</b>	<b>2,31</b>
<b>zástavba</b>	<b>lesy</b>	<b>387,05</b>
louky a pastviny	lesy	1 043,88
orná půda	lesy	1 146,66
<b>skály</b>	<b>lesy</b>	<b>706,83</b>
ovocné sady	zástavba	10,82
lesy	zástavba	65,86
louky a pastviny	zástavba	74,13
orná půda	zástavba	708,19
<b>skály</b>	<b>zástavba</b>	<b>40,25</b>
ovocné sady	louky a pastviny	25,61
lesy	louky a pastviny	314,32
<b>zástavba</b>	<b>louky a pastviny</b>	<b>843,82</b>
orná půda	louky a pastviny	6 955,15
<b>skály</b>	<b>louky a pastviny</b>	<b>218,49</b>
vodní plochy	orná půda	2,93
ovocné sady	orná půda	332,56
lesy	orná půda	412,58
<b>zástavba</b>	<b>orná půda</b>	<b>1 530,20</b>
louky a pastviny	orná půda	2 948,23
<b>skály</b>	<b>orná půda</b>	<b>191,92</b>
<b>lesy</b>	<b>skály</b>	<b>280,45</b>
<b>zástavba</b>	<b>skály</b>	<b>4,34</b>
<b>ZMĚNY MEZI LETY 1991 a 2001 CELKEM</b>		<b>18 628,78</b>

Poznámka: červeně jsou zvýrazněny změny mezi třídami land cover, u kterých je změna pokryvu dána s největší pravděpodobností chybami v klasifikacích

## 5 DISKUSE

Databáze CORINE Land Cover a LUCC Czechia, obě obsahují celkové rozlohy tříd land cover a land use v letech 1990 a 2000. V rámci mé bakalářské práce byly klasifikovány snímky z let 1991 a 2001, avšak dá se předpokládat, že za dobu jednoho roku se krajinný pokryv v okrese významně nezměnil, a tudíž je možné s určitými omezeními srovnání dosažených výsledků se zmíněnými databázemi. Vzhledem k tomu, že databáze LUCC Czechia je založena na informacích z katastru, měla by udávat nejreálnější informace o využití ploch. Na tomto místě se však nesmí opomenout, že databáze vypovídá o land use ve smyslu využití ploch. Dle mnoha studií je také prokázána stále horší vypovídající schopnost (přesnost) katastrální evidence. Databáze CORINE Land Cover je tvořena na základě více podkladů, takže by měla být také přesná, ale může být velmi zkreslena minimální mapovou jednotkou 25 ha.

Aby bylo možné mezi sebou porovnat všechny tři zdroje dat o land cover/land use v okrese, bylo nutné poslučovat všechny třídy do výsledných sedmi srovnatelných tříd. Procentuální podíly ploch všech těchto tříd na ploše okresu v letech cca 1990 a 2000 jsou zaznamenány v tabulce 12, kde je také podrobně uvedeno, které třídy v jednotlivých databázích zahrnuje třída ostatní.

**Tab. 12 Porovnání výsledků procentního zastoupení ploch LC v letech 1990 a 2000 s databázemi CORINE a LUCC**

(Zdroje: vlastní výpočty, databáze CORINE Land Cover a LUCC Czechia)

třída LC	1990 (% z rozlohy okresu)			2000 (% z rozlohy okresu)		
	BP	CORINE	LUCC	BP	CORINE	LUCC
vodní plochy	1,17	1,18	2,32	1,26	1,16	2,32
zástavba	8,08	6,93	1,97	5,38	7,17	2,08
louky a pastviny	13,74	3,99	16,15	18,33	12,19	17,55
orná půda	49,59	50,23	41,71	45,38	41,04	40,20
lesy	25,14	27,17	27,09	28,43	27,34	27,18
trvalé kultury	0,59	0,54	4,01	0,61	0,62	3,99
ostatní	1,69	9,96	6,75	0,61	10,47	6,68

Poznámka: Kategorie ostatní zahrnuje v každé databázi jiné plochy: BP – pouze skály; CORINE – městské zelené plochy + sportovní a rekreační plochy + směsice polí, luk a trvalých plodin + zemědělské oblasti s přirozenou vegetací + skály; LUCC – samostatná kategorie ostatní (mix ploch silně antropogenně ovlivněných, polopřírodních i přírodních, které nelze zařadit do jiných skupin)

Třídou s nejlepší přesností klasifikace byly vodní plochy, což je potvrzeno i srovnáním s ostatními databázemi. Rozloha vodních ploch určených v BP je v podstatě totožná s rozlohou vodních ploch databáze CORINE. Minimální rozdíly mezi databázemi i mezi roky 1990 a 2000 jsou pravděpodobně způsobeny rozdílnou výškou vodní hladiny nádrže Rozkoš v době snímkování, neboť jak je vidět i z databáze LUCC, rozloha vodních ploch se mezi sledovanými lety v okrese Náchod nezměnila. V databázi LUCC je však rozloha vodních ploch vyšší, neboť v ní nejsou vodní plochy ovlivněny minimální mapovou jednotkou a jsou do této třídy počítány

nejen vody stojaté, ale i veškeré tekoucí (Kabrda, c2008), které z družicových snímků nemohly být identifikovány.

Dále všechny databáze potvrzují trend úbytku orné půdy a nárůst rozlohy luk a pastvin. Podíly těchto tříd na rozlohách okresu se však mezi databázemi liší, jak je vidět z tabulky 12. Podstatně menší rozlohy luk a pastvin v databázi CORINE jsou způsobeny pravděpodobně tím, že jejich část je zahrnuta ve třídě ostatní (louky spadající do tříd směsice polí, luk a trvalých plodin a zemědělské oblasti s přirozenou vegetací). Další rozdíly mezi rozlohami tříd luk a pastvin a orné půdy v porovnávaných databázích jsou pravděpodobně způsobeny snadnou vzájemnou zaměnitelností těchto dvou tříd během automatických klasifikací land cover.

Lesy tvoří v obou sledovaných letech přibližně 27 % rozlohy okresu dle databáze LUCC i CORINE. Zde je na výsledcích mé klasifikace možné pozorovat určité chyby - v roce 1991 totiž lesy tvořily pouze 25 % rozlohy okresu, což je dle chybové matice vytvořené na základě kontrolních bodů způsobeno tím, že část ve skutečnosti lesních ploch byla vyklasifikována jako skály či orná půda. Naopak v roce 2001 lesy dle mé klasifikace tvořily 28 % rozlohy okresu. Tuto mírně vyšší rozlohu lesů oproti databázím CORINE a LUCC mají na svědomí dle chybové matice nejspíš ve skutečnosti luční plochy, které byly omylem zařazeny do třídy listnatých lesů nebo plochy orné půdy zařazené do třídy lesů smíšených.

Trvalé kultury vykazují v podstatě totožné rozlohy pro moji klasifikaci a klasifikaci CORINE v obou časových horizontech. Databáze LUCC udává rozlohu trvalých kultur cca o 4 % vyšší, což je ale dáno tím, že v ní jsou do této kategorie řazeny kromě ovocných sadů i veškeré zahrady (Kabrda, c2008), které v klasifikacích mé BP a CORINE jsou obsaženy ve třídě nesouvislá zástavba. Proto pak i třída nesouvislé zástavby naopak vykazuje v databázi LUCC o několik procent menší rozlohu na rozloze okresu než v CORINE a v mé databázi. Poměrně velké rozdíly v kategorii zástavba však lze pozorovat i mezi mojí klasifikací a databází CORINE. V roce 1991 zástavba mojí klasifikace zaujímá zhruba o 1 % větší rozlohu z rozlohy okresu oproti CORINE a v roce 2001 je tomu naopak asi o 2 %. Důvodem těchto rozdílů může být záměna především orné půdy se zástavbou v průběhu automatické klasifikace a určitý vliv mohou mít i rozdílně stanovené minimální mapové jednotky.

Prostorové rozložení vyklasifikovaných tříd krajinného pokryvu v okrese Náchod bylo vizuálně porovnáno pro roky 1991 a 2001 s vektorovými vrstvami klasifikace CORINE Land Cover 1990 a 2000. Vodní plochy jsou všechny v obou vrstvách v obou letech zcela shodné, pouze v mojí klasifikaci je navíc v závislosti na menší minimální mapové jednotce zobrazen navíc rybník Brodský u Červeného Kostelce. Velmi podobné si jsou umístěním i přibližným tvarem velká města. Problém však nastává u menších vesnic, které jsou rozloženy v obou databázích odlišně. Orná půda zabírá velké plochy, proto se také mezi vektorovými vrstvami CORINE a mojí klasifikace na většině míst shoduje. Shodují se umístěním i tvarem i lesy, avšak velké rozdíly mezi databázemi jsou v určení druhu lesa (v obou hodnocených časových horizontech v mé klasifikaci je mnoho lesů vyklasifikováno jako smíšené, kdežto v CORINE jako jehličnaté). Pro srovnání ploch orné půdy, lesů a luk a pastvin jsou problematické CORINE Land Cover třídy označené jako zemědělské oblasti s přirozenou vegetací a směsice polí, luk



a trvalých plodin, které zahrnují všechny zmiňované klasifikované kategorie. Rozlohou malé třídy ovocných sadů a třídy skal se přibližně v obou databázích shodují umístěním, ale liší se svými přesnými tvary. Celkově lze říci, že obě databáze krajinného pokryvu pro oba časové horizonty znázorňují podobnou krajinou strukturu. V detailnějším pohledu je však možné si všimnout odlišností co se týče prostorového vymezení jednotlivých menších krajinných plošek. Názorná ukázka srovnání těchto dvou databází pro rok 2000 resp. 2001 je prezentována v podobě map v příloze 12.

Pro rok 1979 bohužel nebyla sehnána žádná data, se kterými by šlo výsledky BP porovnat. Avšak celková přesnost klasifikace land cover 67,25 % pro tento rok vypovídá sama za sebe, že výsledky získané klasifikací pro tento rok jsou velmi špatné.

Ze všech uvedených tvrzení vyplývá, že hypotézu, že by se krajinný pokryv v okrese Náchod neměl významně měnit, není možné pouze na základě klasifikací multispektrálních snímků zcela prokázat. Hlavně klasifikace za rok 1979 vykazuje velké nepřesnosti a tudíž nelze provést srovnání za celé sledované období. Za roky 1991 a 2001 byly získány kvalitnější výstupy a bylo možné potvrdit hlavní trendy změn: růst trvalých travních porostů, pokles rozlohy orné půdy a mírný růst lesních ploch. Při hodnocení výsledných údajů rozloh jednotlivých kategorií land cover a jejich vzájemných změn musíme brát v potaz nepřesnosti v klasifikaci. Přesnějších výsledků by bylo určitě dosaženo vstupem pomocných dat (např. archivní letecké snímky a katastrální mapy) či modernějších klasifikačních metod, jako např. metody objektové fuzzy klasifikace.

## 6 ZÁVĚR

Pro klasifikace land cover okresu Náchod na základě multispektrálních snímků pořízených družicemi Landsat v letech 1979, 1991 a 2001 byla v této bakalářské práci zvolena metoda řízené klasifikace a klasifikační algoritmus maximální pravděpodobnosti v programu PCI Geomatics. Klasifikační systém použitý v této práci byl vytvořen na základě systému CORINE Land Cover, avšak byl upraven s ohledem na hodnocené území a dostupná data. Obsahuje 11 tříd pro roky 1991 a 2001 a pouze 9 tříd pro rok 1979. Výsledky řízených klasifikací byly vyhlazeny majoritními filtry. V programu ArcMap byly rastrové výstupy převedeny do vektorů a byl proveden jejich překryv. Minimální mapovaná jednotka byla stanovena na 5 ha. Hodnocení přesnosti výsledných klasifikací land cover ukázalo, že klasifikační výstupy neodpovídají zcela skutečnosti a jejich přesnost je závislá na kvalitě (především spektrálním a prostorovém rozlišení) snímků a také na dostupnosti dalších referenčních dat.

Nejlepších přesností díky své velmi specifické spektrální charakteristice dosahovala ve všech hodnocených snímcích třída vodních ploch. Ostatní třídy již vykazovaly určité problémy. Nejčastěji byly zaměňovány jednotlivé třídy lesů mezi sebou, dále pak byla hodně zaměňována osetá orná půda s loukami a pastvinami. Zaměňovány byly také třídy holých povrchů (souvislá a nesouvislá zástavba, holá půda a skály). Problémy způsobovaly také třídy ovocných sadů a ostatní nelesní zeleně, které se nacházejí pouze na malých rozlohách okresu a z družicových snímků jsou těžko identifikovatelné.

Změny krajinného pokryvu za celé sledované období byly hodnoceny bilančně. Zde se potvrdila neměnná rozloha vodních ploch a trendy úbytku ploch orné půdy a nárůstu ploch luk a pastvin. Změny rozloh v ostatních třídách nebyly dle výsledků výrazné. Je pravděpodobné, že ve skutečnosti v krajině mohlo proběhnout více změn, avšak ne zcela přesné klasifikace tyto změny nemusely zaznamenat.

Překryv vektorových vrstev land cover byl vytvořen pouze pro roky 1991 a 2001. Aby byly vstupní databáze porovnatelné, byly hodnoceny pouze změny mezi sedmi třídami agregovanými (vodní plochy, lesy, louky a pastviny, orná půda, ovocné sady, zástavba a skály). Plošně nejvýraznější změny byly zaznamenány na Broumovsku a to díky přeměně orné půdy v louky a pastviny.

Závěrem lze říci, že na přesné a detailnější klasifikace land cover nestačí pouze datové vstupy a metody použité v této práci. Aby bylo dosaženo co nejlepší přesnosti, musel by být land cover klasifikován na základě více typů multispektrálních družicových snímků. Vhodné by bylo využít archivních leteckých snímků či z nich odvozených map. Lepší přesnosti by také napomohlo užití klasifikačních algoritmů, které zohledňují prostorové rozložení jednotlivých tříd land cover.

## POUŽITÉ ZDROJE INFORMACÍ

ANDERSON, J. R. ... [et al.]. 1976. *A Land Use And Land Cover Classification System For Use With Remote Sensor Data* [online]. Geological Survey Professional Paper 964. Washington, D.C. : United States Government Printing Office, 1976 [cit. 2009-12-26]. Digitální verze, konvertovaná z originálu v roce 2001, dostupná jako soubor PDF z URL <<http://landcover.usgs.gov/usgslandcover.php>>.

BOSSARD, M.; FERANEC J.; OTAHEL J. 2000. *CORINE land cover technical guide – Addendum 2000* [online]. EEA Technical report No 40. Copenhagen : [s.n.], 2000 [cit. 2009-12-28]. Dostupné také jako soubor PDF z URL <<http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>>

CENIA : ČESKÁ INFORMAČNÍ AGENTURA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. [200-?]. *CORINE Land Cover 2006 (2007-2008)* [online]. [200-?] [cit. 2010-01-02]. Dostupné z URL <[http://www.cenia.cz/\\_C12572160037AA0F.nsf/showProject?OpenAgent&PID=CPRJ7T3H42O2&cat=about](http://www.cenia.cz/_C12572160037AA0F.nsf/showProject?OpenAgent&PID=CPRJ7T3H42O2&cat=about)>.

DOBROVOLNÝ, P. 1998. *Dálkový průzkum Země, Digitální zpracování obrazu*. 1. vyd. Brno : Masarykova univerzita v Brně, 1998. 210 s. ISBN: 80-210-1812-7.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. 2007. *CLC2006 technical guidelines* [online]. EEA Technical report No 17/2007. Copenhagen : [s.n.], 2007 [cit. 2010-01-02]. 66 s. ISBN: 978-92-9167-968-3. Dostupné také jako soubor PDF z URL <[http://www.eea.europa.eu/publications/technical\\_report\\_2007\\_17](http://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2007_17)>.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. 1994. *CORINE Land Cover : Methodology and Nomenclature* [online]. 1994 [cit. 2010-01-02]. Dostupné jako soubor PDF z URL <<http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>>.

GREGORIO, A. Di; JANSEN, L. J. M. 2000. *Land Cover Classification System (LCCS) : Classification Concepts and User Manual* [online]. Ver. 1.0. [Rome?] : FAO, 2000 [cit. 2010-01-03]. ISBN 92-5-104216-0. Dostupné z URL <<http://www.fao.org/DOCREP/003/X0596E/X0596E00.HTM>>.

KABRDA, J. c2008. *Využití ploch a sociální metabolismus České republiky : Databáze dlouhodobých změn využití ploch Česka (1845 – 2000)* [online]. c2008 [cit. 2010-05-13]. Dostupné z URL <[http://lucc.ic.cz/lucc\\_data/](http://lucc.ic.cz/lucc_data/)>.

KOLÁŘ, J. 1990. *Dálkový průzkum Země*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1990. 176 s. ISBN: 80-03-00517-5.

KOLÁŘ, J.; HALOUNOVÁ L.; PAVELKA, K. 1997. *Dálkový průzkum Země 10*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1997. 164 s. ISBN: 80-01-01567-X.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J.W. 2008. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 6th ed. United States of America : Wiley, 2008. 756 s. ISBN: 978-0-470-05245-7.

LUCC CZECHIA. c2009 - 2010. *LUCC Czechia : Land use / land cover project* [online]. c2009 - 2010 [cit. 2010-05-13]. Dostupné z URL <<http://www.lucc.cz>>.

MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. 1997. *Databáze land cover České republiky* [online]. 1997, poslední revize 18. 10. 2002 [cit. 2009-12-30]. Dostupné z URL <[www.mzp.cz/www/zamest.nsf/0/8a7fb0bcc6f1ab39c125651d005c4e90?OpenDocument](http://www.mzp.cz/www/zamest.nsf/0/8a7fb0bcc6f1ab39c125651d005c4e90?OpenDocument)>.

NASA. [?]. *The Landsat Program* [online]. [?], poslední revize 23. 4. 2010 [cit. 2010-04-27]. Dostupné z URL <<http://landsat.gsfc.nasa.gov>>.

TUCKER, C., DENELLE, M., DYKSTRA, D. 2004. NASA's Global Orthorectified Landsat Data Set. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* [online]. March 2004, vol. 70, no. 3 [cit. 2010-30-04], p. 313–322. Dostupné z URL <[http://eros.usgs.gov/#/Find\\_Data/Products\\_and\\_Data\\_Available/Tri-Decadal\\_Global\\_Landsat\\_Orthorectified](http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/Tri-Decadal_Global_Landsat_Orthorectified)>.

U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR & U.S. GEOLOGICAL SURVEY. [?]. *Multi-Resolution Land Characteristics Consortium (MRLC)* [online]. [?], poslední revize 26.1.2010 [cit. 2010-02-01]. Dostupné z URL <<http://www.mrlc.gov>>.

U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR & U.S. GEOLOGICAL SURVEY. [200-?]. *USGS : Earth Resources Observation and Science (EROS) Center* [online]. [200-?], poslední revize 16. 4. 2009 [cit. 2010-04-27]. Dostupné z URL <[http://eros.usgs.gov/#Find\\_Data/Products\\_and\\_Data\\_Available/Tri-Decadal\\_Global\\_Landsat\\_Orthorectified](http://eros.usgs.gov/#Find_Data/Products_and_Data_Available/Tri-Decadal_Global_Landsat_Orthorectified)>.

U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR & U.S. GEOLOGICAL SURVEY. [2006?]. *USGS : Landsat missions* [online]. [2006?], poslední revize 27. 4. 2010 [cit. 2010-04-27]. Dostupné z URL <<http://landsat.usgs.gov>>.

## POUŽITÉ DATOVÉ ZDROJE

*ArcČR 500: Digitální geografická databáze* [cd-rom] © 2003 Arcdata Praha, s.r.o.

*Databáze CORINE Land Cover 1990 a 2000, okres Náchod.* Poskytnuto ve formátu shapefile agenturou CENIA dne 22. března 2010.

*Databáze dlouhodobých změn využití ploch Česka (1845 – 2000) vytvořená v rámci projektu LUCC in Czechia 1845-1948-1990-2000* [online] Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze. Staženo dne 12. května 2010 z webových stránek <[http://lucc.ic.cz/lucc\\_data/](http://lucc.ic.cz/lucc_data/)>.

*Mapový server Mapy.cz* [online] © 1996 - 2010 Seznam.cz, a.s. Dostupné z WWW: <<http://mapy.cz/>>. Citováno dne 10. února 2010.

*Mapový server geoportal.cenia.cz* [online] © 2003-2010 Ministerstvo vnitra, © 2003-2010 Ministerstvo životního prostředí, © 2005-2010 CENIA. Dostupné z WWW: <<http://geoportal.cenia.cz>>. Citováno dne 30. března 2010.

*p205r25\_3m19790530.MSS-EarthSat-Orthorectified* (Multispektrální snímek Landsat z roku 1979) [online]. Earth Satellite Corporation. Staženo dne 10. listopadu 2010 z webových stránek <<http://glcf.umiacs.umd.edu>>.

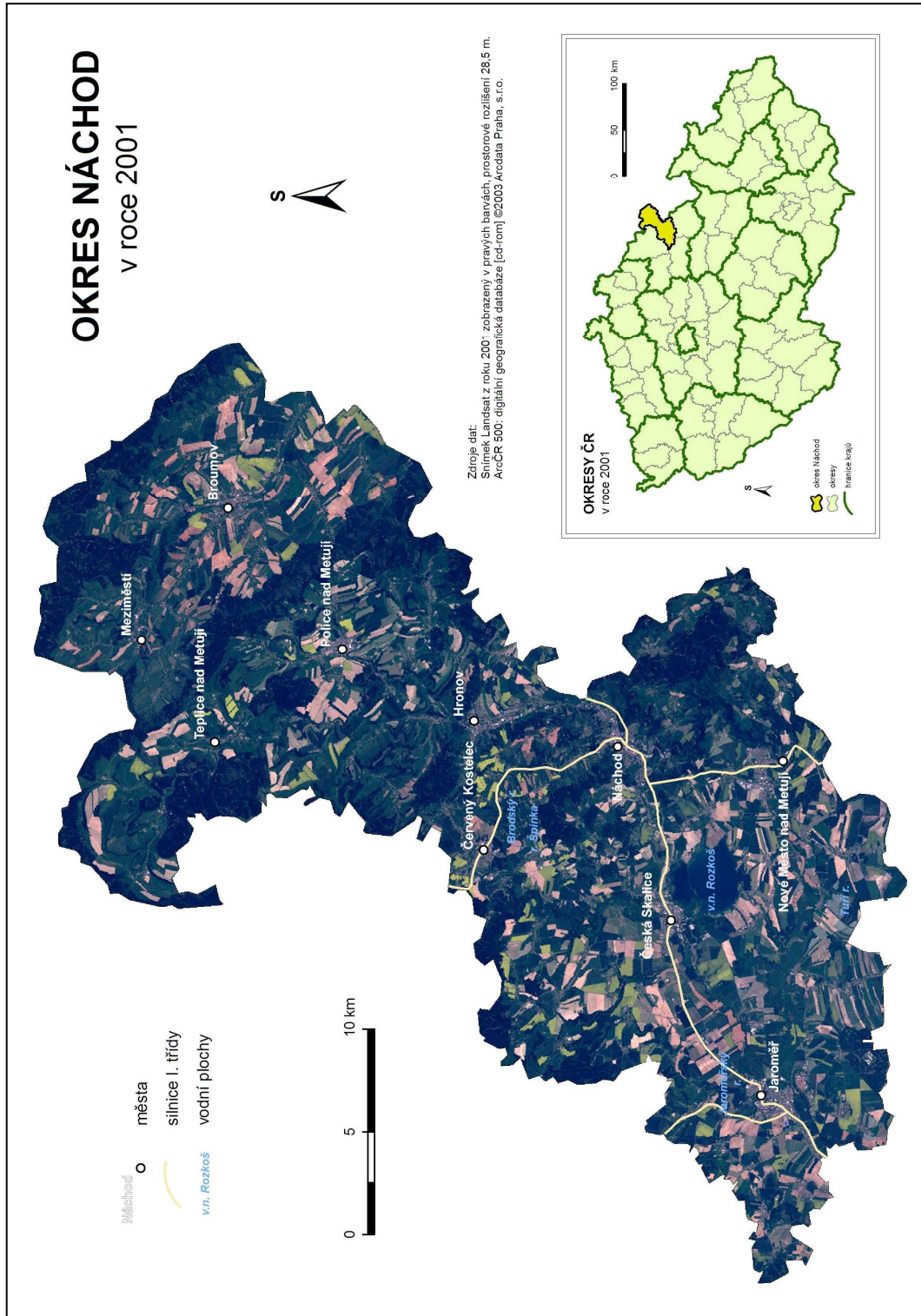
*p190r25\_5t19910910.TM-EarthSat-Orthorectified* (Multispektrální snímek Landsat z roku 1991) [online]. Earth Satellite Corporation. Staženo dne 10. listopadu 2010 z webových stránek <<http://glcf.umiacs.umd.edu>>.

*p190r025\_7x20010524.ETM-EarthSat-Orthorectified* (Multispektrální snímek Landsat z roku 2001) [online]. Earth Satellite Corporation. Staženo dne 10. listopadu 2010 z webových stránek <<http://glcf.umiacs.umd.edu>>.

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: CD s elektronickou podobou práce a výslednými vektorovými vrstvami LC pro hodnocené roky a vektorovou vrstvou reprezentující změny mezi lety 1991 a 2001
- Příloha 2: Přehledová mapka modelového území
- Příloha 3: Klasifikační systém CORINE Land Cover
- Příloha 4: Chybová matice pro výslednou klasifikaci LC v roce 1979
- Příloha 5: Chybová matice pro výslednou klasifikaci LC v roce 1991
- Příloha 6: Chybová matice pro výslednou klasifikaci LC v roce 2001
- Příloha 7: Postup tvorby výsledné vektorové vrstvy land cover okresu Náchod (Ukázka na výřezu území pro rok 2001)
- Příloha 8: Land cover okresu Náchod v roce 1979
- Příloha 9: Land cover okresu Náchod v roce 1991
- Příloha 10: Land cover okresu Náchod v roce 2001
- Příloha 11: Změny land cover mezi lety 1991 a 2001
- Příloha 12: Porovnání CORINE Land Cover a mojí klasifikace, rok 2000 resp. 2001

Příloha 2: Přehledová mapka modelového území



## Příloha 3: Klasifikační systém CORINE Land Cover

### 1. Uměle přetvořené povrchy (*Artificial surfaces*)

- 1.1. Městská zástavba (*Urban fabric*)
  - 1.1.1. Souvislá městská zástavba (*Continuous urban fabric*)
  - 1.1.2. Nesouvislá městská zástavba (*Discontinuous urban fabric*)
- 1.2. Průmyslové, obchodní a dopravní oblasti (*Industrial, commercial and transport units*)
  - 1.2.1. Průmyslové a obchodní areály (*Industrial or commercial units*)
  - 1.2.2. Silniční a železniční síť s okolím (*Road and rail networks and associated land*)
  - 1.2.3. Přístavy (*Port areas*)
  - 1.2.4. Letiště (*Airports*)
- 1.3. Doly, skládky a staveniště (*Mine, dump and construction sites*)
  - 1.3.1. Oblasti současné těžby surovin (*Mineral extraction sites*)
  - 1.3.2. Haldy a skládky (*Dump sites*)
  - 1.3.3. Staveniště (*Construction sites*)
- 1.4. Oblasti zeleně a rekreační oblasti (*Artificial non-agricultural vegetated areas*)
  - 1.4.1. Městské zelené plochy (*Green urban areas*)
  - 1.4.2. Sportovní a rekreační plochy (*Sport and leisure facilities*)

### 2. Zemědělské oblasti (*Agricultural areas*)

- 2.1. Orná půda (*Arable land*)
  - 2.1.1. Nezavlažovaná orná půda (*Non-irrigated arable land*)
  - 2.1.2. Trvale zavlažovaná orná půda \* (*Permanently irrigated land*)
  - 2.1.3. Rýžová pole \* (*Rice fields*)
- 2.2. Trvalé kultury (*Permanent crops*)
  - 2.2.1. Vinice (*Vineyards*)
  - 2.2.2. Sady, chmelnice a zahradní plantáže (*Fruit trees and berry plantations*)
  - 2.2.3. Olivové háje (*Olive groves*)
- 2.3. Travní porosty (*Pastures*)
  - 2.3.1. Louky a pastviny (*Pastures*)
- 2.4. Smíšené zemědělské oblasti (*Heterogeneous agricultural areas*)
  - 2.4.1. Jednoleté a trvalé kultury (*Annual crops associated with permanent crops*)
  - 2.4.2. Směsice polí, luk a trvalých plodin (*Complex cultivation patterns*)
  - 2.4.3. Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací  
(*Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation*)
  - 2.4.4. Zemědělsko - lesní oblast \* (*Agro-forestry areas*)

### 3. Les a polopřírodní vegetace (*Forests and semi-natural areas*)

- 3.1. Lesy (*Forests*)
  - 3.1.1. Listnaté lesy (*Broad-leaved forest*)
  - 3.1.2. Jehličnaté lesy (*Coniferous forest*)
  - 3.1.3. Smíšené lesy (*Mixed forest*)
- 3.2. Travnaté a nebo křovinaté porosty (*Shrub and/or herbaceous vegetation associations*)
  - 3.2.1. Přírodní louky (*Natural grassland*)
  - 3.2.2. Stepi a křoviny (*Moors and heathland*)
  - 3.2.3. Tvrdolistá vegetace \* (*Sclerophyllous vegetation*)
  - 3.2.4. Nízký porost v lese (*Transitional woodland/shrub*)
- 3.3. Holiny a místa téměř bez vegetace (*Open spaces with little or no vegetation*)
  - 3.3.1. Pláže, duny, písek \* (*Beaches, dunes, sands*)
  - 3.3.2. Skály (*Bare rock*)
  - 3.3.3. Řídká vegetace (*Sparsely vegetated areas*)



- 3.3.4. Spálená vegetace (*Burnt areas*)
- 3.3.5. Ledovce a věčný sníh \* (*Glaciers and perpetual snow*)

#### **4. Mokřady (Wetlands)**

- 4.1. Mokřady ve vnitrozemí (*Inland wetlands*)
  - 4.1.1. Mokřiny a močály (*Inland marshes*)
  - 4.1.2. Rašeliniště (*Peatbogs*)
- 4.2. Mokřady na mořském pobřeží (*Coastal wetlands*)
  - 4.2.1. Solné bažiny \* (*Salt marshes*)
  - 4.2.2. Saliny \* (*Salines*)
  - 4.2.3. Přílivové oblasti \* (*Intertidal flats*)

#### **5. Vody (Water bodies)**

- 5.1. Sladké vody (*Inland waters*)
  - 5.1.1. Vodní toky (*Water courses*)
  - 5.1.2. Vodní plochy (*Water bodies*)
- 5.2. Moře \* (*Marine waters*)
  - 5.2.1. Pobřežní laguny \* (*Coastal lagoons*)
  - 5.2.2. Ústí \* (*Estuaries*)
  - 5.2.3. Moře a oceány \* (*Sea and ocean*)

Třídy označené \* se nenalézají na území ČR

*Zdroje: EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 1994  
MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, 1997*

Příloha 4: Chybová matice pro výslednou klasifikaci LC v roce 1979

třída land cover	Referenční data (známý krajinný pokryv)													celkem řádky	užívatelská přesnost (%)
	vodní plochy	jehličnaté lesy	smíšené lesy	listnaté lesy	souvislá zástavba	louky a pastviny	orná půda	skály	nesouvislá zástavba						
vodní plochy	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	100,00
jehličnaté lesy	0	47	3	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	58	81,03
smíšené lesy	1	39	55	2	0	0	3	0	0	0	3	2	2	104	52,88
listnaté lesy	0	1	7	11	0	0	6	0	0	0	6	0	0	31	35,48
souvislá zástavba	1	0	0	0	11	0	0	0	1	0	0	0	1	13	84,62
louky a pastviny	0	0	0	0	0	0	17	20	0	0	0	0	0	37	45,95
orná půda	0	0	3	0	8	17	136	0	0	0	0	0	32	196	69,39
skály	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	6	83,33
nesouvislá zástavba	0	0	0	0	6	1	0	0	0	1	0	0	40	47	85,11
<b>celkem sloupce</b>	<b>30</b>	<b>87</b>	<b>68</b>	<b>13</b>	<b>25</b>	<b>41</b>	<b>165</b>	<b>15</b>	<b>75</b>	<b>53,33</b>	<b>519</b>				
<b>zpracovatelská přesnost (%)</b>	<b>90,00</b>	<b>54,02</b>	<b>80,88</b>	<b>84,62</b>	<b>44,00</b>	<b>41,46</b>	<b>82,42</b>	<b>33,33</b>	<b>53,33</b>						

Klasifikovaná data

Příloha 5: Chybová matice pro výslednou klasifikaci LC v roce 1991

třída land cover	Referenční data (známý krajinný pokryv)													celkem řádky	užitelská přesnost (%)
	vodní plochy	ovocné sady	jehličnaté lesy	smíšené lesy	listnaté lesy	souvislá zástavba	louky a pastviny	orná půda	skály	nesouvislá zástavba	ostatní nelesní zeleň				
vodní plochy	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	100,00
ovocné sady	0	8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	9	88,89
jehličnaté lesy	0	0	58	9	0	0	0	0	3	0	1	0	0	71	81,69
smíšené lesy	0	0	28	48	2	0	0	0	0	0	0	0	0	78	61,54
listnaté lesy	0	0	0	3	10	0	0	0	0	0	1	0	0	14	71,43
souvislá zástavba	0	0	0	0	0	14	0	2	0	0	0	0	0	16	87,50
louky a pastviny	0	3	0	0	0	0	30	24	0	0	0	0	0	57	52,63
orná půda	0	7	0	2	0	2	9	133	0	12	3	0	0	168	79,17
skály	0	0	1	1	0	0	2	3	12	1	4	0	0	24	50,00
nesouvislá zástavba	0	0	0	1	0	9	0	2	0	62	1	0	0	75	82,67
ostatní nelesní zeleň	0	1	0	4	1	0	0	0	0	0	2	0	0	8	25,00
<b>celkem sloupce</b>	<b>30</b>	<b>19</b>	<b>87</b>	<b>68</b>	<b>13</b>	<b>25</b>	<b>41</b>	<b>165</b>	<b>15</b>	<b>75</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>16,67</b>	<b>550</b>	
<b>zpracovatel'ská přesnost (%)</b>	<b>100,00</b>	<b>42,11</b>	<b>66,67</b>	<b>70,59</b>	<b>76,92</b>	<b>56,00</b>	<b>73,17</b>	<b>80,61</b>	<b>80,00</b>	<b>82,67</b>	<b>16,67</b>	<b>16,67</b>	<b>16,67</b>		

Klasifikovaná data

Příloha 6: Chybová matice pro výslednou klasifikaci LC v roce 2001

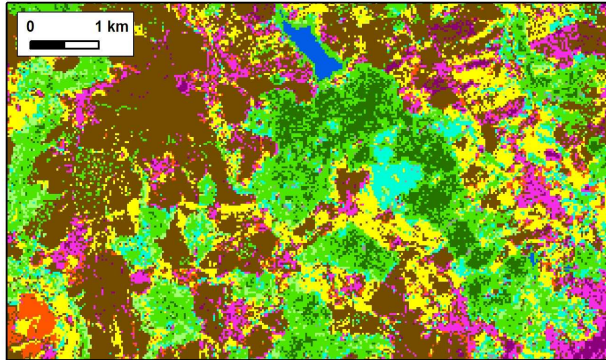
třída land cover	Referenční data (známý krajinný pokryv)														celkem řádky	uživatelská přesnost (%)
	vodní plochy	ovocné sady	jehličnaté lesy	smíšené lesy	listnaté lesy	souvislá zástavba	louky a pastviny	orná půda	skály	nesouvislá zástavba	ostatní nelesní zeleň					
vodní plochy	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	100,00
ovocné sady	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	94,44
jehličnaté lesy	0	0	60	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73	82,19
smíšené lesy	0	0	19	46	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	70	65,71
listnaté lesy	0	0	0	8	9	0	3	0	0	0	0	0	0	0	20	45,00
souvislá zástavba	0	0	0	0	0	24	0	0	0	2	0	0	0	0	26	92,31
louky a pastviny	0	1	0	0	3	0	72	8	0	1	2	0	0	0	87	82,76
orná půda	0	5	1	0	0	0	13	99	0	3	0	0	0	0	121	81,82
skály	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	1	0	0	0	16	93,75
nesouvislá zástavba	0	2	0	0	0	1	0	1	0	69	1	0	0	0	74	93,24
ostatní nelesní zeleň	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	11	0	0	0	15	73,33
celkem sloupce	30	25	80	70	15	25	90	110	15	75	15	90	100,00	92,00	550	
<b>zpracovatelská přesnost (%)</b>	<b>100,00</b>	<b>68,00</b>	<b>75,00</b>	<b>65,71</b>	<b>60,00</b>	<b>96,00</b>	<b>80,00</b>	<b>90,00</b>	<b>100,00</b>	<b>92,00</b>	<b>73,33</b>	<b>80,00</b>	<b>100,00</b>	<b>92,00</b>	<b>73,33</b>	

Klasifikovaná data

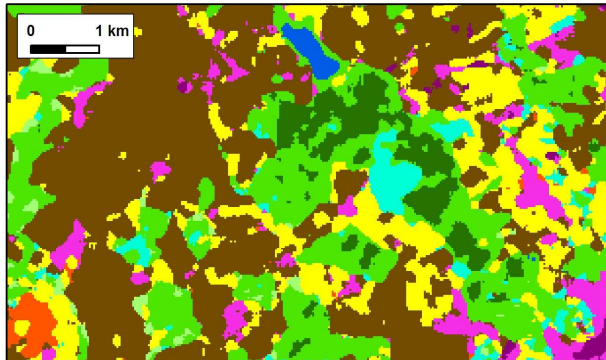
Příloha 7: Postup tvorby výsledné vektorové vrstvy land cover okresu Náchod  
(Ukázka na výřezu území pro rok 2001)

## TVORBA VEKTOROVÉ VRSTVY LC (rok 2001)

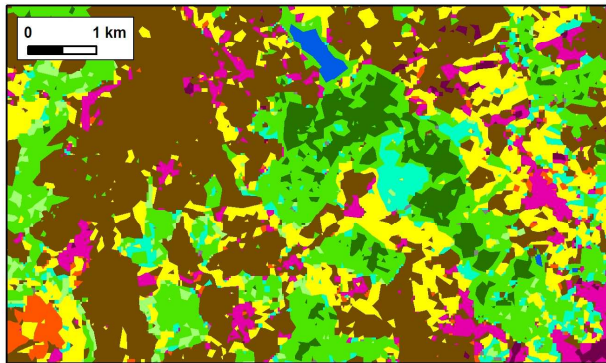
MLC PO AGREGACI TŘÍD



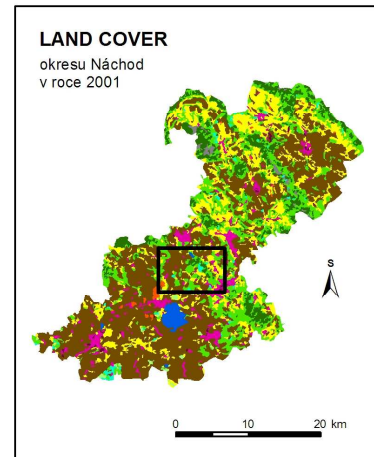
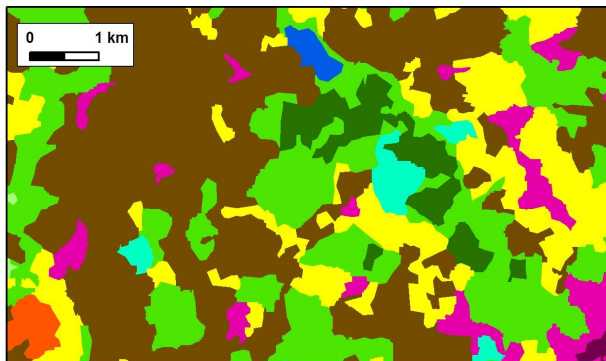
VYHLAZENÍ FILTREM 5x5



PŘEVOD NA VEKTOR



KONEČNÁ VEKTOROVÁ VRSTVA LC



### TŘÍDY LAND COVER

#### UMĚLE PŘETVORENÉ POVRCHY

- nesouvislá zástavba
- souvislá zástavba

#### ZEMĚDĚLSKÉ AREÁLY

- orná půda
- ovocné sady
- louky a pastviny

#### LESNÍ A POLOPŘÍRODNÍ AREÁLY

- jehličnaté lesy
- smíšené lesy
- listnaté lesy
- ostatní nelesní zeleň
- skály

#### VODA

- vodní plochy

Použitý zdroj dat:  
snímek LANDSAT o prostorovém rozlišení 28,5 m

Příloha 8: Land cover okresu Náchod v roce 1979

## LAND COVER

okresu Náchod v roce 1979

### TŘÍDY LAND COVER

#### UMĚLE PŘETVORENÉ POVRCHY

- nesouvěsílná zástavba
- souvěsílná zástavba

#### ZEMĚDĚLSKÉ AREÁLY

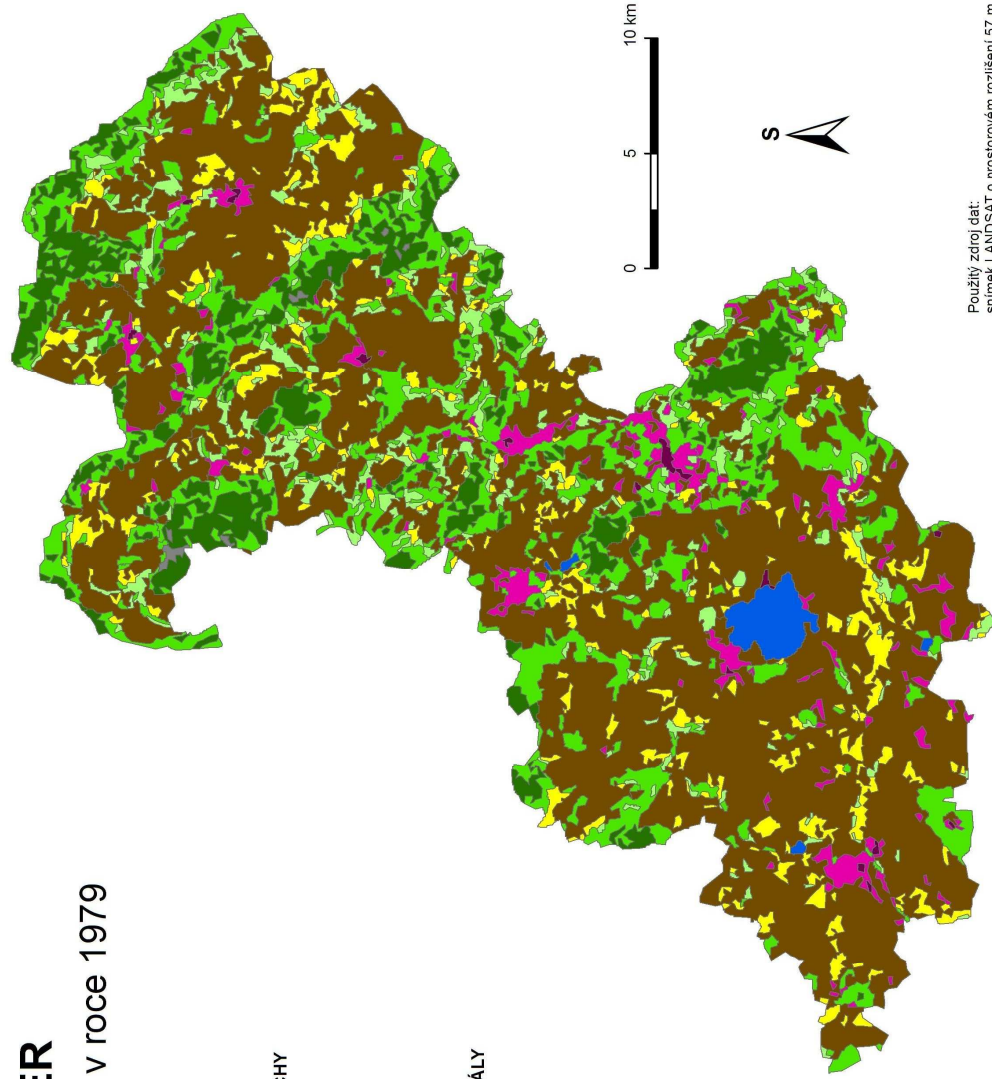
- orná půda
- louky a pastviny

#### LESNÍ A POLOPŘÍRODNÍ AREÁLY

- jehličnaté lesy
- smíšené lesy
- listnaté lesy
- skály

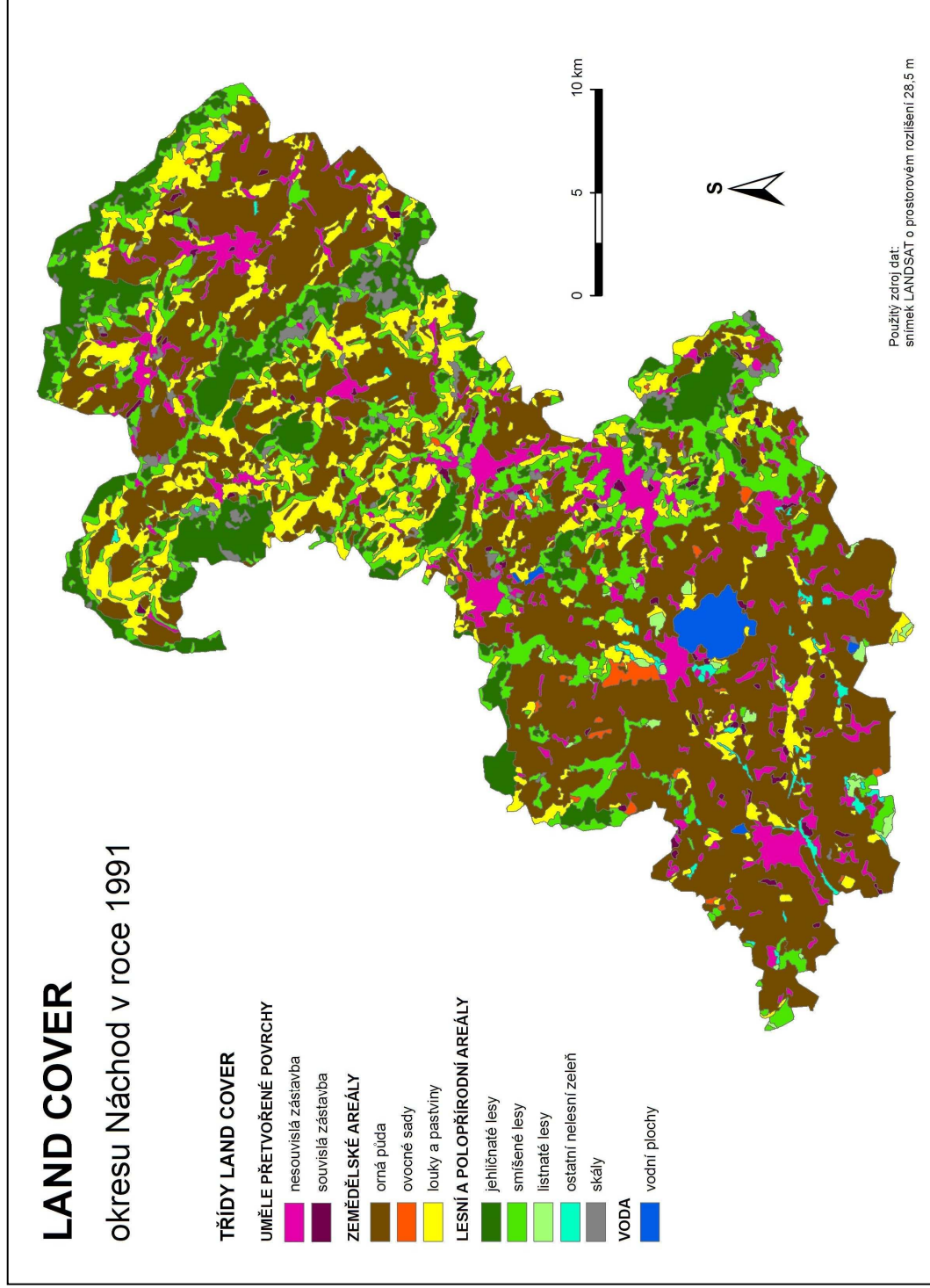
#### VODA

- vodní plochy



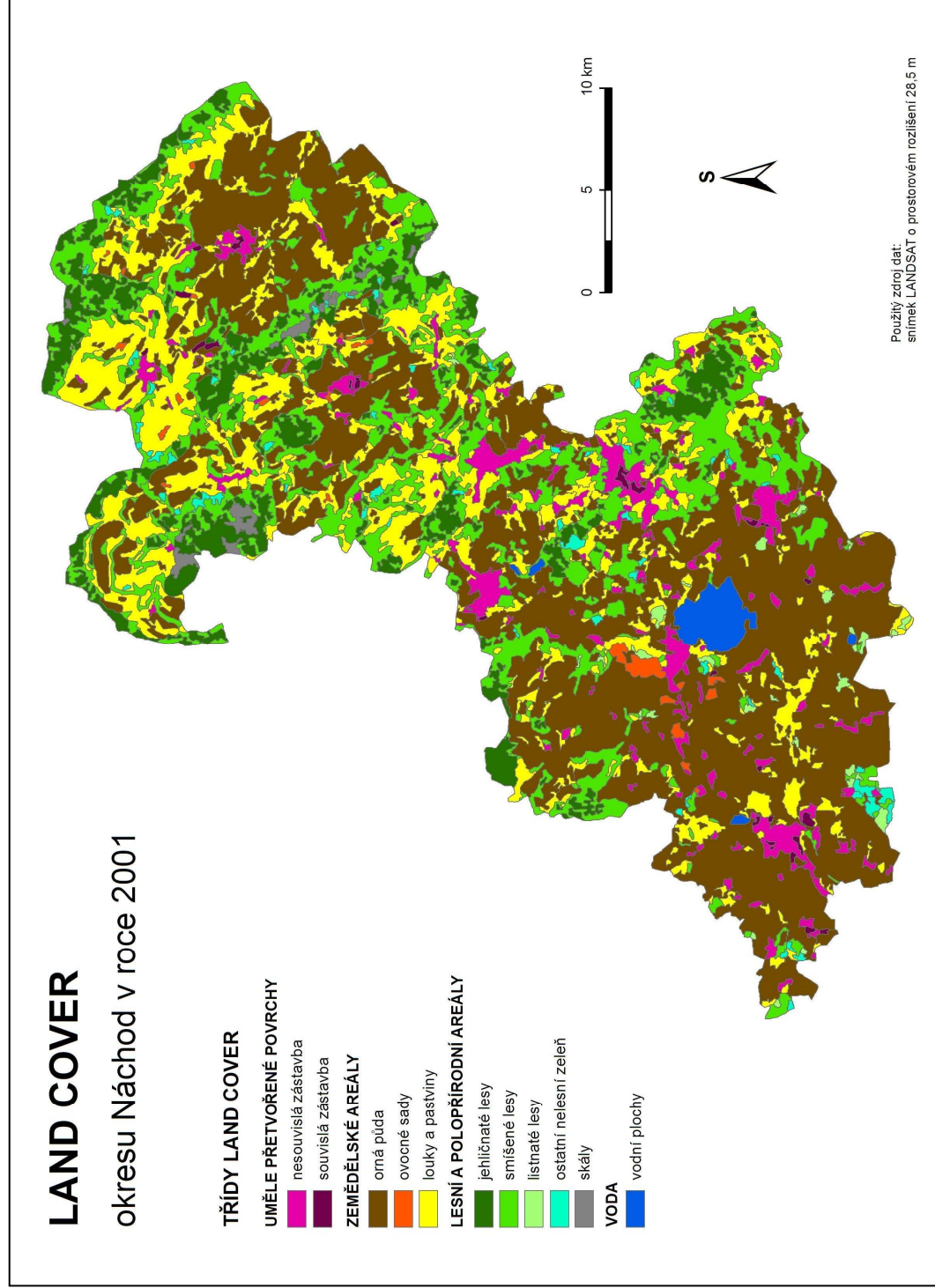
Použitý zdroj dat:  
snímek LANDSAT o prostorovém rozlišení 57 m

Příloha 9: Land cover okresu Náchod v roce 1991



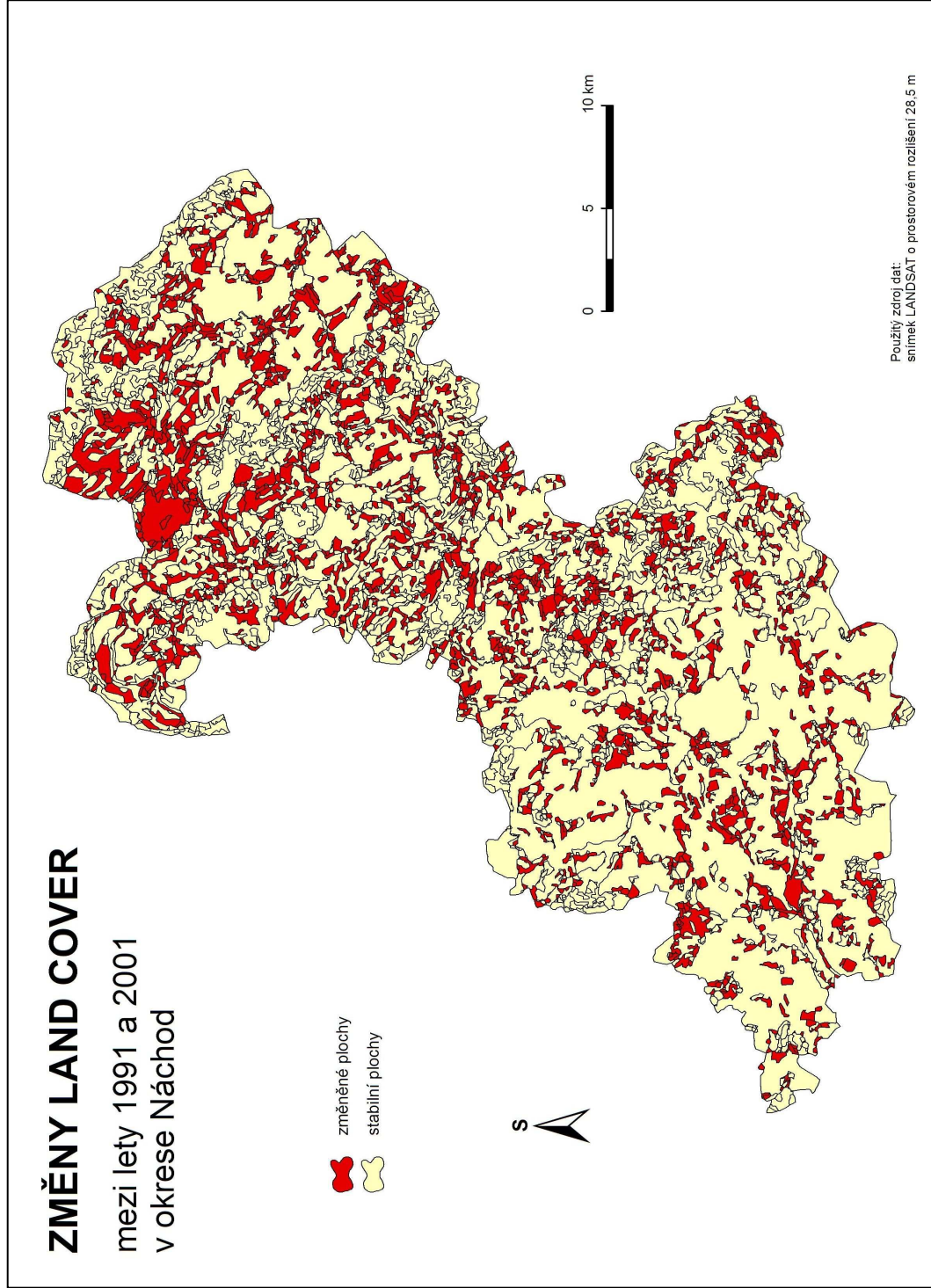


Příloha 10: Land cover okresu Náchod v roce 2001

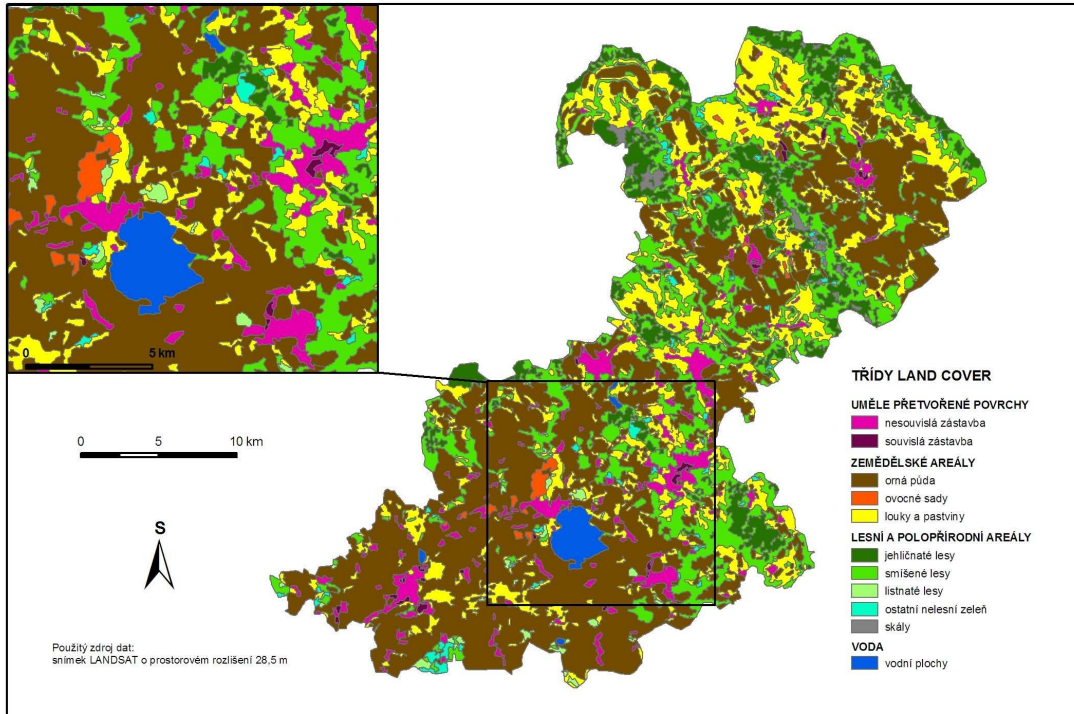




Příloha 11: Změny land cover mezi lety 1991 a 2001



## MOJE KLASIFIKACE LC, okres Náchod, r. 2001



## CORINE LAND COVER, okres Náchod, r. 2000

