

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie (bakalářské studium)

Studijní obor: Geografie - kartografie



Kristýna LIHANOVÁ

**HODNOCENÍ ZMĚN LAND COVER V ČESKÉM
ŠVÝCARSKU POMOCÍ DAT DPZ**

**LAND COVER CHANGES IN BOHEMIAN SWITZERLAND USING
REMOTE SENSING DATA**

Bakalářská práce

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

Praha 2011

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval/a samostatně a že jsem uvedl/a všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 22. 5. 2011

.....

podpis

Poděkování

Na tomto místě bych v první řadě ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce RNDr. Přemyslu Štychovi, Ph.D. za věnovaný čas a ochotu a zároveň za cenné rady a připomínky. Dále bych chtěla poděkovat konzultantovi Mgr. Oldřichu Holešínskému, správci GIS ze Správy Národního parku České Švýcarsko, za poskytnutí některých dat a informací. A v neposlední řadě děkuji také své rodině za podporu v průběhu celého studia.

Hodnocení změn land cover v Českém Švýcarsku pomocí dat DPZ

Abstrakt

Cílem této práce bylo klasifikovat krajinný pokryv v Národním parku České Švýcarsko z dat družice LANDSAT (1999, 2002, 2009), FORMOSAT (2006) a QuickBird (2009). Vlastnosti těchto dat jsou v práci popsána. Pro zjištění tříd land cover byla použita metoda neřízené klasifikace v programu Geomatica. Vytvořené třídy byly sloučeny do pěti výsledných tříd. Hodnocena byla také přesnost klasifikace, která ukázala, že výsledky příliš neodpovídají skutečnosti zejména u typů lesa. Výsledky klasifikace byly vyhlazeny nízkofrekvenčním filtrem a převedeny do vektorové podoby v programu ArcGIS. Dále byly pro roky 2006 a 2009 spočteny vegetační indexy NDVI a LAI, které ukázaly, že nejhustější vegetace je v oblasti listnatých lesů. Změny krajinného pokryvu byly hodnoceny dvěma způsoby. Nejprve byly zjištěny podíly jednotlivých tříd land cover ve všech časových horizontech. Druhým způsobem byl překryv vrstev provedený v programu ArcGIS. Překryv byl proveden mezi lety 1999 a 2002 a mezi lety 1999 a 2009. Nejvíce změn bylo zjištěno mezi jehličnatými a smíšenými lesy. Tyto změny jsou však způsobeny spíše nepřesností v klasifikaci.

Klíčová slova: land cover, České Švýcarsko, les, Landsat, Formosat, QuickBird

Land cover changes in Bohemian Switzerland using remote sensing data

Abstract

The purpose of this project was to classify land cover in The National Park Bohemian Switzerland from LANDSAT data (1999, 2002, 2009), FORMOSAT data (2006) and QuickBird data (2009). Data used in this paper are described in details. The method used for images classification was method of unsupervised classification in Geomatica program. Created classes were merged into the final five classes. An Assessment of accuracy of classification showed that results don't reflect reality. Mixed forests are the biggest problem because they can be mistaken for coniferous or deciduous forests. Classification results were smoothed low pass filter and converted into a vector formats in ArcGIS program. For the years 2006 and 2009 was counted the vegetation indexes NDVI and LAI. Results showed that the densest vegetation is in deciduous forests. Changes in land cover were assessed in two ways. Shares of each class were calculated for all years. Overlays layers are created in ArcGIS. Overlap was conducted between 1999 and 2002 and between 1999 and 2009. Most changes were found between the coniferous and mixed forests. These changes are caused by the inaccuracies in classification.

Key words: land cover, Bohemian Switzerland, forest, Landsat, Formosat, QuickBird

OBSAH

OBSAH.....	5
SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	7
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	8
1 ÚVOD.....	9
2 LITERÁRNÍ REŠERŠE A ÚVOD DO PROBLEMATIKY	10
2.1 Dálkový průzkum Země.....	10
2.1.1 Elektromagnetické záření a jeho interakce s prostředím.....	10
2.1.2 Spektrální projevy krajiny.....	12
2.1.2.1 Vegetace.....	13
2.1.2.2 Voda.....	13
2.1.2.3 Půda, horniny a minerály	13
2.2 Vybrané družicové systémy	14
2.2.1 Systém družic LANDSAT	14
2.2.2 Satelitní systém SPOT.....	15
2.2.3 FORMOSAT a QuickBird	16
2.3 Vlastnosti družicových dat.....	16
2.4 Lesní vegetace a využití dat DPZ v lesnictví.....	17
2.4.1 Lesnické informační systémy.....	18
3 ZPRACOVÁNÍ DAT DPZ	19
3.1 Korekce snímků	19
3.2 Metody klasifikace.....	20
3.3 Postklasifikační úpravy	20
3.4 Hodnocení přesnosti klasifikace	20
3.5 Vegetační indexy.....	21
4 CHARAKTERISTIKA NP ČESKÉ ŠVÁCARSKO.....	23
4.1 Péče o lesy v národním parku	24
5 DATA A METODIKA.....	25
5.1 Použitá data.....	25
5.2 Využitý software.....	27
5.3 Předzpracování dat.....	27
5.4 Tvorba klasifikačního systému	28
5.5 Klasifikace a postklasifikační úpravy výsledků.....	29
5.5.1 Hodnocení přesnosti klasifikace.....	30

5.6	Tvorba vektorových vrstev ze získaných výsledků.....	31
5.7	Zjištění stavu a změn land cover.....	31
5.8	Výpočet NDVI a LAI.....	32
6	VÝSLEDKY	33
6.1	Přesnost klasifikací land cover.....	33
6.2	Změny krajinného pokryvu.....	34
6.3	Porovnání stavu LC zjištěného z různých typů dat.....	35
6.4	Hodnocení stavu vegetace pomocí vegetačních indexů.....	36
7	DISKUZE.....	38
8	ZÁVĚR.....	40
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ INFORMACÍ.....	41
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ DAT.....	44
	SEZNAM PŘÍLOH.....	45

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1: Schéma elektromagnetické vlny	11
Obr. 2: Schéma elektromagnetického spektra.....	12
Obr. 3: Obecný průběh spektrální odrazivosti vody, vegetace, suché půdy a vlhké půdy	12
Tab. 1: Přehled spektrálních pásem použitých družicových dat	26
Tab. 2: Přehled výsledků georeferencování snímku FORMOSAT z roku 2006.....	28
Tab. 3: Přehled celkových přesností klasifikací.....	33
Tab. 4: Rozloha a podíl jednotlivých tříd land cover v NP České Švýcarsko	34
Tab. 5: Celkové plochy změn mezi jednotlivými třídami zjištěné překryvem roku 1999 a 2002.....	35
Tab. 6: Celkové plochy změn mezi jednotlivými třídami zjištěné překryvem roku 1999 a 2009.....	35

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BP	Bakalářská práce
CD	Kompaktní disk (Compact disk)
DPZ	Dálkový průzkum Země
ETM+	Senzor na družici LANDSAT 7 (The Enhanced Thematic Mapper Plus)
HRG	Senzor na družici SPOT 5 (High resolution Geometry)
HRV	Senzor na družici SPOT 1 až 3 (High resolution Visible)
HRVIR	Senzor na družici SPOT 4 (High-Resolution Visible and Infrared)
LAI	Index listové pokryvosti (Leaf area index)
LC	Land cover (krajinný pokryv)
METEOSAT	Meteorologické družice (Meteorological Satellite)
MSS	Senzor na družici LANDSAT 1 až 5 (Multispectral Scanner Systém)
NDVI	Normalizovaný vegetační index (Normalized Difference Vegetation Index)
NP	Národní park
PCIDSK	Databázový formát programu Geomatica (PCI Geomatics Database File)
pixel	Obrazový prvek (Picture element)
RBV	Senzor na družici LANDSAT 1 (Return Beam Vidicon)
S-JTSK	System jednotné trigonometrické sítě katastrální
shp	Vektorový datový formát (Shapefile)
TIFF	Formát souboru pro ukládání rastrové grafiky (Tag Image File Format)
TM	Senzor na družici LANDSAT 4 až 5 (The Thematic Mapper)
UTM	Souřadnicový systém (Universal Transverse Mercator)
WGS 84	Geodetický referenční systém z roku 1984 (World Geodetic Systém 1984)
USGS	U. S. Geological Survey

1 ÚVOD

Data dálkového průzkumu Země jsou v poslední době stále více využívána, a to v mnoha oblastech. Jednou z těchto oblastí je právě hodnocení krajinného pokryvu a jeho změn. Velký potenciál mají tato data také v oboru lesnictví, kde lze na základě jejich analýzy zjistit například rozsah těžby dřeva, úbytky či přírůstky lesních ploch či sledovat poškození lesa po kalamitách.

Cílem této bakalářské práce je z družicových dat LANDSAT, FORMOSAT a QuickBird klasifikovat land cover na území Národního parku České Švýcarsko v letech 1999, 2002, 2006 a 2009. Dále bude snaha o zjištění změn krajinného pokryvu mezi sledovanými časovými horizonty. Práce se také pokusí zjistit druhovostní složení lesa a jeho charakter případně i zdravotní stav. Zjištěné změny krajinného pokryvu by měly být konfrontovány s lesním hospodářským plánem národního parku. Cílem je rovněž zjištění, zda jsou použitá data pro danou tematiku vhodná.

V rešeršní části práce bude stručně popsán princip dálkového průzkumu Země, jehož pochopení je pro zpracování družicových dat velmi důležité. Dále zde budou popsány vlastnosti použitých družicových systémů a jejich využití. Zmíněny budou také lesnické informační systémy a využití dat dálkového průzkumu Země v lesnictví. Obecně bude také pojednáno o zpracování družicových dat. V metodické části bude podrobně popsáno zpracování družicových dat. Uvedeno bude jejich předzpracování, způsob klasifikace, hodnocení její přesnosti, výpočet vegetačních indexů a úpravy získaných výstupů. Nakonec budou popsány zjištěné výsledky.

Hypotézou práce je, že mezi lety 1999 až 2009 nebudou zjištěny výrazné změny krajinného pokryvu. Dalším předpokladem je, že použitá data budou vhodná pro danou problematiku a pro využití v oblasti lesnictví.

2 LITERÁRNÍ REŠERŠE A ÚVOD DO PROBLEMATIKY

2.1 Dálkový průzkum Země

Dálkový průzkum Země v nejobecnějším smyslu slova znamená získávání informací o objektech a jevech na dálku, bez přímého kontaktu s nimi, pouze za pomoci přístrojů a informací o tom, jak tyto objekty ovlivňují své okolí (Dobrovolný, 1998). Do pojmu dálkový průzkum Země je kromě snímkování zahrnuta také interpretace snímků. Z geografického hlediska můžeme tedy dálkový průzkum definovat jako získávání informací o zemském povrchu na dálku pomocí snímacích zařízení, umístěných obvykle v letadlech nebo družicích, zahrnující jak samotné snímání, tak i vyhodnocování pořízených záznamů (Čapek, 1988).

2.1.1 Elektromagnetické záření a jeho interakce s prostředím

Elektromagnetické záření, skládající se z elektromagnetických vln, je v DPZ hlavním nositelem informace. Celý princip je založen na interakci elektromagnetického záření se zkoumaným látkovým objektem a informace o průběhu této interakce udává fyzikální veličina energie výsledného záření neboli zářivá energie. (Kolář; Halounová; Pavelka, 1987)

Elektromagnetické záření vzniká při zrychleném nebo zpomaleném pohybu nabitě částice a šíří se prostorem v podobě elektromagnetických vln (Obr. 1), které se šíří rychlostí světla. Základními charakteristikami vlny jsou vlnová délka a frekvence. Vlnová délka je vzdálenost dvou sousedních vrcholů vlny a frekvence je počet vrcholů vlny procházejících fixním bodem za jednotku času. (Dobrovolný, 1998) Veškeré elektromagnetické záření, které se v přírodě vyskytuje, je obsaženo ve spojitém spektru (Obr. 2). Celé spektrum je rozděleno do několika základních druhů elektromagnetického záření podle vlnové délky nebo frekvence. V dálkovém průzkumu se využívá především vlnové délky viditelného záření (0,4 – 0,7 μm), infračerveného záření (0,7 – 1,1 μm) a mikrovlnného záření (1 mm - 1 m). (Kolář; Halounová; Pavelka, 1987)

Viditelné záření lze dále rozdělit na 3 části, a to na modré světlo (0,4 – 0,5 μm), zelené světlo (0,5 – 0,6 μm) a červené světlo (0,6 – 0,7 μm). Zdrojem tohoto záření je Slunce, proto je možné jej zaznamenávat pouze v denních hodinách. Většina družicových systémů poskytuje data ve viditelné části spektra. (Dobrovolný, 1998)

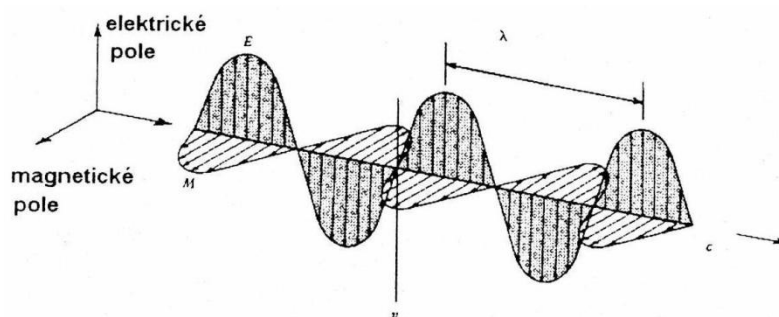
Infračervené záření se rovněž dále dělí na blízké infračervené, střední infračervené a tepelné infračervené záření. Blízké infračervené záření je pohlcováno atmosférou méně než viditelné záření a snímky jsou tak ostré s dobrým kontrastem. Je důležité zejména pro studium vegetace především v lesnictví a zemědělství. Voda se v těchto vlnových délkách chová jako absolutně černé těleso. Oblast středního infračerveného záření je důležitá především pro vegetační a geologické studie. Umožňuje dobré rozlišení druhů vegetace, rozpoznání sněhu a ledu, odlišení oblačnosti a studium zdravotního stavu vegetace. Tepelné infračervené záření se používá například ke zjišťování povrchové teploty oceánů, mapování tepelného znečištění řek a jezer i samostatné krajiny, lokalizaci požárů a podobně. (Dobrovolný, 1998)

Mikrovlnné záření ze všech uvedených nejméně závisí na počasí a může za vhodných podmínek pronikat i pod povrch. Data pořízená v oblasti tohoto záření jsou využitelná například při studiu reliéfu nebo plovoucího ledu, v lesnictví i zemědělství a řadě dalších aplikací. (Dobrovolný, 1998)

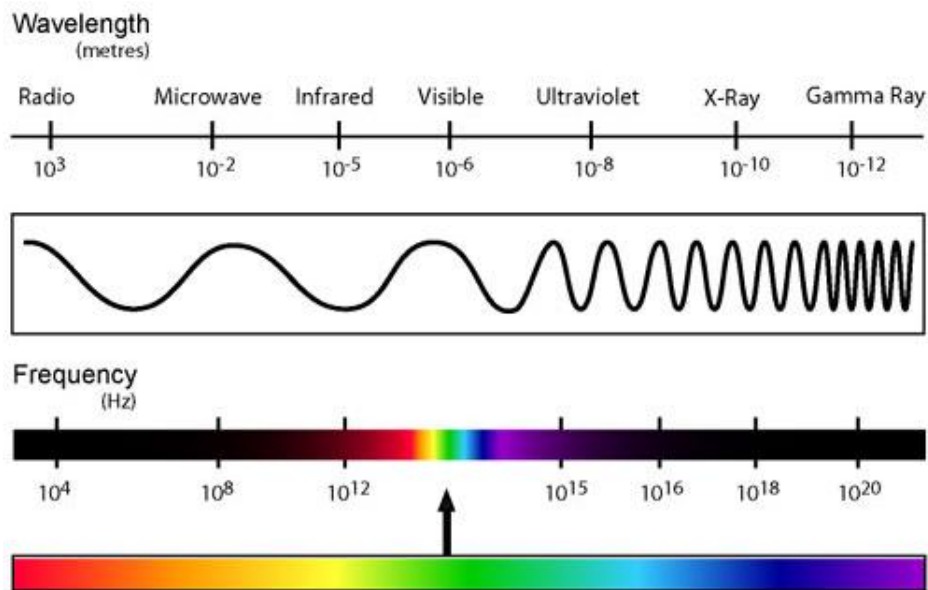
Elektromagnetické záření, které se v současné době v dálkovém průzkumu Země využívá, je většinou záření přírodní a v takovém případě hovoříme o pasivním DPZ. Při aktivních experimentech se naopak používá umělý zdroj, jehož záření se po interakci s prostředím zpětně registruje. Při pasivním DPZ se měří tepelné záření, jehož zdrojem je Slunce nebo Země. V případě aktivního dálkového průzkumu se používá především radar a prozatím v menší míře i laser. Radary vyzařují energii v pulsním režimu a vytváří tak elektromagnetické vlny. Na rozdíl od přírodního záření je záření radaru výrazně směřované do úzkého svazku. (Kolář; Halounová; Pavelka, 1987)

Pouze v homogenním prostředí se parametry elektromagnetického záření nemění, v opačném případě dochází ke změně elektrofyzikálních i geometrických vlastností záření. Výsledek změn závisí na fyzikálních vlastnostech nehomogenity. V reálném prostředí tuto změnu působí každý přírodní i umělý objekt na zemském povrchu nebo v atmosféře. Důležitou roli hraje rozhraní mezi dvěma různými prostředími, které je tvořeno povrchem objektu. Elektromagnetická vlna dopadá na povrch tělesa a následně je produkována vlna sekundární, která se od dopadající může lišit intenzitou či energií, vlnovou délkou, polarizací a směrem šíření. Pokud se sekundární vlna bude šířit do stejného prostředí, odkud záření dopadlo, je označována jako *odražené záření*. Vlna, která se bude od povrchu šířit dovnitř tělesa, může být v tělese absorbována jako *pohlčené záření*. Pokud absorpce není silná, nebo má těleso malé rozměry, vlna tělesem projde v podobě *prošlého záření*. Pokud jsou nehomogenity prostředí malé a na interakci záření se hledí jako na prostorový jev označuje se sekundární vlna jako *rozptýlené záření*. (Kolář, 1990)

Vzhledem k různé reakci elektromagnetického záření s jednotlivými materiály se na družicovém snímku jeví objekty v různých barvách. Každý takový materiál má svoji specifickou spektrální charakteristiku, která se nazývá spektrální příznak nebo indicie a je popsána v následující kapitole. (Martínek a kol., 2007)



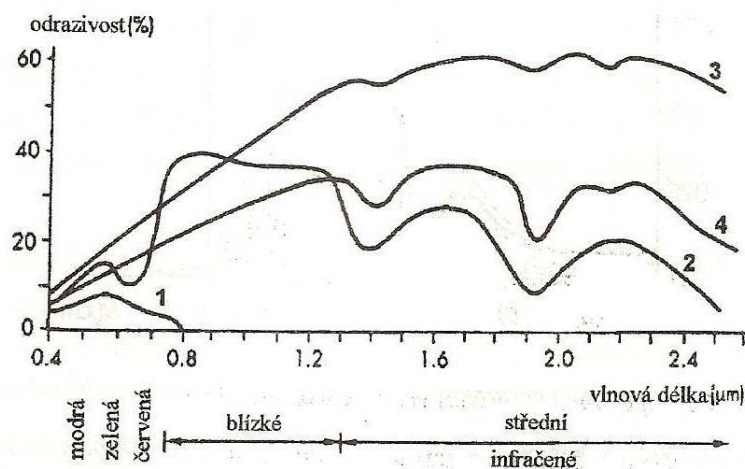
Obr. 1: Schéma elektromagnetické vlny (zdroj: Dobrovolný, 1998)



Obr. 2: Schéma elektromagnetického spektra (zdroj: Železný, 2002)

2.1.2 Spektrální projevy krajiny

Intenzita odraženého krátkovlnného záření a intenzita emitovaného dlouhovlnného záření závisí především na druhu látky či objektu (např. chemické složení), na jeho fyzikálním stavu (např. obsahu vlhkosti, zhutnění povrchu) a na stavu jeho okolí (např. propustnost atmosféry). Množství odraženého záření lze charakterizovat spektrální odrazivostí, což je poměr intenzity odraženého záření a intenzity záření dopadajícího. Každá látka na zemském povrchu má vlastní spektrální charakteristiku (Obr. 3). Projevem tohoto spektrálního chování objektů je tzv. spektrální křivka odrazivosti, která se sestavuje jako závislost mezi odrazivostí a vlnovou délkou. Spektrální křivky jsou důležité při určení vlnových délek, ve kterých budou data získávána (Dobrovolný, 1998).



Obr. 3: Obecný průběh spektrální odrazivosti vody (1), vegetace (2), suché půdy (3) a vlhké půdy (4) (zdroj: Martínek a kol., 2007)

2.1.2.1 Vegetace

Vegetace je výrazně zastoupena téměř na všech snímcích zemského povrchu. K charakteristice spektrálního chování vegetace se nejčastěji využívá odrazových vlastností listu. Spektrální křivka odrazivosti listu se dělí na tři části, a to na oblast pigmentační absorpce (0,4 – 0,7 μm), oblast buněčné struktury (0,7 – 1,3 μm) a oblast vodní absorpce (1,3 – 3,0 μm). (Dobrovolný, 1998)

Ve viditelné části záření jsou pro průběh spektrální křivky listu důležité pigmentační látky. U většiny rostlin je tímto pigmentem chlorofyl, který pohlcuje většinu záření v modrém a červeném světle. Dochází tak k tvorbě dvou absorpčních pásů, které jsou charakteristické pro *oblast pigmentační absorpce*. Mezi nimi se nachází lokální maximum odrazivosti v oblasti zelené části spektra, které je příčinou zelené barvy listů. (Kolář; Halounová; Pavelka, 1987)

Pro vegetaci je typický výrazný nárůst odrazivosti ve vlnových délkách kolem 0,7 μm . Tuto skutečnost ovlivňuje hlavně morfologie listu, která se však u jednotlivých druhů rostlin mění. V *oblasti buněčné struktury* je díky tomu možné rozlišovat jednotlivé druhy vegetace. (Dobrovolný, 1998)

V *oblasti vodní absorpce* je spektrální odrazivost formována třemi absorpčními pásy vody, jejichž středy leží přibližně na vlnových délkách 1,4 μm , 1,9 μm a 2,7 μm . Lokální maxima odrazivosti se vyskytují na vlnových délkách 1,6 μm a 2,2 μm . V této části spektra je odrazivost přibližně nepřímo úměrná obsahu vody v listu. (Dobrovolný, 1998)

Odrzivost vegetace však není formována pouze listy, ale i dalšími částmi rostlin (kmeny stromů, větve, květy, plody atd.). Odrzivost celkového vegetačního krytu je proto nižší než hodnoty odrazivosti pro „průměrný“ list. (Dobrovolný, 1998)

2.1.2.2 Voda

Voda je též nedílnou součástí krajiny a může se vyskytovat ve skupenství pevném, kapalném a plynném. Přítomnost vody v ostatních složkách krajiny výrazně mění jejich spektrální projev. (Kolář; Halounová; Pavelka, 1987)

V kapalném skupenství má voda velmi malou odrazivost ve všech vlnových délkách. Největší odrazivost připadá na viditelnou část spektra, naopak v infračervené části spektra se chová téměř jako absolutně černé těleso. Odrzivost vody roste s množstvím příměsí, které obsahuje (Dobrovolný, 1998). Jiné spektrální chování vykazuje voda v pevném skupenství. Sníh a led mají nejvyšší odrazivost ve viditelné a blízké infračervené části spektra. Podobně vysokou odrazivost mají také horní vrstvy oblaků, které jsou tvořeny ledovými krystalky. (Železný, 2002)

2.1.2.3 Půda, horniny a minerály

Půda je složená z biotických a abiotických součástí. Anorganické látky se vyznačují pozvolným vzestupem odrazivosti s rostoucí vlnovou délkou. Spektrální vlastnosti půd jsou ovlivňovány především minerálním složením, půdní vlhkostí, obsahem organických látek a texturou půdního povrchu. Obecně se celková odrazivost půd zvyšuje s rostoucí velikostí půdních částic. Vyšší vlhkost půdy způsobuje její sníženou odrazivost. Hrubé písčité půdy mají obvykle nízký obsah půdní vláhy a vyšší odrazivost na rozdíl od špatně odvodňované půdy s jemnozrnnou

strukturou, která má odrazivost nižší. V případě absence vody bude však půda projevovat opačnou tendenci. (Dobrovolný, 1998)

Proti půdám jsou horniny a především minerály objekty poměrně homogenní. Spektrální projev hornin není tak jednoznačný, jako spektrální projev minerálů. U minerálů je možné dobře lokalizovat absorpční pásy způsobené přítomností určitých chemických prvků či sloučenin. Výsledný tvar spektrální křivky odrazivosti hornin je tvarován absorpčními pásy ve spektru minerálů a jejich rozmístění je dáno chemickým složením a krystalickou stavbou. Vhodnými oblastmi spektra, ve kterých lze nejlépe charakterizovat odrazové vlastnosti hornin a minerálů jsou střední infračervené vlnové délky a také oblast termálního záření (Dobrovolný, 1998).

Přesná identifikace jednotlivých hornin a minerálů je však často problematická. Spektrální charakteristiky hornin se zatím využívají málo, více se data DPZ používají ke zjišťování geologické struktury podle jejich tvarů, které jsou pro určité horninové útvary charakteristické. (Železný, 2002)

2.2 Vybrané družicové systémy

Pro měření při dálkovém průzkumu je potřeba multispektrální skener, který se umísťuje na nosič. Umělé družice Země a pilotované kosmické lodě a laboratoře tvoří v současné době nejdynamičtější se vyvíjející skupinu nosičů pro pořizování dat. Nejedná se pouze o jednu družici, ale o několik družic, které mají podobné vlastnosti. Ty jsou pak označovány jako družicové systémy. Družice používané pro dálkový průzkum obíhají kolem Země po eliptických drahách v různých výškách a podle polohy dráhy k rovině rovníku se rozlišují tři typy oběžných drah, a to rovníkové (geostacionární), šikmé a subpolární. (Dobrovolný, 1998)

Družice s geostacionární oběžnou dráhou obíhá kolem Země v rovině rovníku. Vzdálenost je obvykle taková, že doba oběhu družice se rovná době jedné rotace Země kolem vlastní osy. Výška družice je přibližně 36 000 km. Nevýhodou takových družic je malé prostorové rozlišení, naopak výhodou je možnost snímání stále stejné části zemského povrchu. Družice s rovníkovou oběžnou dráhou se využívají zejména v meteorologii. Příkladem jsou meteorologické družice METEOSAT. (Železný, 2002)

Šikmá oběžná dráha svírá s rovinou rovníku 30° až 65° a družice po ní obíhají v nižší výšce několik stovek km. Jedná se většinou o družice s lidskou posádkou. (Železný, 2002)

Družice se subpolární dráhou oběhu se pohybují přibližně ve směru poledníků ve výšce 700-1000 km. Družice oběhnou Zemi za 24 hodin nejčastěji 12krát až 16krát. Tyto dráhy jsou synchronní se Sluncem, jelikož prolétají nad stejným místem ve stejnou hodinu místního času. Do této kategorie patří například meteorologické družice systému NOAA, družice LANDSAT nebo družice systému SPOT. (Železný, 2002)

2.2.1 Systém družic LANDSAT

Družice systému LANDSAT a obrazová data jím produkovaná jsou již od počátku 70. let nejvýznamnější zdroj informací o přírodních zdrojích Země. Tyto družice patří do kategorie družic s vysokým rozlišením. První družice tohoto systému byla vypuštěna na oběžnou dráhu v roce 1972. Všechny družice byly vypuštěny na subpolární oběžnou dráhu blížící se kruhové dráze. (Dobrovolný, 1998)

První tři družice LANDSAT 1, 2 a 3, vypuštěné v letech 1972, 1975 a 1978, byly vybavené dvěma senzory RBV a multispektrálním skenerem MSS. Druhá generace odstartovala

vypuštěním LANDSATU 4 v roce 1982 a nesla znovu multispektrální skener MSS a sedmikanálový skener TM. V současnosti stále funkční LANDSAT 5 se skenerem TM byl vypuštěn v roce 1984, obíhá na dráze o výšce 705 km, přelet nad rovníkem je pod úhlem sklonu 98,2° a každý oběh kolem Země trvá 98,9 minut. Poté následovalo vypuštění družice LANDSAT 6 v roce 1993, které se nezdařilo z důvodu havárie při startu. V roce 1999 byl vypuštěn LANDSAT 7 ETM+, který je rovněž dodnes stále funkční. Jeho funkčnost byla však snížena závadou skenovacího zrcátka, ke které došlo v roce 2003. Díky tomu je v současnosti z celé scény (185x175 km) použitelný střední pás široký přibližně 22 km. Vláda USA podnikla kroky k postavení nové družice LANDSAT 8, která by měla být vynesena na oběžnou dráhu v roce 2011. (Gisat, 200-?)

Vzhledem k prostorové rozlišovací schopnosti (30 metrů) lze obrazová data pořízená tímto družicovým systémem použít k tematickému mapování do měřítek 1 : 50 000 až 1 : 25 000. Protože tyto družice jako první poskytovaly z hlediska prostorového i spektrálního rozlišení poměrně kvalitní obrazový materiál, byla data použita téměř ve všech oblastech spojených s tematickým mapováním zemského povrchu v uvedených měřítkách. V současné době čítá archiv obrazových záznamů obrovské množství položek. (Dobrovolný, 1998)

2.2.2 Satelitní systém SPOT

Družicový systém SPOT je tvořen sérií francouzských družic vysokého rozlišení, určených pro výzkum přírodních zdrojů Země. Tyto družice vedle družic systému LANDSAT představovaly v posledním desetiletí základní zdroj obrazových dat získávaný pro nejrůznější environmentální účely od topografického mapování po vegetační studie. Družice SPOT se pohybují na subpolární oběžné dráze v průměrné výšce 822 km nad zemským povrchem. Celý systém je spravován francouzskou kosmickou agenturou. (Dobrovolný, 1998)

První družice SPOT 1 byla vypuštěna na oběžnou dráhu v roce 1986 a pohybovala se, stejně jako jeho následovníci, po subpolární dráze s periodou 26 dní. Byla vybavená senzorem HRV a v nasazení vydržela celých 7 let. V roce 1990 následoval SPOT 2, který je na oběžné dráze do současnosti. SPOT 3, stále ještě vybavený senzorem HRV, přinesl rozšířené vybavení a na dráhu se dostal v roce 1994, ale o dva roky později přestal fungovat. Radikální změnu v technologiích přinesl SPOT 4 se senzorem HRVIR vypuštěný v roce 1998. Je provozován spolu s družicemi SPOT 1 a 2, na kterých už ale nefungují záznamová zařízení. Družice SPOT 5 nesoucí senzor HRG byla vynesena na dráhu v roce 2002 a stala se poslední v řadě družic tohoto jména. (Gisat, 200-?)

Obrazová data mohou být archivována na palubě družice a vysílána při nočních přeletech. Tato data jsou přijímána na stanicích Toulouse (Francie) a Kiruna (Švédsko). Mimo to mohou být vysílána v reálném čase k zemskému povrchu a zaznamenávána pomocí celosvětové sítě 16 přijímacích stanic. (Dobrovolný, 1998)

Geometrické vlastnosti družic SPOT umožňují jejich široké využití při tvorbě map v měřítku 1 : 100 000 až 1 : 10 000, tvorbě 3D modelů měst, kontrole zemědělských aktivit, plánování a projektování liniových staveb, mapování dopravních sítí, mapování rozptýlené vegetace, monitorování povrchových dolů, skládek, rekultivace, mapování půdní eroze, tvorbě digitálního modelu terénu a tak podobně. (Gisat, 200-?)

2.2.3 FORMOSAT a QuickBird

Družici FORMOSAT-2, která byla vypuštěna na oběžnou dráhu v roce 2004, provozuje tchajwanská společnost NSPO (National Space Organization). Zatím se jedná pouze o jednu družici s velmi vysokým prostorovým rozlišením. Její oběžná dráha je geosynchronní a heliosynchronní, což umožňuje každodenní návrat nad stejné místo na Zemi za stejných světelných podmínek a úhlu záření. Navíc je jeho dráha načasovaná tak, že prolétá nad rovníkem o hodinu dříve než ostatní, čímž se zvyšuje šance na získání kvalitnějších dat s menší oblačností z rovníkové oblasti. (ARCDATA Praha, 2011) Data této družice se dají využít zejména pro zemědělské a lesnické předpovědi, vyhodnocení přírodních katastrof, analýzy využití půdy, sledování životního prostředí nebo mimo jiné i sledování pobřeží. Snímky mohou také posloužit k odhadu pojistných škod ihned po katastrofě. (Gisat, 200-?)

Družice QuickBird 2, patřící společnosti DigitalGlobe, byla vynesena na oběžnou dráhu v roce 2001. Stejně jako v předchozím případě se jedná o družici velmi vysokého rozlišení. Její předchůdkyně, QuickBird 1, měla být vypuštěna v roce 2000, ale vše skončilo nezdarem. QuickBird 2 je unikátní svojí manévrovací schopností, která umožňuje natáčení v rovině letu i napříč dráhy až o 25° a umožňuje snímání 544 km širokého pásu povrchu Země a také možnost pořizovat stereoskopické scény. Data této družice jsou vhodná například pro detailní mapování až do měřítka 1:5 000, pro 3D modely měst, urbanismus, precizní zemědělství, inventarizaci lesních porostů, mapování dopravních sítí, pojišťovnictví a pro další aplikace. (Gisat, 200-?)

2.3 Vlastnosti družicových dat

Výsledkem DPZ, který je prováděn pomocí družicových systémů, jsou družicové snímky, které mohou být pořízeny s různým typem rozlišení. Existují čtyři druhy rozlišovacích schopností, a to prostorová, spektrální, radiometrická a časová rozlišovací schopnost. (Macháčková, 2006)

Prostorová rozlišovací schopnost udává nejmenší objekt, který může být na snímku ještě rozpoznán a je dána velikostí obrazového prvku (pixelu). Velmi úzce souvisí se spektrálním chováním snímaných povrchů. Jeli spektrální chování objektu podobné jako chování jeho okolí, bude problematické jej určit i v případě, že jeho velikost bude větší než rozměr obrazového prvku (Dobrovolný, 1998). Obecně malý pixel udává velké prostorové rozlišení a velký pixel rozlišení malé (Martínek a kol., 2007). *Radiometrická rozlišovací schopnost* je dána citlivostí detektoru na sílu signálu, který je zaznamenáván. Definuje počet rozlišitelných úrovní signálu a udává se v mocninách dvou. Počet rozlišovaných úrovní může být například 64, 128, 256 (8-bitová data) nebo 1024 (10-bitová data). *Časová rozlišovací schopnost* udává, jak často poskytuje družicový systém snímky daného území. Tato schopnost je nejvyšší u družic geostacionárních, které produkují snímky každých 30 minut. Snímky stejného území v jiných časových horizontech jsou důležité při sledování a detekci změn. *Spektrální rozlišovací schopnost* udává šířku intervalu (pásma, kanálu) vlnových délek, ve které senzor zaznamenává elektromagnetické záření. Šířka kanálu může být velká, jako je tomu v případě pásma panchromatického, které zaznamenává celé viditelné spektrum, nebo naopak velmi úzká. Spektrální rozlišovací schopnost je také definována jako počet pásem, ve kterých je obrazový záznam vytvářen. (Dobrovolný, 1998)

Družicová data mají své výhody i nevýhody. Výhodou je, že najednou pokryjí obrovskou plochu, což umožňuje práci s menším počtem snímků, snímkování je rychlé a od určité rozlohy

území i levně. Oproti leteckému snímkování jsou družicové snímky zbaveny atmosférických vlivů a vibrací letadla a mohou být pořizovány za jakéhokoli počasí. Významná je také možnost pravidelně se opakujícího snímkování, které dovoluje sledovat změny v daném území. Mezi nevýhody družicových snímků patří to, že zatím není možné na jejich základě zpracovávat podrobný výškopis, a to z toho důvodu, že vliv výškových rozdílů terénu je vzhledem ke vzdálenosti družice poměrně malý. Rozlišovací schopnost je mnohonásobně menší než na leteckých snímcích a další značnou vadou je oblačnost, která se velmi špatně odlišuje od sněhu. (Čapek, 1988)

2.4 Lesní vegetace a využití dat DPZ v lesnictví

Hlavním předmětem zájmu této BP je lesní vegetace. Lesem se podle lesního zákona (1995) rozumí lesní porosty, stromy a keře lesních dřevin, s jejich prostředím a pozemky určené k plnění funkcí lesa. Pozemky určené k plnění funkcí lesa jsou podle téhož zákona pozemky s lesními porosty a plochy, na nichž byly lesní porosty odstraněny za účelem obnovy, lesní průseky a nezpevněné cesty, nejsou-li širší než 4 metry a pozemky, na nichž byly lesní porosty dočasně odstraněny na základě rozhodnutí orgánu státní správy lesů.

Česká republika patří k zemím s vysokou lesnatostí a bohatou lesnickou tradicí. Lesní pozemky v současnosti pokrývají přibližně 34 % celkového území státu a výměra lesů se od druhé poloviny 20. století soustavně zvyšuje. Pozice lesnictví stále více nabývá na významu, a to například díky tomu, že poskytuje obnovitelné suroviny pro výrobky šetrné k životnímu prostředí nebo, že reguluje erozi. Největší podíl lesů (60 %) v České republice je ve vlastnictví státu, obce vlastní přibližně 17 % a 23 % se nachází v soukromém vlastnictví. (Ministerstvo zemědělství, 2009)

Aplikace dálkového průzkumu v lesním hospodářství odpovídá důležitosti, jakou mají lesy mezi přírodními zdroji. Kromě ekonomického významu mají význam i v ekosystému krajiny. Zvláště potřebné je sledování tropických pralesů (Kolář, 1990). Dálkový průzkum, který zaznamenal od dob svého vzniku dynamický rozvoj, zasahuje do celé řady dalších oborů, mezi kterými je právě i lesnictví. Pomocí dat DPZ je možné například sledovat lesní těžbu, klasifikovat lesní druhy a typy, sledovat stav lesních porostů nebo hodnotit škody způsobené travními a lesními požáry. Družicová data našla využití v lesnických aplikacích již v devadesátých letech minulého století, díky širokému archivu družicových dat systému LANDSAT. Tehdy se využívaly zejména k mapování ve středních měřítkách, pro sledování skladby lesa a zdravotního stavu lesních porostů. K tomuto účelu jsou data družic LANDSAT velmi vhodná, protože zahrnují tři spektrální pásma z oblasti blízkého a středního infračerveného spektra. Zlepšující se prostorové rozlišení novějších dat otevírá celou řadu aplikací postavených na podrobném mapování. (Gisat, 200-?)

V lesnictví se využívají letecké snímky i družicová data, která mají oproti leteckým snímkům výhodu například v podobě vyššího spektrálního a radiometrického rozlišení. Družicové snímky s vysokým prostorovým rozlišením (př. LANDSAT) se v lesnictví využívají především k mapování rozsáhlejších lesních ploch (USA, Kanada) a u nás se pomocí těchto snímků každoročně vyhodnocuje zdravotní stav lesů a analyzuje vývoj v časové řadě od roku 1984. V poslední době se dostávají do popředí také satelitní snímky s velmi vysokým rozlišením (př. Ikonos, QuickBird). (Hájek, 2006)

2.4.1 Lesnické informační systémy

Pod pojmem lesnické informační systémy si lze představit v první řadě software pro lesní podniky. České lesnictví má mnoho slabin a jednou z největších je nízká efektivita řízení lesních podniků a nízká míra využívání informací. Zavedení informačních systémů by mělo lesním podnikům ulehčit práci například v oblasti financí, logistiky či sledování těžby a nové výsadby. Tyto informační systémy slouží k tomu, aby byly dané informace ihned k dispozici všem dalším složkám podniku a tím zároveň k jeho efektivnímu řízení. (Lesnická práce, 2000)

Lesnické informační systémy mohou také představovat databáze v geografických informačních systémech, poskytující informace o lesních ekosystémech i informace další. Příkladem je mimo jiné FRA Remote Sensing Portal (online na stránkách <http://geonetwork4.fao.org/geonetwork/srv/en/fra.home>), vytvářený organizací FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Ta na základě informací od jednotlivých zemí prezentuje současný stav světových lesních zdrojů a jejich změny v průběhu času. V této databázi je možné vyhledat a stáhnout snímky Landsat pro dané území nebo si zobrazit lesní vegetaci s rozlišením typů lesa. Databáze dále obsahuje vrstvu s globálními ekologickými zónami, pozemními ekoregiony světa, vrstvu s vektorovými hranicemi jednotlivých států světa, údaje o nadmořské výšce a vegetačních polích či informace o klimatu. (FAO, 2010)

Dalším projektem zaměřeným na hodnocení zdravotního stavu lesní vegetace je slovenský online portál Identifikácia zmien stavu lesa zo satelitných snímkov (k nalezení na webových stránkách <http://lvu.nlcsk.org/stavlesa/>). Mapová aplikace nabízí uživatelům tři úrovně informací s prostorovým rozlišením od 10 do 30 metrů. První úroveň jsou satelitní snímky zpracované pro vizuální interpretaci lesních disturbancí, druhou je kombinace družicových snímků ze dvou období pro zjednodušení vizuální interpretace změn a poslední úroveň ukazuje zdravotní stav lesa vyjádřený parametrem odlistění. Online mapa obsahuje vrstvy hranic (obvodních lesních úřadů, lesních hospodářských celků a porostů), dále vrstvu stavu lesních porostů, změny stavu lesních porostů a defoliace porostů. Tato webová aplikace je široce využívána vedením lesnických agentur i vlastníky lesů. (Barka; Bucha; Pajčík, 200-?)

3 ZPRACOVÁNÍ DAT DPZ

3.1 Korekce snímků

Při pořizování snímků působí na výsledný obraz mnoho vlivů, které mohou ovlivnit jeho kvalitu. Mezi tyto vlivy patří mimo jiné technické nedokonalosti snímacího zařízení či atmosféra nacházející se mezi senzorem a měřeným objektem. Vznikají tak chyby a nepřesnosti, které je nutné pro další využití snímků odstranit. K tomu slouží tzv. geometrické a radiometrické korekce, v rámci nichž lze rozlišit dále korekce atmosférické. (Dobrovolný, 1998)

Radiometrické korekce mají za cíl upravit digitální hodnoty obrazu tak, aby co nejvíce odpovídali skutečným odrazovým či zářivým vlastnostem objektu. Při DPZ se používají různé detektory, poloha nosiče se neustále mění stejně tak jako délka průchodu elektromagnetického záření atmosférou, projevují se také rozdíly dané ročním obdobím. Z uvedených důvodů neexistuje pro radiometrickou korekci vzorec či metoda. Radiometrická korekce nejčastěji obsahuje opravy dané kalibrací přístrojů, opravy ze změny ozáření, opravy vyplývající z geometrie letu a opravy ze stavu atmosféry. (Kolář; Halounová; Pavelka, 1987)

Atmosférické korekce, které jsou speciální složkou korekcí radiometrických, jsou složitým problémem. Atmosféra rovněž způsobuje zkreslení naměřených hodnot, které ve výsledku neodpovídají skutečnosti. Toto zkreslení je nejvíce ovlivněno procesy pohlcování a rozptylu. Nejjednodušší metodou odstranění těchto vlivů atmosféry je metoda nejtmašího pixelu. Tato metoda je založena na poznatku, že vyzařování vodních objektů je v oblasti blízkého infračerveného záření rovno téměř nule. Pokud je tedy na snímku alespoň jedna dostatečně hluboká vodní plocha můžeme pak signál přijatý senzorem považovat za příspěvek atmosféry. Tím je zjištěna hodnota atmosférické korekce, která je následně odečtena od všech hodnot obrazových prvků. (Dobrovolný, 1998)

Geometrické korekce slouží k tomu, aby obraz získal požadovaný souřadnicový systém či kartografické zobrazení a aby jej bylo možné použít jako mapu například pro měření vzdáleností a ploch. Nezpracovaná data totiž obsahují významné geometrické nepřesnosti způsobené například kolísáním výšky a rychlosti pohybu nosiče či zdánlivými změnami v poloze objektů v důsledku kolísání nadmořské výšky terénu. Pro geometrické korekce se používá proces rektifikace, který slouží k transformaci polohy všech obrazových prvků z jednoho souřadného systému do jiného. Druhým krokem transformace je tzv. převzorkování, které řeší rozdílný rozměr původních a transformovaných obrazových prvků. Po provedení rektifikace a převzorkování jsou tyto dva snímky porovnatelné. Proces transformace obrazových dat do určité kartografické projekce se označuje jako geokódování. Geokódovaná data lze poté kombinovat i s daty vektorovými ve stejné kartografické projekci. K odstranění nepřesností z různé nadmořské výšky objektů slouží tzv. ortorektifikace. (Dobrovolný, 1998)

3.2 Metody klasifikace

Klasifikace obrazu je proces, který jednotlivým obrazovým prvkům přiřazuje určité informace. Cílem je nahradit původní hodnoty radiometrických veličin hodnotami, které vyjadřují tzv. informační třídy. Informační třídy závisí na účelu projektu a jsou definovány předem. Jednotlivé prvky jsou zařazovány do informačních tříd použitím klasifikátorů. Rozlišuje se klasifikace řízená a neřízená. (Dobrovolný, 1998)

Řízená klasifikace vyžaduje nejprve sestavení základních klasifikačních tříd, které představují jednotlivé prvky legendy. Celý proces zahrnuje definování trénovacích ploch, výpočet spektrálních příznaků pro trénovací plochy charakterizující jednotlivé třídy, volbu vhodného klasifikátoru pro zařazení všech obrazových prvků do tříd, rozdělení všech obrazových prvků do klasifikačních tříd a úpravy, hodnocení a prezentace výsledků klasifikace. Cílem řízené klasifikace je na základě trénovacích ploch určit spektrální příznaky, které jsou charakteristické pro jednotlivé třídy. Na základě těch je pak do tříd zařazen každý obrazový prvek snímku. (Dobrovolný, 1998)

Neřízená klasifikace oproti řízené nevyužívá trénovacích ploch, ale zkoumá pixely ve snímku a rozděluje je do skupin na základě jejich tendence vytvářet shluky. Základním předpokladem neřízené klasifikace je, že pixely patřící do jedné třídy jsou blízko sebe a naopak pixely různých skupin jsou separované. Nalezené spektrální třídy je nutné dále upravit do předem stanovených tříd pomocí jejich agregace. (Dobrovolný, 1998)

3.3 Postklasifikační úpravy

Klasifikace probíhá pixel po pixelu a výsledek většinou nemá vyhovující podobu díky velkému množství osamocených pixelů. Osamocené pixely v obraze vznikají díky tomu, že klasifikace rozhoduje o zařazení pixelu do určité třídy pouze na základě jeho hodnoty bez ohledu na vlastnosti okolních pixelů. Pro vytvoření konečné podoby se používají právě postklasifikační úpravy, a to především vyhlazení obrazu. Vyhlazení obrazu se provádí pomocí filtrů. Nejvhodnější je použití majoritního filtru, který je založen na principu pohyblivého okna. Nejprve je určena majoritní hodnota okna. Pokud střední pixel v okně nemá hodnotu majoritní, změní se jeho hodnota na majoritní hodnotu a v případě, že v okně není majoritní třída, se jeho hodnota se nezmění. (Kolář; Halounová; Pavelka, 1987)

3.4 Hodnocení přesnosti klasifikace

Hodnocení přesnosti klasifikace není jednoduchou záležitostí, ale jedná se o nezbytnou součást klasifikačního procesu. Za chybu v klasifikaci se považuje přiřazení jiné třídy obrazovému prvku než má ve skutečnosti. Nejpoužívanější metodou k hodnocení přesnosti klasifikace je výpočet *klasifikační chybové matice*, která u všech tříd porovnává referenční data a výsledky klasifikace. (Dobrovolný, 1998)

Klasifikační matice (někdy také kontingenční tabulka) je vždy čtvercová a počet řádků a sloupců odpovídá počtu tříd. Řádky jsou tvořeny klasifikovanými daty a sloupce matice tvoří data odpovídající skutečnosti. Rozlišují se dva typy chybových matic. První typ chybové matice je založen na trénovacích datech a hodnotí pouze výsledek klasifikace trénovacích ploch. Druhý typ je objektivnější a založený na náhodném vzorkování. Zde je potřeba stanovit počet bodů, u kterých víme, do jaké třídy ve skutečnosti patří. Sloupce matice jsou pak tvořeny těmito

referenčními body. Druhý typ matice udává přesnost klasifikace celého obrazu. (Dobrovolný, 1998)

Data správně klasifikovaná se nacházejí na hlavní diagonále. V nejlepším případě by tyto hodnoty měly být nejvyšší a hodnoty mimo diagonálu by měly být nulové. Ostatní hodnoty mimo diagonálu jsou chyby. Ve sloupcích mimo hlavní diagonálu jsou chyby z opomenutí (vynechání), které udávají počet pixelů, které byly v klasifikaci opomenuty nebo vynechány. Hodnoty v řádcích udávají chyby z nesprávného zařazení a jde o počet pixelů, které byly zařazeny do tříd, do kterých ve skutečnosti nepatří. (Lillesand; Kiefer, 1994)

Přesnost klasifikace lze také vyjádřit pomocí tzv. *Kappa koeficientu*. Hodnota koeficientu porovnává klasifikaci s klasifikací vzniklou čistě náhodným zařazováním pixelů do tříd. Koeficient nabývá hodnot od 0 do 1 a například hodnota koeficientu 0,9 znamená, že v klasifikaci jsme se vyhnuli 90 % chyb, které by vznikly při klasifikaci náhodně. (Dobrovolný, 1998)

Při určování přesnosti klasifikace je důležité vědět, že kvalita odhadu přesnosti je pouze tak dobrá, jak dobré máme informace o skutečnosti. V potaz musí být brán také účel klasifikace. Cílem hodnocení přesnosti není pouze zjištění procenta správně klasifikovaných pixelů, ale také zjištění původu chyb u pixelů klasifikovaných do nesprávné třídy. (Kolář; Halounová; Pavelka, 1987)

3.5 Vegetační indexy

Vegetační indexy zahrnují jednoduché aritmetické operace s dvěma či více pásmy multispektrálního obrazu. Cílem těchto indexů je zvýraznění například vegetační složky v obraze. Vše vychází z typického spektrálního chování vegetace, podle něhož odráží zdravá nepoškozená vegetace 40 až 50 % dopadajícího záření v blízké infračervené části spektra (0,7 – 1,1 μm). Ve viditelné části spektra (0,4 – 0,7 μm) je odrazivost vegetace jen 10 až 20 % díky pohlcování záření chlorofylem. Indexy dávají do vztahu hodnoty odrazivosti právě v těchto částech spektra. Obecně lze rozlišit dva druhy vegetačních indexů, a to poměrové a ortogonální. Vegetačními indexy lze postihnout obsah vody, chemické či mechanické poškození nebo i fenofáze. (Dobrovolný, 1998)

Poměrové indexy dávají do vztahu odrazivost povrchů v červené viditelné a blízké infračervené části spektra, a to buď jednoduchým, nebo normalizovaným poměrem. Výsledky poskytují barevné rozdíly mezi povrchy, které jsou často obtížně odlišitelné ze standardního zobrazení družicového snímku. Příkladem pro data LANDSAT TM může být jednoduchý poměrový vegetační index (RVI), normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI) či index listového pokrytí (LAI). Jednoduchý poměrový vegetační index je vyjádřen jako podíl odrazivosti v blízké infračervené části spektra a odrazivosti v červené viditelné části spektra. Normalizovaný diferenční vegetační index se vypočte jako podíl rozdílu a součtu odrazivostí ve stejných spektrálních pásmech jako u předchozího indexu. NDVI může nabývat hodnot od -1 do 1, kde 1 symbolizuje velmi hustou vegetaci. Index listové pokrývky dává do poměru červené viditelné pásmo a blízké infračervené. Jedná se o kvantitativní ukazatel celkové listové plochy. Čím větší je hodnota indexu, tím více plochy daného místa zabírají listy. Poměrové indexy jsou vhodným nástrojem například ke studiu zdravotního stavu vegetace, časových změn a průběhu fenofází či odhadům výnosů zemědělských plodin. (Dobrovolný, 1998)

Ortogonální indexy se počítají jako lineární kombinace původních pásem multispektrálního obrazu. Do této skupiny patří například index PVI (perpendicular vegetation index) pomocí

kterého lze do značné míry separovat odrazivost vegetace a půdy. Hodnoty pro holou půdu vynesené do dvojrozměrného grafu mají tendenci vytvářet přímku, kdežto pixely odpovídající vegetaci se budou umisťovat nad linii půd. Na hodnotu indexu má velký vliv vlhkost půdy a drsnost povrchu. (Dobrovolný, 1998)

4 CHARAKTERISTIKA NP ČESKÉ ŠVÝCARSKO

Národní park České Švýcarsko byl vyhlášen 1. ledna 2000 jako čtvrtý národní park České republiky. Nachází se na severu Ústeckého kraje na pravém břehu řeky Labe. Jeho rozloha činí 80 km² a podél státní hranice navazuje na Národní park Saské Švýcarsko, který byl vyhlášen o 10 let dříve. Národní park má chránit především unikátní geomorfologii pískovcového skalního města a na ni vázanou rozmanitost ekosystémů, rostlinných a živočišných druhů. Území je součástí geomorfologického celku Labské pískovce a svou rozsáhlostí a minimálním osídlením (na území parku se nachází pouze jediná trvale osídlená oblast Mezná s Mezní loukou a lesní sruby Na Tokáni) nemá v Evropě obdoby. (Hartel; Šteflová; Drozd, 2007)

Geologický vývoj oblasti započal zhruba před 700 milióny lety. Nejstarší metamorfované horniny, hlubinná tělesa žul a granodioritů lužického masivu zaujímají minimální plochu povrchu území. Nejvýznamnější etapou vývoje bylo období existence svrchnokřídového moře, které pokrylo území před více než 90 milióny lety. Na dně moře se začala usazovat vrstva křídových sedimentů, která dosáhla mocnosti až přes kilometr. Po ústupu moře začaly vzniknout pískovcovou deskou přetvářet dodnes pokračující krajnotvorné procesy. Zrodila se tak krajina skalních měst, věží, stěn, roklí a soutěsek. V terciéru zde probíhala intenzivní vulkanická činnost, jejímž nejvýznamnějším pozůstatkem je dominanta Českého Švýcarska Růžovský vrch (619 m n. m.). Dle geomorfologického členění je území národního parku řazeno k Děčínské vrchovině. Velkou část parku tvoří Jetřichovické stěny, které jsou nejrozsáhlejším souvislým komplexem pískovcových skal. Na levé straně Labe najdeme bezesporu nejkrásnější skalní město Tiské stěny. Od nejnižšího bodu území, hraničního přechodu v Hřensku (116 m n. m.) se na východ táhne pás mohutných skalních stěn, jehož součástí je i Pravčická brána, která se stala symbolem a nejznámějším místem Českého Švýcarska. Vznikla boční erozi v úzkém pískovcovém ostrohu a svými rozměry (výška 16 m, šířka téměř 27 m) se stala největší pískovcovou bránou v Evropě. Jihozápadní část NP je tvořena okrajem Děčínských stěn. Nad hlubokými soutěskami říčky Kamenice se zdvihá nejvyšší bod obou národních parků Růžovský vrch. (Správa Národního parku České Švýcarsko, 200-?)

Bohatství fauny a flóry je podmíněno mnoha faktory, mezi které patří především geologická a geomorfologická stavba, oslunění svahů a vysoké procento lesů (95 %), které NP pokrývají. Květena je nejpestřejší v místech průniků vulkanitů, podél potoků a mokřadů. Najdeme zde i chladnomilné a horské druhy, a to díky klimatické inverzi, která v hlubokých roklích hromadí studený vzduch. K nejvzácnějším druhům patří violka dvoukvětá, čípek objímavý či plavuň pučivá. Nejtypičtější květenou Českého Švýcarska se stal nepůvodní náprstník červený. Národní park je také plný mechorostů, kterých zde bylo objeveno více, než 300 druhů z toho 71 je vzácných a zařazených do červené knihy. Fauna je v NP stejně bohatá, jako jeho květena. Její složení je z velké části ovlivněno působením člověka, který se zasloužil o vyhubení četných druhů jako je medvěd hnědý, vlk, kočka divoká, los evropský či tetřev hlušec. Ve zdejších lesích můžeme potkat například jelena evropského, prase divoké, srnce obecného, nepůvodního muflona a kamzíka a ojediněle i rysa ostrovida. Na vodních tocích najdeme vydru říční či bobru evropského a z rybí říše je zde významný losos obecný, který se navrátil do řeky Kamenice díky

záchrannému programu. Z ptactva můžeme vidět mimo jiné čápa černého a orla mořského, který sem pravidelně přilétá. Národní park se pyšní také obrovskou pestrostí hmyzu. Byl zde objeven například chrobák černý, který jinde v ČR nežije a daří se zde i vzácné kobylce horské, kterou rovněž nenajdeme nikde jinde v naší republice. (Patzelt, 2004)

4.1 Péče o lesy v národním parku

Jak už bylo zmíněno, lesy pokrývají většinou část NP, a proto je péče o ně nejdůležitější činností správy národního parku. Dnes na tomto území převládají smrkové monokultury založené člověkem a původní lesy zde najdeme pouze výjimečně. Na většině pískovců mají přirozené stanoviště kyselé bučiny nejen s bukem lesním, ale je zde i smrk ztepilý a vzácná jedle bělokorá. Na vrcholových plošinách se nacházejí borové doubravy. Kyselé bory s borovicí a břízou bělokorou najdeme na skalních okrajích. Vzácné zbytku lužního lesa se nacházejí podél vodních toků a na úrodných půdách čedičových vyvěřelin se daří květnatým bučinám s lípou srdčitou, javorem klenem, jasanem ztepilým nebo jilmem horským. Velmi časté druhy dřevin jako je například borovice vejmutovka nebo modřín opadavý zde vysadil člověk. (Patzelt, 2004)

V pravěku bylo území parku pokryto souvislým hvozdem a dřevo bylo používáno především jako palivo. Spotřeba byla tehdy omezená a neovlivňovala skladbu a obnovu lesa. S kolonizací krajiny na přelomu 12. a 13. století docházelo v blízkosti trvalých sídel k přetěžování a vzniku světlin. Reakcí na to byla změna přirozené skladby lesa na světlomilnější druhy. Díky nedostatku zemědělské půdy lidé zakládali paseky, což vedlo k degradaci půdy a snížení obnovy schopnosti lesa. V 16. století začal být les využíván jako producent dřeva. K rozvoji obchodu se dřevem přispěla vysoká poptávka v Sasku a dobrá doprava po Labi. Těžba dřeva logicky vedla k následnému zalesňování, které způsobilo proměnu druhové skladby a výskyt monokulturních porostů, které byly nestabilní a často podléhali živelným pohromám od polomů při bouřích přes škody způsobené sněhovými kalamitami až po mniškovou kalamitu, která vyvrcholila ve 20. letech 20. století. Po roce 1945 převzal péči o lesy stát a s vyhlášením NP v roce 2000 vznikl i nový plán na obnovu lesů, který by měl vést k obnově původní skladby i věkové struktury lesa. (Patzelt; Belisová; Hartel; Kolářová, 2004)

Díky skalnaté krajině došlo na mnoha nepřístupných místech k zachování téměř nedotčených přirozených lesů. Místa člověku přístupná byla však v minulosti intenzivně využívána k vypěstování velkého množství dřeva. K tomuto účelu byly na velkých plochách uměle vysazovány monokultury často nepůvodních a rychle rostoucích druhů jako borovice vejmutovka, modřín opadavý či dub červený. Uvedené introdukované dřeviny se šíří do přirozených lesů, ale pouze borovice vejmutovka vykazuje invazivní chování, které představuje velký problém. V posledních desetiletích bylo zaznamenáno její masivní šíření, které má mnoho důsledků. Díky hustému porostu vejmutovky dochází k zastínění a spolu s následkem tvorby silné vrstvy opadu dochází až k totální likvidaci bylinného a mechového patra v přirozených lesích. Borovice vejmutovka je dokonce schopna osidlovat i kolmé skalní stěny. Z těchto důvodů je velmi důležitá redukce této dřeviny. Cílem Správy Národního parku České Švýcarsko je tedy zachovat přirozené lesy tam kde se dochovaly a napomoci je obnovit tam, kde byly pozměněny lidskou činností. Tento proces bude díky velké ploše lesních porostů v NP trvat desítky let. (Patzelt; Belisová; Hartel; Kolářová, 2004)

5 DATA A METODIKA

5.1 Použitá data

Stěžejními daty této BP jsou družicové snímky vysokého a velmi vysokého rozlišení. Pro sledování změn lesní vegetace byly bezplatně získány snímky z družic LANDSAT, FORMOSAT a QuickBird. V následujících kapitolách je uvedený stručný popis těchto družicových dat.

Data LANDSAT byla stažena z webových stránek organizace USGS, kde jsou tato data po zaregistrování volně dostupná. Program LANDSAT je společným úsilím US Geological Survey (USGS) a Národního úřadu pro letectví a kosmonautiku (NASA). Tato data jsou využívána vládou, obchodními, průmyslovými, civilními, vojenskými a vzdělávacími organizacemi nejen ve Spojených státech, ale po celém světě. Jsou vhodné pro výzkum globálních změn, zemědělství, lesnictví, geologii, geografii, mapování či oceánografii. USGS shromáždil přes 300 000 scén, které pokrývají celou Zemi a více než 30 % z nich je pokryto oblačností pouze na 10 % a méně (USGS, 2003). Pro vyhledání snímků byl použit prohlížeč New EarthExplorer (<http://edcsns17.cr.usgs.gov/NewEarthExplorer>), do kterého bylo zadáno požadované území a typ družice LANDSAT. Pro území NP České Švýcarsko bylo nazeleno desítky dat, ale jejich kvalita nebyla vždy vyhovující. Vybrány byly takové snímky, které pokrývají celé sledované území, mají nízkou oblačnost a zachycují stav k letnímu období, kdy je vegetace ve vrcholném stádiu. Použity byly tedy snímky z družice LANDSAT 5 z roku 2009 a z družice LANDSAT 7 z let 1999 a 2002. Snímek z roku 1999 byl pořízený 15. září, snímek z roku 2002 28. srpna a poslední snímek z roku 2009 byl pořízen 1. srpna. LANDSAT 5, vybavený senzorem TM, má 7 spektrálních pásem a LANDSAT 7 se senzorem ETM+ má spektrálních pásem 8 (Gisat, 200-?). Přehled spektrálních pásem, jejich vlnových délek a prostorového rozlišení je uveden v tabulce 1. Družicové snímky LANDSAT jsou poskytovány ve formátu GeoTIFF, ve kterém je každé pásmo uloženo jako samostatný soubor typu TIFF. Složka rovněž obsahuje metadata k danému snímku a právě z těch bylo zjištěno, že všechny snímky byly ortorektifikovány a byly umístěny do souřadnicového systému UTM s referenčním elipsoidem WGS 84.

Vedle dat LANDSAT byla použita data družice FORMOSAT-2. Ta byla získána na základě schváleného výzkumného projektu zaslaného do mezinárodní iniciativy Planet Action (<http://www.planet-action.org/web/3-home.php>), která byla založena v roce 2007. Hlavním partnerem této organizace je společnost Spot Image, která je poskytovatelem satelitních snímků. Planet Action se zabývá podporou projektů, které se zaměřují na výzkum životního prostředí a klimatických změn pomocí dat DPZ (Planet Action, 200-?). Na základě vypracovaného projektu a písemné žádosti byla získána data FORMOSAT-2 z roku 2006 a 2009. Snímek z roku 2009 ovšem zachycuje pouze malou západní část NP, a proto nebyl pro práci použit. Snímek z roku 2006 byl pořízený 12. června. Data byla poskytnuta ve formátu ZIP, který obsahoval kromě snímku v souboru typu TIFF také jeho náhled v podobě JPEG a metadata. Snímek z roku 2009 byl již společností ortorektifikován a umístěn do souřadnicového systému UTM s referenčním elipsoidem WGS 84. Druhý snímek z roku 2006 obsahuje téměř celé území

NP, ale nebyl umístěn do souřadnicového systému a bylo nutné jej georeferencovat. Snímky byly pořízeny družicí FORMOSAT-2 vybavenou senzorem MS (multispektrální) a PAN (panchromatický). MS senzor snímá ve 4 spektrálních pásmech, které jsou uvedeny v tabulce 1 společně s vlnovými délkami a prostorovým rozlišením. Senzor PAN snímá v jediném spektrálním pásmu v rozsahu 0,45 – 0,9 μm s prostorovým rozlišením 2 m (Gisat, 200-?).

Jako poslední byly použity snímky z družice QuickBird poskytnuté společností Digital Globe (<http://www.digitalglobe.com/index.php>). Digital Globe je poskytovatelem vysoce kvalitních snímků Země s velmi vysokým prostorovým rozlišením. Družice QuickBird se pohybuje ve výšce 450 km a je vybavena jak čtyřpásmovým senzorem MS, tak senzorem PAN. Přehled pásem je uveden v tabulce 1 i s prostorovým rozlišením a vlnovými délkami. Prostorové rozlišení u panchromatického senzoru dosahuje nadstandardní hodnoty mezi civilními družicemi 60 cm. Data QuickBird jsou vhodná například pro detekci změn, analýzu obrazu i pro tvorbu map a díky vysoké kvalitě obrazu má velmi široké využití (Digital Globe, 2011). Pro tuto BP byl použit snímek z roku 2009, který byl pořízený 13. dubna. Snímek byl ortorektifikován a umístěn do souřadnicového systému UTM s referenčním elipsoidem WGS 84. Bohužel však scéna nepokrývá celé území NP České Švýcarsko.

Dalšími použitými daty byl shapefile s hranicemi NP České Švýcarsko ve vektorové podobě v souřadnicovém systému JTSK a Lesní hospodářský plán platný od roku 2007 do roku 2016, který byl poskytnut ve formě geodatabáze. Oba datové zdroje byly získány od Mgr. Oldřicha Holešínského správce GIS ze Správy Národního parku České Švýcarsko.

Tab. 1: Přehled spektrálních pásem použitých družicových dat

LANDSAT 5 (senzor TM)			
	spektrální pásmo	vlnová délka [μm]	prostorové rozlišení [m]
1	viditelné modré	0,45 – 0,52	30
2	viditelné zelené	0,52 – 0,6	30
3	viditelné červené	0,63 – 0,69	30
4	blízké infračervené	0,76 – 0,9	30
5	blízké infračervené	1,55 – 1,75	30
6	termální	10,42 – 12,5	120
7	střední infračervené	2,08 – 2,35	30
LANDSAT 7 (senzor ETM+)			
	spektrální pásmo	vlnová délka [μm]	prostorové rozlišení [m]
1	viditelné modré	0,45 – 0,52	30
2	viditelné zelené	0,52 – 0,6	30
3	viditelné červené	0,63 – 0,69	30
4	blízké infračervené	0,76 – 0,9	30
5	blízké infračervené	1,55 – 1,75	30
6	termální	10,42 – 12,5	60
7	střední infračervené	2,08 – 2,35	30
8	panchromatické	0,52 - 0,9	15
FORMOSAT-2 (senzor MS)			
	spektrální pásmo	vlnová délka [μm]	prostorové rozlišení [m]
1	viditelné modré	0,45 – 0,52	8
2	viditelné zelené	0,52 – 0,6	8
3	viditelné červené	0,63 – 0,69	8
4	blízké infračervené	0,76 – 0,9	8
QuickBird (senzor MS)			
	spektrální pásmo	vlnová délka [μm]	prostorové rozlišení [m]
1	viditelné modré	0,45 – 0,52	2,4
2	viditelné zelené	0,52 – 0,6	2,4
3	viditelné červené	0,63 – 0,69	2,4
4	blízké infračervené	0,76 – 0,9	2,4

Zdroj: Gisat, 200-?

5.2 Využitý software

K vypracování BP byly nejvíce využívány programy Geomatica verze 9.1 a ArcGIS verze 9.3. Program Geomatica 9.1 byl vytvořen společností PCI Geomatics, která byla založena v roce 1982. Tento software je vhodný ke zpracování obrazových dat dálkového průzkumu Země či fotogrammetrie (PCI Geomatics, 2011). V mém případě byl program použit pro počáteční zpracování dat, které zahrnovalo spojování jednotlivých pásem do souboru typu PCIDSK, ořezávání snímků hranicemi území a georeferencování jednoho ze snímků. Dále byl software využit pro samotné zpracování dat, tedy pro klasifikaci, určení NDVI a export výstupů do formátu GeoTIFF, který byl dále použitelný v programu ArcGIS 9.3. Nejvíce byl využíván modul Focus a pro georeferencování i modul Ortho Engine. ArcGIS 9.3, poskytovaný společností ESRI, se uplatňuje v mnoha oborech. Je vhodný zejména pro správu geografických dat, plánování a analýzy a tvorbu mapových výstupů. Tento software je využíván v mnoha organizacích, které se zabývají například dispečinkem, monitorováním a sledováním určitých jevů, sběrem dat či vizualizací těchto dat a tvorbou mapových výstupů (ESRI, 2010). V programu ArcGIS byly provedeny transformace mezi jednotlivými souřadnicovými systémy a zejména pak tvorba mapových výstupů. Nejvíce byly využívány moduly ArcMap a ArcCatalog. Kromě výše uvedených programů byl dále použit Microsoft Office Word 2007 a Microsoft Office Excel 2007. Tyto programy byly využity zejména pro textovou část BP a tvorbu tabulek.

5.3 Předzpracování dat

U získaných družicových dat bylo potřeba provést několik úprav pro jejich pohodlnější další zpracování. Data LANDSAT byla poskytnuta ve formátu GeoTIFF, ve kterém bylo každé pásmo uloženo samostatně v souboru typu TIFF. Z důvodu pohodlnější práce s daty bylo nutné tato pásma spojit do jednoho souboru typu PCIDSK. K tomu byl použit program Geomatica modul Focus a konkrétně funkce Data Merge. Při této operaci byla vybrána vstupní pásma, zadán název a umístění výstupního souboru PCIDSK, zvolen souřadnicový systém UTM s referenčním elipsoidem WGS 84 a ponechána velikost pixelu 30 m. U dat z družice LANDSAT 5 byla použita všechna spektrální pásma, kromě pásma termálního a u dat LANDSAT 7 nebylo použito pásmo termální a panchromatické. Všechna použitá spektrální pásma měla stejné prostorové rozlišení 30 m, které zůstalo ponecháno. Získané soubory PCIDSK pokrývaly velké území a pro přehlednější práci s nimi bylo přistoupeno k jejich ořezání podle hranic NP České Švýcarsko. K tomu, aby mohl být shapefile s hranicemi NP použit, musel být nejprve transformován ze souřadnicového systému JTSK do systému UTM. Transformace proběhla v programu ArcGIS modul ArcMap pomocí funkce Project, do které byl zadán nový souřadnicový systém WGS_1984_UTM_Zone_33N. Poté mohly být snímky ořezány v programu Geomatica podle transformované vektorové vrstvy hranic NP.

Data družice QuickBird z roku 2009 byla poskytnuta ve formátu TIFF, který již obsahoval všechna spektrální pásma. Snímky byly navíc již ořezány generalizovanými hranicemi NP. U těchto dat proto nebyly nutné žádné další úpravy a mohla být okamžitě zpracována.

Scéna z družice FORMOSAT-2 byla rovněž ve formátu TIFF, který zahrnoval všechna spektrální pásma. Funkce Data Merge proto mohla být vynechána. Snímek z roku 2006 však nebyl umístěn do souřadnicového systému UTM a bylo nutné jej georeferencovat. K tomuto účelu byl zvolen program Geomatica modul Ortho Engine, ve kterém byl založen nový projekt.

Transformace byla provedena na základě sběru vlícovacích a kontrolních bodů, které byly voleny tak, aby byly jednoznačně identifikovatelné jak na snímku z roku 2006 tak na druhém snímku z roku 2009, který již v souřadnicovém systému UTM umístěn byl. Nasbíráno bylo 8 vlícovacích a 4 kontrolní body a byla provedena transformace, jejíž výsledky a přesnost jsou uvedeny v tabulce 2. Poté byla scéna opět oříznuta hranicemi NP.

Podle informací od poskytovatelů prošly všechny použité družicové snímky radiometrickými i geometrickými korekcemi, které zajistily jejich polohovou přesnost. Provedení geometrických korekcí bylo zkontrolováno vizuálně tak, že byly na všech snímcích nalezeny jednoznačně identifikovatelné objekty a porovnána jejich poloha. Ve všech případech poloha objektu souhlasila, což provedení geometrických korekcí potvrdilo. Provedením všech výše uvedených úprav byla data připravena k dalšímu zpracování.

Tab. 2: Přehled výsledků georeferencování snímku FORMOSAT-2 z roku 2006

Residual Error Report									
Residual Units: Image Pixels									
Residual Info for 2 Images:									
GCPs:		8		X RMS 0.59				Y RMS 1.06	
Check Points:		4		X RMS 1.50				Y RMS 0.90	
Point ID	Res	Res X	Res Y	Type	Photo ID	Photo X	Photo Y	Comp X	Comp Y
G0001	1.55	0.95	1.22	GCP	IMAGERY	105.5	232.1	106.4	233.3
G0002	0.14	-0.03	-0.14	GCP	IMAGERY	526.3	2652.0	526.2	2651.9
G0003	1.34	0.48	1.25	GCP	IMAGERY	2827.2	2819.5	2827.6	2820.7
G0004	0.69	-0.35	-0.60	GCP	IMAGERY	2875.8	373.4	2875.4	372.8
G0005	1.16	-0.51	-1.05	GCP	IMAGERY	1214.9	453.3	1214.4	452.2
G0006	1.57	-0.06	-1.56	GCP	IMAGERY	1754.4	2494.8	1754.3	2493.2
G0007	1.43	1.26	-0.68	Check	IMAGERY	818.0	1142.5	819.3	1141.9
G0008	1.74	1.69	-0.38	Check	IMAGERY	1358.7	2064.2	1360.4	2063.8
G0009	1.34	1.04	-0.84	Check	IMAGERY	2711.0	429.5	2712.1	428.6
G0010	1.52	1.09	-1.06	Check	IMAGERY	2775.5	2503.2	2776.6	2502.1
G0011	1.03	0.40	0.96	GCP	IMAGERY	2295.4	1351.1	2295.8	1352.1
G0012	0.87	-0.87	-0.08	GCP	IMAGERY	694.6	1730.9	693.7	1730.8

5.4 Tvorba klasifikačního systému

Před samotnou klasifikací je potřeba definovat klasifikační systém, který bude pro klasifikaci použit. Při tvorbě klasifikačního systému bylo nutné zohlednit charakter zájmového území a také vlastnosti použitých dat. Pro klasifikaci byla použita data s vysokým prostorovým rozlišením LANDSAT a také data s velmi vysokým prostorovým rozlišením FORMOSAT a QuickBird. Klasifikace byla provedena na datech LANDSAT s prostorovým rozlišením 30 m, FORMOSAT s prostorovým rozlišením 8 m a QuickBird s rozlišením 2,4 m. Vzhledem k charakteru zájmového území, které je na 95 % pokryto pouze lesní plochou, byl zvolen poměrně nízký počet klasifikačních tříd land cover.

Pro snímky LANDSAT byl zvolen klasifikační systém obsahující 5 kategorií land cover. První tři kategorie zahrnují lesní plochy, které pokrývají většinou část území NP. Lesní plochy jsou dále rozděleny podle druhovostního složení na listnaté lesy, smíšené lesy a jehličnaté lesy. Čtvrtou kategorií jsou louky a pastviny, které pokrývají malou část území. Nacházejí se zejména v oblasti jediné obce Mezná, která je obklopena Mezní loukou. Do této kategorie byly zařazeny i lesní holiny a paseky. Poslední třídou krajinného pokryvu jsou ostatní plochy, které zahrnují nesouvislou zástavbu, skály a křoviny. Tato kategorie byla zvolena jako

ostatní proto, že ze snímků LANDSAT není možné tyto povrchy klasifikovat jednotlivě z důvodu nižšího prostorového rozlišení.

U snímků FORMOSAT a QuickBird byl zvolen klasifikační systém obsahující rovněž 5 tříd krajinného pokryvu. Lesní plocha byla rozdělena na 3 kategorie, a to opět na listnatý, smíšený a jehličnatý les. Dále byla zvolena třída louky a pastviny, která zahrnuje i lesní holiny a paseky. Poslední třídou krajinného pokryvu je ostatní plocha, která zahrnuje nesouvislou zástavbu, skály a křoviny. Vzhledem k vyššímu prostorovému rozlišení těchto dat by se nabízela volba vyššího počtu kategorií. Problémem ovšem je charakter území NP České Švýcarsko. Nesouvislou zástavbu nebylo možné vyčlenit samostatně v důsledku prostorového rozlišení této kategorie. Z toho důvodu byl počet kategorií u snímků FORMOSAT a QuickBird zvolen stejný jako u dat LANDSAT.

Všechny zvolené kategorie klasifikačního systému vychází z vlastností dat a území. Výraznou roli při jeho stanovení hrál charakter NP České Švýcarsko, jehož území je téměř celé pokryto lesy.

5.5 Klasifikace a postklasifikační úpravy výsledků

Pro zjištění land cover v zájmovém území byla použita metoda klasifikace družicových snímků. V programu Geomatica modu Focus byly u všech snímků vyzkoušeny oba druhy klasifikace, a to jak řízená (supervised), tak neřízená (unsupervised). Jako vhodnější se jevila metoda neřízené klasifikace, jejíž výsledky po agregaci lépe vystihovaly skutečný stav land cover. U všech snímků byla tedy použita neřízená klasifikace (unsupervised) v jejímž prvním kroku bylo třeba definovat vstupní pásma (Input Channels) a pásmo výstupní (Output Channel). U snímků LANDSAT do klasifikace vstupovalo všech 6 spektrálních pásem a navíc bylo přidáno 7. a 8. spektrální pásmo, z nichž bylo sedmé použito jako výstupní. U snímků FORMOSAT a QuickBird byly jako vstupní označena všechna 4 spektrální pásma a dále bylo přidáno 5. a 6. pásmo. Za výstupní bylo zvoleno 5. pásmo. Všechna dostupná pásma byla do klasifikace zařazena z toho důvodu, že jsou důležitá pro klasifikaci vegetace a jejího druhovostního složení. Pro vegetaci je typický výrazný nárůst odrazivosti ve vlnových délkách kolem 0,7 μm . V oblasti buněčné struktury (0,7 – 1,3 μm) je tak možné rozlišovat jednotlivé druhy vegetace například druhovostní složení lesa. Z tohoto důvodu bylo zařazeno 4. blízké infračervené pásmo (0,76 – 0,9). Lokální maxima odrazivosti u vegetace se nacházejí také na vlnových délkách 1,6 μm a 2,2 μm a tato odrazivost závisí na obsahu vody v listech. V případě dat LANDSAT bylo do klasifikace zařazeno také pásmo 5. (1,55 – 1,75 μm) a 6. (2,08 – 2,35 μm). U žádných ze vstupních pásem se nenašla taková výrazná korelace hodnot, aby se vyloučil vstup do klasifikace některého z nich. Další krok spočíval v definování algoritmu klasifikace. U všech snímků byly vyzkoušeny všechny tři programem nabízené algoritmy (K-Means, Fuzzy K-Means, IsoData). Pro snímky LANDSAT a FORMOSAT byl jako nejvhodnější zvolen algoritmus K-Means s počtem tříd 10. U snímku QuickBird byl zvolen algoritmus IsoData rovněž s 10 třídami. Po nastavení všech potřebných parametrů byla provedena klasifikace a uloženy její protokoly automaticky generované programem (Classification Report).

Výsledky neřízené klasifikace bylo nutné dále zpracovat pomocí postklasifikačních úprav (Post-classification Analysis). Jako první bylo u všech snímků provedeno slučování tříd (Aggregation). Nejprve bylo opět nutné nastavit vstupní a výstupní pásmo. U snímků LANDSAT bylo zvoleno jako vstupní 7. pásmo a jako výstupní 8. pásmo. U snímků

FORMOSAT a QuickBird bylo 5. pásmo zvoleno jako vstupní a 6. pásmo jako výstupní. Poté bylo třeba sloučit všech 10 tříd do předem zvoleného klasifikačního systému s 5 třídami. Slučování tříd proběhlo zejména na základě interpretace barevných syntéz družicových snímků. Využita byla syntéza v přirozených barvách 3, 2, 1 a syntéza v nepravých barvách 4, 3, 2, na základě které bylo dobře patrné druhovostní složení lesa. Kromě barevných syntéz byly využity také ortofotomapy dostupné na serveru *Mapy.cz* a lesní hospodářský plán, který rovněž poskytl informace o druhovostním složení lesa. Výsledné třídy byly uloženy do výstupního pásma (Apply to Output Channel).

V klasifikovaných snímcích se po sloučení tříd nacházelo velké množství osamocených pixelů, proto bylo u všech snímků přistoupeno k filtrování výsledného obrazu nízkofrekvenčním filtrem (Low Pass). Opět byly vyzkoušeny různé velikosti filtru i všechny jeho typy (Average, Median, Mode). Pro snímky LANDSAT a QuickBird byl zvolen typ filtru Median o velikosti 5 x 5 a u snímku FORMOSAT byl zvolen stejný typ filtru s velikostí 9 x 9. Filtrované obrazy všech klasifikovaných snímků byly uloženy do souborů typu TIFF.

5.5.1 Hodnocení přesnosti klasifikace

U provedených klasifikací je nutné zjistit jejich přesnost. Pro hodnocení přesnosti klasifikace byla zvolena metoda chybové matice. Tato metoda využívá kontrolní body, které jsou zpětně přiřazovány do jednotlivých tříd LC. Dle Lillesanda a Kiefera (1994) by měl být počet bodů pro každou kategorii minimálně 50. Záleží ovšem i na velikosti zájmového území. Při stanovení počtu kontrolních bodů byla tedy brána v úvahu menší rozloha NP (80 km²) a plocha tříd LC, která byla ve dvou případech tak malá, že kontrolních bodů bylo zvoleno méně než 50. Pro každou klasifikaci byl vytvořen vektorový soubor typu shapefile, který obsahuje kontrolní body. Tyto soubory byly vytvořeny v programu ArcGIS modul ArcCatalog a následně načteny do modulu ArcMap. Spolu s vrstvami bodů byly načteny také družicové snímky, ze kterých byly prováděny klasifikace a ortofotomapy z mapového serveru *geoportal.cenia.cz*. Poté bylo zvektorizováno celkem 230 bodů pro každý snímek (20 pro louky a pastviny, 50 pro listnaté lesy, 70 pro smíšené lesy, 80 pro jehličnaté lesy a 10 pro ostatní plochy). Body byly rovnoměrně rozloženy do všech tříd land cover. Do atributové tabulky byly u všech vektorových vrstev doplněny 3 sloupce. První sloupec LC udává třídu, kterou daný bod reprezentuje. Do zbylých dvou sloupců X a Y byly vygenerovány souřadnice kontrolních bodů pomocí funkce Calculate Geometry. Po vytvoření všech vektorových souborů typu shapefile, byly tyto soubory načteny do programu Geomatica modul Focus společně s klasifikovanými družicovými snímky. Poté byly soubory shapefile exportovány do družicových snímků jako jejich další vrstva pomocí funkce Export to Existing File.

Přesnost klasifikací byla počítána pro každý přefiltrovaný výsledek klasifikace zvlášť pomocí funkce Accuracy Assessment. V dialogovém okně této funkce byla zvolena možnost načtení kontrolních bodů z vektorové vrstvy (Samples from Vector Segment). Na závěr byly vygenerovány chybové matice klasifikací a jejich protokoly s přesností, které jsou uvedeny v přílohách 3 až 7.

5.6 Tvorba vektorových vrstev ze získaných výsledků

Aby bylo možné zjistit změny land cover, bylo nutné převést rastrové výsledky klasifikace do vektorové podoby. K převodu byl použit program ArcGIS modul ArcMap. Do tohoto programu byly načteny všechny výsledky klasifikace ve formátu TIFF, které již byly vyhlazeny nízkofrekvenčním filtrem. K převodu byla použita funkce Raster to Polygon, která se nachází v ArcToolbox mezi Conversion Tools. V dialogovém okně této funkce byl vždy zvolen vstupní rastr a cesta, kam má být umístěn výsledný vektorový soubor typu shapefile. Kromě toho byla zvolena možnost Simplify polygons, která zajišťuje vyhlazení hranic polygonů. Pokud by tato funkce použita nebyla, tvar polygonů by kopíroval hranice jednotlivých pixelů. Tímto způsobem byly převedeny soubory TIFF obsahující výsledky klasifikací na vektorové vrstvy.

U vytvořených vektorových souborů byly dále provedeny úpravy atributové tabulky, do níž byly přidány 2 nové sloupce. Jako první byl přidán sloupec PLOCHA, do kterého byly pomocí funkce Calculate Geometry spočítány výměry jednotlivých polygonů. Do druhého sloupce byly přidány číselné kódy jednotlivých tříd LC pomocí funkce Field Calculator (1 = louky a pastviny, 2 = listnaté lesy, 3 = smíšené lesy, 4 = jehličnaté lesy, 5 = ostatní plochy). Tím byla data připravena pro zjištění změn LC.

5.7 Zjištění stavu a změn land cover

Zjištění stavu land cover bylo provedeno vypočtením rozlohy jednotlivých kategorií ve sledovaných letech. Tyto výpočty byly provedeny v programu Microsoft Excel, do kterého byly exportovány atributové tabulky jednotlivých výsledků klasifikací. Do výpočtů nemohly být zařazeny výsledky klasifikace ze snímků FORMOSAT a QuickBird, protože nepokrývají celé sledované území. Tím byla zjištěna plocha všech tříd v km² a také jejich procentuelní podíl na ploše celkové. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.

Změny LC mezi jednotlivými časovými horizonty byly hodnoceny dvěma způsoby. Nejprve byl porovnán procentuelní podíl a plocha jednotlivých tříd ve sledovaných letech. Z předem vypočtených hodnot bylo zjištěno, zda mezi danými lety došlo k úbytku či nárůstu určité kategorie land cover. Změny LC byly zjišťovány také pomocí překryvů jednotlivých vrstev. Překryvy opět nemohly být provedeny na snímcích FORMOSAT a QuickBird, protože neobsahovaly celé území na rozdíl od snímků LANDSAT. V programu ArcGIS modul ArcMap byl tedy proveden překryv výsledné vrstvy z roku 1999 a 2002 a následně překryv vrstvy z roku 1999 a 2009. K tomuto účelu byla použita funkce Intersect nacházející se v Toolbox mezi analytickými nástroji Overlay. V dialogovém okně této funkce byly vybrány vstupní soubory, které budou porovnávány, dále umístění výstupního souboru typu shapefile a také XY tolerance, která byla nastavena na 30 m. Tato tolerance by měla eliminovat některé chyby vzniklé špatným zařazením pixelů umístěných na hranicích jednotlivých tříd a také polohové nepřesnosti snímků. Po provedení obou překryvů byly do atributových tabulek výsledných vrstev doplněny 2 sloupce. Do prvního byla spočtena rozloha nově vzniklých polygonů pomocí funkce Calculate Geometry. Do druhého sloupce bylo spočteno číslo, které vyjadřuje, zda se jedná o polygon změněný či stabilní. Hodnota byla spočtena podle tohoto vzorce: kód třídy polygonu v roce 2009(2) * 100 + kód třídy polygonu v roce 1999. Podle podoby výsledného čísla zjistíme, které polygony se změnilly a které zůstaly nezměněné. Bude-li hodnota začínat i končit na stejné číslo, polygon se nezměnil. Na základě těchto hodnot byly pak smazány polygony, u kterých nedošlo

ke změně. Ze získaných změnových polygonů byly v programu Microsoft Excel spočteny celkové rozlohy změn mezi jednotlivými klasifikačními třídami, které jsou uvedeny v tabulce 5. Změny LC zjištěné překryvem vrstev byly rovněž vizualizovány do mapy, která se nachází v příloze 15 a 16.

5.8 Výpočet NDVI a LAI

Po hodnocení land cover pomocí neřízené klasifikace byl zjišťován charakter vegetace případně i její zdravotní stav. K tomuto účelu byly vypočítány vegetační indexy, konkrétně normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI) a index listového pokrytí (LAI). Oba indexy byly zjištěny jak u dat s vysokým prostorovým rozlišením LANDSAT, tak u dat s velmi vysokým prostorovým rozlišením FORMOSAT.

Výpočet NDVI byl proveden v programu Geomatica modul Focus pomocí funkce ARI: Image Channel Arithmetic, která se nachází v knihovně algoritmů. Tato funkce byla použita celkem třikrát u každého snímku. V prvním kroku byl vypočten rozdíl 3. viditelného červeného pásma a 4. blízkého infračerveného pásma. Druhý krok zahrnoval výpočet součtu těchto pásem. Oba výsledky byly uloženy jako soubor typu PCIDSK. V poslední fázi byl spočítán podíl rozdílu a součtu obou pásem, který udává hodnoty normalizovaného diferenčního vegetačního indexu (NDVI). Výsledek byl opět uložen do souboru typu PCIDSK a hodnoty vizualizovány do mapových výstupů pomocí programu ArcGIS, které se nacházejí v příloze 13. Výsledné hodnoty však nebyly u všech snímků stejné, ale vždy se lišily. U snímku LANDSAT z roku 1999 byly hodnoty NDVI od 0,039 do 0,643, u snímku LANDSAT z roku 2002 byly hodnoty v rozmezí 0,032 a 0,635 poslední snímek LANDSAT z roku 2009 dosáhl hodnot 0,09 až 0,799. U snímku FORMOSAT byly hodnoty NDVI od -0,4 do 0,526. U snímků LANDSAT byl pro velmi hustou vegetaci zvolen interval 0,7 až 0,6, pro středně hustou vegetaci 0,6 až 0,4 a pro řídkou vegetaci 0,4 až 0,09. Obecně byly tedy nižší hodnoty indexu zařazeny do řídké vegetace a vysoké hodnoty do vegetace velmi husté a zdravé. U snímku FORMOSAT díky odlišným výsledným hodnotám nebylo možné stanovit intervaly stejně jako u snímků LANDSAT. Na základě rozložení hodnot a testování byly do velmi husté vegetace zařazeny hodnoty od 0,50 do 0,35, do středně husté vegetace hodnoty od 0,35 do -0,06 a do vegetace řídké od -0,06 do -0,4. Hodnocení charakteru vegetace na základě normalizovaného diferenčního vegetačního indexu bylo provedeno s nižší přesností právě z důvodu lišících se výsledných hodnot.

Index listového pokrytí byl vypočítán opět v programu Geomatica modul Focus s využitím funkce LAI: Calculate Leaf Area Index Model, která se nachází v knihovně algoritmů. Jako první vstupní spektrální pásmo bylo zvoleno viditelné červené a jako druhé blízké infračervené. Výsledek byl uložen v souboru typu PCIDSK a v programu ArcGIS byly vytvořeny mapové výstupy, které jsou umístěny v příloze 14. Výsledné hodnoty u snímku LANDSAT z roku 1999 byly od 2 do 281, u snímku LANDSAT z roku 2002 od 2 do 417 a u snímku LANDSAT z roku 2009 od 23 do 307. Snímek FORMOSAT z roku 2006 dosáhl hodnot od 2 do 642. Vysoké hodnoty indexu značí vysoký podíl listové plochy a naopak. Vysoký podíl listové plochy vyšel v místech, kde se nacházejí listnaté případně smíšené lesy a u jednotlivých snímků se tyto hodnoty lišily. U lesů jehličnatých byly hodnoty indexu listového pokrytí nižší a značí tak menší listovou plochu. Výsledné hodnoty se opět lišily u všech snímků. Příčinou může být jak odlišné datum období pořízení snímků, tak relativně odlišný charakter vstupních dat.

6 VÝSLEDKY

6.1 Přesnost klasifikací land cover

Jak již bylo uvedeno v rešeršní části této práce, klasifikace je možné hodnotit pomocí několika ukazatelů. Mnou provedené klasifikace byly zhodnoceny metodou klasifikační chybové matice za použití 230 kontrolních bodů. Výsledné celkové přesnosti klasifikací i jejich kappa indexy jsou uvedeny v tabulce 3 a chybové matice klasifikací spolu s uživatelskou a zpracovatelskou přesností jsou uvedeny v přílohách 3 až 7.

Nejvyšší celkové přesnosti 75 % bylo dosaženo při klasifikaci snímku LANDSAT z roku 1999 a dále pak u snímku LANDSAT z roku 2002, který byl klasifikován s celkovou přesností 74 %. V roce 1999 byly poměrně slušně vyklasifikovány jehličnaté lesy se zpracovatelskou přesností 92 %, ale s nejnižší uživatelskou přesností 64 % a celkem dobrá je i klasifikace listnatých lesů, jejíž zpracovatelská přesnost je 77 % a uživatelská rovněž 77 %. Nejproblematictější je třída smíšených lesů, která je nejvíce zaměňována s lesy listnatými i jehličnatými a jejíž zpracovatelská přesnost je 55 %. Smíšené lesy jsou nejméně přesně klasifikované u všech hodnocených snímků, a to z toho důvodu, že tento typ lesů je snadno zaměnitelný s lesem listnatým nebo jehličnatým. K chybám tak mohlo dojít nejen při klasifikaci, ale i při zpětném třídění kontrolních bodů. V roce 2002 byly nejlépe klasifikovány louky a pastviny se zpracovatelskou přesností 78 %, ale jejich uživatelská přesnost 39 % je naopak nejnižší. Vysokou uživatelskou přesnost mají lesy listnaté. Nejméně přesně byly v roce 2002 klasifikovány ostatní plochy, jejichž zpracovatelská přesnost je pouze 29 %. Tato nízká hodnota může být způsobena chybami v klasifikaci, ale také nízkým počtem kontrolních bodů, který byl pro tuto kategorii při hodnocení přesnosti zvolen. V roce 2006 jsou celkem dobře klasifikovány jehličnaté lesy se zpracovatelskou přesností 96 %. Nejvyšší uživatelské přesnosti dosáhly louky a pastviny. Nejméně přesně klasifikovanou kategorií jsou opět smíšené lesy. V roce 2009, klasifikovaném z družice LANDSAT, jsou poměrně dobře klasifikovány opět jehličnaté lesy a nejhorsích hodnot dosáhly ostatní plochy. U snímku QuickBird rovněž z roku 2009 je celkem dobře klasifikovaná třída jehličnatých lesů se zpracovatelskou přesností 74 %. Nejnižší hodnoty jsou zaznamenány u kategorie smíšených lesů, které mají zpracovatelskou přesnost pouze 37 % a uživatelskou 41 %. Jak už bylo zmíněno, tak nejproblematictější třídou ve všech časových horizontech jsou smíšené lesy, které vykazují nejnižší hodnoty přesností a jsou často zaměňovány s ostatními typy lesa.

Tab. 3: Přehled celkových přesností klasifikací

snímek	filtr	celková přesnost [%]	kappa index
LANDSAT 1999	5 x 5	74.733	0.678
LANDSAT 2002	5 x 5	74.643	0.668
LANDSAT 2009	5 x 5	72.143	0.637
FORMOSAT 2006	9 x 9	69.286	0.602
QuickBird 2009	5 x 5	65.714	0.560

6.2 Změny krajinného pokryvu

Změny krajinného pokryvu byly zhodnoceny nejprve porovnáním vypočtených podílů a ploch jednotlivých klasifikovaných tříd pro všechny časové horizonty. Celkové zjištěné rozlohy a procentuelní podíly z celé plochy NP jsou uvedeny v tabulce 4. Z této tabulky je patrné, že největší podíl rozlohy NP zabírají jehličnaté lesy s hodnotou 71 % v roce 2009. V roce 2002 jejich podíl mírně klesl, což však může být způsobeno nepřesností v klasifikaci mezi smíšenými a listnatými lesy. Druhou nejrozsáhlejší třídou jsou smíšené lesy s podílem 25 % v roce 2009. Právě u smíšených lesů došlo v roce 2002 naopak k nárůstu podílu. Opět zde může hrát roli problematické rozlišení jehličnatých a smíšených lesů v klasifikaci nebo též rozdílným obdobím pořízení snímků. Snímek z roku 1999 byl pořízen na konci léta, kdy vegetace již není ve vrcholné fázi a naopak snímek z roku 2002 a 2009 je z období léta, kdy je vegetace nejvíce. Listnaté lesy a louky zaujímají 3 % z celkové plochy NP a nejmenší rozloha byla zjištěna u luk a pastvin a ostatních ploch. Podíl těchto tří kategorií se ve sledovaném období nijak razantně neměnil.

Tab. 4: Rozloha a podíl jednotlivých tříd land cover v NP České Švýcarsko

třída LC	rozloha v km ²			rozloha v %		
	1999	2002	2009	1999	2002	2009
louky a pastviny	0,33	0,35	0,47	0,51	0,76	0,89
listnaté lesy	1,62	2,75	2,43	2,15	3,46	3,04
smíšené lesy	15,49	21,45	19,53	19,74	26,82	25,11
jehličnaté lesy	61,82	55,08	56,69	77,53	68,85	70,86
ostatní plochy	0,06	0,09	0,08	0,07	0,11	0,10
celkem	79,32	79,72	79,20	100	100	100

Jako druhá byla pro hodnocení změn LC použita metoda překryvů vektorových vrstev. Překryv byl proveden pouze z výsledků snímků LANDSAT mezi lety 1999 a 2002 a mezi lety 1999 a 2009, a to z toho důvodu, že zbylé časové horizonty nezachycují celou plochu NP, tudíž by překryv nebylo možné provést. Výsledné plochy změn zjištěné z atributových tabulek překryvů uvádí tabulka 5 a 6.

Z tabulky 5 je vidět, že mezi lety 1999 a 2002 se změnilo 6,3 km² území, což je 7,9 % celkové plochy NP. Nejvíce bylo změněno jehličnatých lesů na lesy smíšené. Tato přeměna tvoří 4,9 km². Hned druhá největší změna je ze smíšených lesů na lesy listnaté. Tyto změny mohou být způsobeny buďto odstraňováním invazivní borovice vejmutovky a jejím nahrazováním listnatými stromy, nebo může být výsledek ovlivněn také nepřesnou klasifikací smíšených lesů. Důležitou roli hraje také to, že snímek z roku 1999 byl pořízen na konci léta a druhý snímek uprostřed letního období, kdy jsou listnaté lesy o něco bujnější.

Z překryvu mezi lety 1999 a 2009 vyplynulo, že došlo ke změně na 6,5 km², což je 8,1 % celkové plochy NP. Nejvíce se změnilo opět jehličnatých lesů na lesy smíšené, a to 4,5 km². I druhá nejpočetnější změna ze smíšených na listnaté lesy je stejná jako v předchozím případě a tvoří 1 km². Výsledné změny mohou být opět silně ovlivněny dobou pořízení, která je u snímku z roku 2009 1. srpna, což je letní období a u snímku z roku 1999 se jedná až o konec léta. Zanedbat nelze ani nepřesnostmi v klasifikaci. Zbylá plocha NP je tvořena plochami stabilními. Mapové výstupy z provedených překryvů jsou znázorněny v příloze 15 a 16.

Tab. 5: Celkové plochy změn mezi jednotlivými třídami zjištěné překryvem roku 1999 a 2002

LC v roce 1999	LC v roce 2002	plocha změn v km ²
listnaté lesy	louky a pastviny	0,016
smíšené lesy	louky a pastviny	0,145
ostatní plochy	louky a pastviny	0,042
louky a pastviny	listnaté lesy	0,015
smíšené lesy	listnaté lesy	0,955
jehličnaté lesy	listnaté lesy	0,034
ostatní plochy	listnaté lesy	0,005
listnaté lesy	smíšené lesy	0,034
jehličnaté lesy	smíšené lesy	4,893
ostatní plochy	smíšené lesy	0,003
listnaté lesy	jehličnaté lesy	0,006
smíšené lesy	jehličnaté lesy	0,139
louky a pastviny	ostatní plochy	0,005
smíšené lesy	ostatní plochy	0,040
jehličnaté lesy	ostatní plochy	0,006
celková plocha změn v km²		6,338

Tab. 6: Celkové plochy změn mezi jednotlivými třídami zjištěné překryvem roku 1999 a 2009

LC v roce 1999	LC v roce 2009	plocha změn v km ²
listnaté lesy	louky a pastviny	0,321
smíšené lesy	louky a pastviny	0,038
jehličnaté lesy	louky a pastviny	0,003
ostatní plochy	louky a pastviny	0,065
louky a pastviny	listnaté lesy	0,017
smíšené lesy	listnaté lesy	1,020
jehličnaté lesy	listnaté lesy	0,027
listnaté lesy	smíšené lesy	0,077
jehličnaté lesy	smíšené lesy	4,458
listnaté lesy	jehličnaté lesy	0,021
smíšené lesy	jehličnaté lesy	0,409
louky a pastviny	ostatní plochy	0,020
listnaté lesy	ostatní plochy	0,004
smíšené lesy	ostatní plochy	0,055
jehličnaté lesy	ostatní plochy	0,003
celková plocha změn v km²		6,538

6.3 Porovnání stavu LC zjištěného z různých typů dat

Pro zjištění land cover v zájmovém území byly použity tři druhy dat. Data s vysokým prostorovým rozlišením LANDSAT a data s velmi vysokým prostorovým rozlišením FORMOSAT a QuickBird. Výsledky jednotlivých klasifikací byly mezi sebou vizuálně porovnány.

Při sledování listnatých lesů je patrné, že na snímku QuickBird jich bylo vyklasifikováno největší množství. Naopak nejmenší podíl listnatých lesů se nachází na snímku FORMOSAT. Na snímcích LANDSAT je také v porovnání s dalšími snímky mnohem více ostatních ploch, které jsou na scénách FORMOSAT a QuickBird klasifikovány právě jako listnaté lesy. V nejrozsáhlejších oblastech listnatých lesů, které se nacházejí v západní části NP a v místech Růžovského vrchu se všechny klasifikace téměř shodují. Rozdíly jsou patrné u menších ploch, kterých je na snímcích s vysokým prostorovým rozlišením mnohem více a u snímků LANDSAT jsou klasifikovány jako smíšené lesy. Tento fakt může mít několik příčin. Jednou z nich je různé

období pořízení snímků. Snímek s nejmenším podílem listnatých lesů byl pořízen v jarním období, kdežto snímky LANDSAT byly pořízeny v létě, kdy je vegetace nejbujnější. Další příčinou může být různá rozlišovací schopnost a případné chyby v klasifikaci. U snímků LANDSAT s nižším prostorovým rozlišením je pravděpodobnější možnost záměny například s lesy smíšenými.

Louky a pastviny byly v největší míře na všech snímcích vyklasifikovány v místě jediné obce mezná, která je obklopena Mezní loukou. Největší množství luk a pastvin se nachází na snímcích LANDSAT a konkrétně na snímku z roku z roku 2009, který byl pořízen 1. srpna.

Největší podíl smíšených lesů byl vyklasifikován na snímcích LANDSAT. Na ostatních snímcích s velmi vysokým prostorovým rozlišením je smíšených lesů mnohem méně. Příčinou může být nižší prostorové rozlišení dat LANDSAT, které může při klasifikaci způsobit záměnu jak s jehličnatými, tak s listnatými lesy. Jehličnaté lesy byly na všech snímcích správně vyklasifikovány v největší ploše a ostatní plochy jsou nejvíce zastoupeny opět na snímcích LANDSAT. Příčinou může být jak nižší prostorové rozlišení, tak období pořízení snímků a konečně i nepřesnost v klasifikaci.

Při porovnání výstupů všech klasifikací zjistíme, že výsledky z dat FORMOSAT a QuickBird jsou díky svému vysokému prostorovému rozlišení mnohem podrobnější. Rozdíly, které byly v jednotlivých klasifikacích sledovány, mohou mít několik příčin. Jendou z nich je určité prostorové rozlišení, které je u dat LANDSAT mnohem nižší. Naopak tato data však mají větší rozsah spektrálních pásem, a to až do 2,35 μm na rozdíl od dat FORMOSAT a QuickBird, která snímají pouze do 0,9 μm . Důležitou roli hraje také období, ve kterých byly snímky pořízeny. A zanedbat nelze ani chyby v klasifikaci. Z provedených klasifikací na různých typech dat se domnívám, že data LANDSAT jsou vhodnější pro sledování a hodnocení větších územních celků vzhledem k jejich prostorové rozlišovací schopnosti 30 m. Naopak data FORMOSAT a QuickBird jsou vhodná pro podrobnější hodnocení menších územních celků. Všechna použitá data jsou vhodná jak pro účely lesnictví, tak pro klasifikaci land cover s přihlédnutím k požadované podrobnosti.

6.4 Hodnocení stavu vegetace pomocí vegetačních indexů

U družicových dat LANDSAT a FORMOSAT byl zjišťován charakter vegetace pomocí normalizovaného diferenčního indexu (NDVI) a indexu listového pokrytí (LAI). Z vypočtených hodnot NDVI bylo zjištěno, že u snímků LANDSAT se hodnoty pohybují v mnohem menším intervalu než u družice FORMOSAT. Nejvyšších hodnot dosahuje snímek LANDSAT z roku 2009 a naopak hodnoty nejnižší se nacházejí na snímku FORMOSAT z roku 2006. Tato skutečnost může být z velké části ovlivněna různými obdobími, ve kterém byla data pořízena. Nejvyšší hodnoty NDVI se nacházejí na snímku LANDSAT z roku 2009, který byl pořízen 1. srpna, tedy uprostřed letního období, kdy je vegetace nejbujnější. Snímek z roku 2002 pořízený rovněž v letním období vykazuje jako druhý nejvyšší hodnoty indexu. Naopak nejnižší hodnoty se nacházejí na snímku FORMOSAT z roku 2006, který byl pořízen již 12. června. Obecně lze říci, že nejhustější a patrně i nejzdravější vegetace se nachází v místech listnatých a smíšených lesů. Zdravotní stav lesa je diskutován i v lesním hospodářském plánu. Jako oblasti nejvíce ohrožené imisemi jsou zde uvedeny břehy říčky Kamenice, západní část NP podél pravého břehu Labe a okolí Růžovského vrchu. U těchto oblastí byla opravdu zjištěna nejnižší hodnota NDVI až na oblast Růžovského vrchu, kde hodnoty vykazují hustou a zdravou vegetaci.

U těchto dat byl spočítán také index listového pokrytí (LAI). Hodnoty se u jednotlivých snímků opět lišily. Nejvyšší výsledky byly zaznamenány překvapivě u snímku FORMOSAT z roku 2006, který je ovšem pořízen na konci jara. Naopak nejnižší hodnoty se nacházejí u snímku LANDSAT z roku 1999, který byl pořízen na konci letního období. V této době již listů na vegetaci ubývá, což nižší hodnoty indexu vysvětluje. Obecně lze opět říci, že vyšší hodnoty indexu listového pokrytí se nacházejí opět v místech listnatých a smíšených lesů. Tento výsledek je logický vzhledem k tomu, že listy pokrývají větší plochu než jehlice u lesa jehličnatého.

7 DISKUSE

Hlavním cílem mé bakalářské práce bylo zjištění změn land cover v NP České Švýcarsko. Dílčím cílem bylo porovnání zaznamenaných změn s lesním hospodářským plánem. Lesní hospodářský plán platný od roku 2007 do roku 2016, který byl poskytnut Správou Národního parku České Švýcarsko, obsahuje jak textovou část, tak část mapovou, která měla být právě pro porovnání změn použita. Tato mapová část obsahuje vrstvy druhovostního složení lesa, cesty, polygony ochranných pásem lesa a další vrstvy, ale vrstvu s provedenými změnami či plánovanou a provedenou těžbou doposud neobsahuje. Bylo tedy rozhodnuto lesní hospodářský plán použít jako informační materiál v procesu klasifikace družicových dat nikoliv však pro účely verifikace zaznamenaných změn land cover.

Textová část lesnického hospodářského plánu obsahuje mimo jiné i informace o těžbě a druhovostním složení lesa. Podle LHP platného od roku 2001 do roku 2006 se v tomto období na území NP vytěžilo celkem 89 640 m³ dřeva a obnovní těžba tvořila 40 912 m³. Nejčastější obnovní dřevinou byl převážně smrk. Při porovnání mapových výstupů z roku 2002 a 2006 zjistíme, že v roce 2006 bylo vyklasifikováno více luk a pastvin zejména v západní části parku. Tato změna by mohla být způsobeno buďto těžbou, která bylo v tomto období provedena, nebo rozdílným obdobím pořízení dat. Příčina může být také v tom, že do třídy louky a pastviny byly při klasifikaci zařazeny také lesní holiny a paseky. Kromě malého území v západní části parku nebyl z klasifikace v tomto období zjištěn úbytek celkové lesní plochy, což může být způsobeno obnovou vytěžených oblastí a jejich opětovným zalesněním. Podle Drozda, Hartela a Klitsche (2010) je péče o lesní ekosystémy v NP zaměřená především na zvyšování stupně přirozenosti úpravou dřevinné a věkové skladby porostů tak, aby mohly být ponechány vlastnímu vývoji. Konkrétně je péče zaměřená na odstranění geograficky nepůvodních dřevin, zejména pak borovice vejmutovky, a nahrazení dřevinami původními. Ve sledovaném období 1999 až 2009 nebyly zjištěny žádné takové změny, které by vypovídaly o úbytku lesních ploch. To může být způsobeno právě péčí o lesní ekosystém, která je nastavena tak, aby vytěžené nepůvodní dřeviny byly okamžitě nahrazeny dřevinami původními a nedocházelo tak ke snižování lesní plochy. Změny byly zjištěny pouze mezi jednotlivými druhy lesa.

Výsledky klasifikace byly rovněž porovnány s databází CORINE land cover, která je dostupná na mapovém serveru *geportal.cenia.cz*. Při porovnání bylo zjištěno, že klasifikace se shoduje umístěním i tvarem zejména v oblastech listnatého lesa a luk a pastvin. Listnaté lesy se v CORINE nacházejí v oblasti Růžovského vrchu a v západní části NP při hranicích s Německem. Mnou klasifikované listnaté lesy se v těchto oblastech nacházejí rovněž v největší míře. Ani v databázi CORINE nejsou zjištěny žádné výrazné změny lesních ploch, které nebyly zjištěny ani mnou při hodnocení změn LC.

Podle lesního hospodářského plánu zaujímají jehličnaté lesy 84 % plochy NP, smíšené lesy 9 %, listnaté lesy 6,5 % a louky a pastviny se rozkládají na 0,5 % plochy. Mnou zjištěné podíly jednotlivých tříd LC se od těchto poměrně liší, a to zejména v podílu smíšených lesů.

Podíly zjištěné v roce 2009 jsou následující: jehličnaté lesy 71 %, smíšené lesy 25 %, listnaté lesy 3 % a louky a pastviny 0,9 %. Velký rozdíl podílu smíšených lesů bude pravděpodobně způsoben jejich méně přesnou klasifikací. Smíšené lesy mohly být při klasifikaci snadno zaměněny s lesy jehličnatými i listnatými, jelikož obsahují oba typy dřevin. Třídou, která byla podle srovnání s LHP nejlépe klasifikována, jsou louky a pastviny, které zabírají opravdu minimální plochu NP. Různé hodnoty jsou dané také odlišným charakterem srovnávaných dat. Mnou zjištěné hodnoty vycházeli z klasifikace družicových snímků, kdežto hodnoty v lesním hospodářském plánu byly zjištěny na základě kombinace zpracování databáze pozemkové evidence a venkovních prací.

Původní hypotézu, že by se krajinný pokryv v NP České Švýcarsko ve sledovaném období neměl příliš měnit, můžeme potvrdit za předpokladu, že nás bude zajímat pouze lesní a mimolesní vegetace. Opravdu bylo potvrzeno, že podíl lesů a luk a pastvin zůstával po celé sledované období stejný. Pokud se ale zaměříme i na druhovostní složení lesa, nemůžeme říci, že by nedocházelo ke změnám. Jak z údajů lesního hospodářského plánu, tak i dle analýzy družicových dat uskutečněné v této práci je zřejmé, že ke změnám druhovostního složení dochází.

Kromě změn land cover a druhovostního složení lesa byl také hodnocen zdravotní stav a hustota vegetace pomocí vegetačních indexů NDVI a LAI. Indexy byly počítány pro rok 2006 a 2009. Z vizualizovaných hodnot NDVI, která se nachází v příloze 13, je patrné, že nejhustější a patrně i nejzdravější vegetace se nachází v místech listnatých lesů. V textové části LHP je rovněž diskutován zdravotní stav lesa. Jako oblasti nejvíce ohrožené imisemi jsou zde uvedeny břehy říčky Kamenice, západní část NP podél pravého břehu Labe a okolí Růžovského vrchu. U těchto oblastí byla opravdu zjištěna nižší hodnota NDVI až na oblast Růžovského vrchu, kde hodnoty vykazují hustou a zdravou vegetaci. Nižší hodnoty ovšem nemusí nutně znamenat poškozenou vegetaci, ale mohou poukazovat pouze na vegetaci řídkší. Výsledky indexu listového pokrytí LAI jsou velmi podobné jako u NDVI a jsou vizualizovány v příloze 14. Nejvyšší hodnoty se nacházejí na území listnatých případně i smíšených lesů. Tento výsledek je logický vzhledem k tomu, že listy pokrývají větší plochu než jehlice u lesa jehličnatého, proto zde hodnoty musí být nižší. Dle LHP je zdravotní stav lesů poškozován zejména podkorním a dřevokazným hmyzem. Nejdůležitějším druhem je lýkožrout lesklý a lýkožrout smrkový, který se nachází na území celého NP. Oba tyto druhy napadají jak smrkové monokultury, tak i borovici vejmutovku. Napadené dřeviny podléhají nahodilé těžbě, kterou nelze předem plánovat.

Pro tuto práci byla použita data družic LANDSAT, FORMOSAT a QuickBird. Družice LANDSAT spadá do kategorie družic s vysokým prostorovým rozlišením a družice FORMOSAT a QuickBird patří do kategorie družic s velmi vysokým prostorovým rozlišením. Dle Hájka (2006) se pro lesnictví hodí jak letecké snímky, tak i družicová data, ze kterých se nejčastěji využívají právě data s vysokým prostorovým rozlišením. V poslední době se hojně využívají také data s velmi vysokým prostorovým rozlišením. Na základě práce s daty může být potvrzena hypotéza, že použitá družicová data jsou pro potřeby lesnictví vhodná. Lze z nich zjistit třídy land cover, hustotu vegetace a její zdravotní stav i druhovostní složení lesa. Tato data jsou vhodná také ke sledování těžby v lesním ekosystému či pro zjištění škod po kalamitách.

8 ZÁVĚR

Krajinný pokryv v NP České Švýcarsko byl zjišťován z družicových dat LANDSAT z roku 1999, 2002 a 2009, FORMOSAT z roku 2006 a QuickBird z roku 2009. Pro stanovení land cover byl použit software Geomatica a metoda neřízené klasifikace. Dále byly provedeny postklasifikační úpravy v podobě slučování tříd a filtrace obrazu nízkofrekvenčním filtrem. Při slučování tříd byl zvolen konečný počet tříd 5, a to vzhledem k velikosti zájmového území a jeho charakteru. Poté bylo provedeno hodnocení přesnosti klasifikace, díky kterému byly zjištěny hlavní nedostatky vykonané klasifikace. Přesnost klasifikace závisí především na kvalitě získaných družicových dat. Největší přesnosti bylo dosaženo u snímku z roku 1999. Z jednotlivých tříd byly nejpřesněji klasifikovány louky a pastviny. Třídy lesů byly mezi sebou často zaměňovány a jejich klasifikace nebyla příliš přesná. Výsledky získané v programu Geomatica byly pomocí programu ArcGIS převedeny do vektorové podoby. Kromě klasifikace land cover byl proveden také výpočet vegetačních indexů NDVI a LAI.

Změny krajinného pokryvu byly hodnoceny dvěma způsoby. Nejprve byly spočteny podíly a plochy jednotlivých tříd LC ve všech časových horizontech, které byly mezi sebou následně porovnány. Podíly byly počítány pouze u snímků, které pokrývaly celé sledované území. Z výsledků byl zjištěn úbytek jehličnatých lesů mezi lety 1999 a 2002 a naopak přírůstek smíšených lesů v tomtéž období. Tyto zaznamenané změny však mohou být ovlivněny přesností klasifikace. Změny land cover byly také zjišťovány pomocí překryvů provedených v programu ArcGIS. Překryv byl proveden pouze u snímků, které pokrývají celé sledované území. Z překryvů jednotlivých časových horizontů byly zjištěny největší změny rovněž mezi smíšenými a jehličnatými lesy.

Z hodnot vegetačních indexů NDVI byly zjištěny oblasti husté a zdravé vegetace, které se nacházejí v oblasti listnatých lesů. Z hodnot LAI byl zjištěn nejvyšší podíl listové plochy, který se nachází rovněž v místech listnatých lesů případně lesů smíšených.

Zjištěný land cover a jeho změny bohužel nemohly být porovnány s lesním hospodářským plánem národního parku, ale byly porovnány s databází CORINE land cover. Druhovostní složení a zdravotní stav lesa byl konfrontován s lesním hospodářským plánem.

Závěrem lze konstatovat, že použitá data vysokého prostorového rozlišení i velmi vysokého prostorového rozlišení jsou pro danou problematiku vhodná. Jejich využití v lesnictví je široké, a to od určování druhovostního složení, sledování změn lesních ploch až po hodnocení hustoty lesa a jeho zdravotního stavu. Mohlo by však být dosaženo mnohem kvalitnějších a přesnějších výsledků, pokud by tato data byla zkombinována například s leteckými snímky či daty laserového skenování nebo jinými daty zachycující současné i historické krajinné pokryvy.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ INFORMACÍ

ARCDATA PRAHA (2011): *Družice a skenery* [online]. 2011 [cit. 2010-03-13]. Dostupné z URL: <<http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/geograficka-data/druzicova-data/druzice-a-skenery/>>.

BARKA, I., BUCHA, T., PAJTÍK, J. (200-?): *Using of satellite data for evaluation and monitoring of forest ecosystems response on climate change in Slovakia* [online]. 200-? [cit. 2011-04-05]. Dostupné z URL: <http://lcluc.umd.edu/Documents/ScienceTeamMtg/2010_AUG>

Česko. Zákon č. 289/1995 Sb. ze dne 3. listopadu 1995 (1995) o *lesích a o změně a doplnění některých zákonů (lesní zákon)* [online]. In Sbirka zákonů České republiky. 1995 [cit. 2011-01-15]. Dostupné z URL: <<http://eagri.cz/public/web/mze/lesy/legislativa/legislativa-cr/lesnictvi/uplna-zneni/zakon-1995-289-viceoblasti.html>>.

ČAPEK, R. (1988): *Dálkový průzkum Země: dočasná vysokoškolská učebnice*. 1. vyd. Praha: Ministerstvo školství ČSR, 1988. 244 s.

Digital Globe (2011): *QuickBird imaging satellite* [online]. 2011 [cit. 2011-02-23]. Dostupné z URL: <<http://www.digitalglobe.com/index.php/85/QuickBird>>.

DOBROVOLNÝ, P. (1998): *Dálkový průzkum Země: digitální zpracování obrazu*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 1998. 208 s. ISBN: 80-210-1812-7.

DROZD, J., HARTEL, H., KLITSCH, M. (2010): *Péče o lesní ekosystémy v Národním parku České Švýcarsko* [online]. Ochrana přírody. 2010, č. 1. [cit. 2011-01-02]. Dostupné z URL: <<http://www.casopis.ochranaprirody.cz/clanky/pece-o-lesni-ekosystemy-v-narodnim-parku-ceske-svycarsko.html>>.

ESRI (2010): *ArcGIS - A Complete Integrated System* [online]. 2010 [cit. 2011-12-18]. Dostupné z URL: <<http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>>.

FAO (2010): *FRA Remote Sensing Portal* [online]. 2010 [cit. 2011-01-05]. Dostupné z URL: <<http://geonetwork4.fao.org/geonetwork/srv/en/fra.home>>.

GISAT (200-?): *Aplikační oblasti DPZ* [online]. 200-? [cit. 2011-02-22]. Dostupné z URL: <<http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/aplikacni-oblasti>>.

GISAT (200-?): *Přehled družicových systémů* [online]. 200-? [cit. 2011-02-22]. Dostupné z URL: <<http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/prehled-druzicovych-systemu>>.

HARTEL, H., ŠTEFLOVÁ, D., DROZD, J. (2007): *Plán péče o Národní park České Švýcarsko 2009-2016* [online]. 2007 [cit. 2011-01-02]. Dostupné z URL: <http://www.npcs.cz/sites/default/files/user_files/FTP_NO/Plany_pece/Plan_pece_NPCS_cast1.pdf>.

HÁJEK, F. (2006): *Automatická extrakce porostních údajů z obrazových dat DPZ* [online]. Lesnická práce: časopis pro lesnickou vědu a praxi. 2006, roč. 85, č. 4. [cit. 2011-01-02]. Dostupné z URL: <<http://lesprace.silvarium.cz/content/view/124/48/>>.

KOLÁŘ, J., HALOUNOVÁ, L., PAVELKA, K. (1997): *Dálkový průzkum Země 10*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. 164 s. ISBN: 80-01-01567-X.

KOLÁŘ, J. (1990): *Dálkový průzkum Země*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. 170 s. ISBN: 80-03-00517-5.

LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W. (1994): *Remote sensing and image interpretation*. 3rd ed. New York: Willy, 1994. 750 s. ISBN: 0-471-57783-9.

Lesprojekt východní Čechy, s.r.o. (2007): *Textová část lesního hospodářského plánu 2007-2016* [online]. 2007, poslední revize 20. 7. 2010 [cit. 2011-01-05]. Dostupné z URL: <http://npcs.blue-point.cz/sites/default/files/user_files/FTP_NO/Plany_pece/LHP_Textova_cast_2007_2016.pdf>.

MARTÍNEK, K. a kol. (2007): *GIS a DPZ v geologických vědách v prostředí ArcGIS a jeho extenzí*. Praha, 156 s.

MACHÁČKOVÁ, K. (2006): *Družicová data* [online]. ArcRevue. 2006, č. 4, s. 36-38. [cit. 2011-02-10]. Dostupné z URL: <<http://download.arcdata.cz/ArcRevue/2006/4/09-Druzicova-data-Machackova.pdf>>.

Ministerstvo zemědělství (2009): *Lesnictví* [online]. 2009 [cit. 2011-02-11]. Dostupné z URL: <<http://eagri.cz/public/web/mze/lesy/lesnictvi/>>.

PATZELT, Z. (2004): *Lesní bohatství, fauna a flóra*. Země světa. 2004, č. 8, s. 22-25. ISBN 80-239-5193-9.

PATZELT, Z., BELISOVÁ, N., HARTEL, H., KOLÁŘOVÁ, K. (2004): *Péče o lesní ekosystémy Národního parku České Švýcarsko* [online]. 2004 [cit. 2011-03-16]. Dostupné z URL: <<http://www.npcs.cz/pece-o-lesni-ekosystemy>>.

PCI Geomatics (2011): *Product Geomatica* [online]. 2011 [cit. 2011-04-23]. Dostupné z URL:<http://www.pcigeomatics.com/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=4>.

Planet Action (200-?): *About Planet Action* [online]. 200-? [cit. 2011-04-23]. Dostupné z URL: < <http://www.planet-action.org/web/36-about-planet-action.php>>.

Redakce časopisu Lesnická práce (2000): *Informační systémy pro lesní podniky* [online]. Lesnická práce: časopis pro lesnickou vědu a praxi. 2000, roč. 79, č. 4. [cit. 2011-02-05]. Dostupné z URL: <<http://lesprace.silvarium.cz/content/view/1611/142/>>.

Správa Národního parku České Švýcarsko. (200-?): *Péče o národní park České Švýcarsko* [online]. 200-? [cit. 2011-01-02]. Dostupné z URL: <<http://www.npcs.cz/pece-o-narodni-park-ceske-svycarsko>>.

USGS (2003): Landsat: A Global Land-Observing Program [online]. 2003 [cit. 2011-05-05]. Dostupné z URL: <<http://egsc.usgs.gov/isb/pubs/factsheets/fs02303.html>>.

ŽELEZNÝ, M. (2002): *Dálkový průzkum Země* [online]. 2002, [cit. 2011-02-05]. Dostupné z URL:< <http://www.kky.zcu.cz/uploads/courses/dpz/DPZ-prednasky.pdf>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ DAT

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

Lesnický hospodářský plan s platností od 1. 1. 2007 do 31. 12. 2016. Poskytnuto ve format geodatabáze Správou Národního parku České Švýcarsko.

Mapový server geoportal.cenia.cz [online]. © CENIA, česká informační agentura životního prostředí, © ministerstvo vnitra, © Ministerstvo životního prostředí. Dostupné z URL: <<http://geoportal.cenia.cz>>.

Mapový server Mapy.cz [online]. © PLAN studio 2005-2011, © Seznam.cz, a. s. Dostupné z URL:<<http://mapy.cz>>.

LE71910251999258EDC00 (Multispektrální snímek z roku 1999) [online]. U. S. Geological Survey. Staženo dne 12. prosince z webových stránek <[http://edcsns17.cr.usgs.gov/NewEarth Explorer/](http://edcsns17.cr.usgs.gov/NewEarthExplorer/)>.

LE71920252002209EDC00 (Multispektrální snímek z roku 1999) [online]. U. S. Geological Survey. Staženo dne 12. prosince z webových stránek <[http://edcsns17.cr.usgs.gov/NewEarth Explorer/](http://edcsns17.cr.usgs.gov/NewEarthExplorer/)>.

LT51910252009213MOR00 (Multispektrální snímek z roku 1999) [online]. U. S. Geological Survey. Staženo dne 12. prosince z webových stránek <[http://edcsns17.cr.usgs.gov/NewEarth Explorer/](http://edcsns17.cr.usgs.gov/NewEarthExplorer/)>.

so11001252006 (Multispektrální snímek z roku 2006). Poskytnutý mezinárodní iniciativou Planet Action.

052513876010_01_P003_MUL (Multispektrální snímek z roku 2009). Poskytnutý společností Digital Globe.

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: CD s elektronickou podobou práce
- Příloha 2: Přehledová mapa Národního parku České Švýcarsko
- Příloha 3: Chybová matice pro klasifikaci LC ze snímku LANDSAT 1999
- Příloha 4: Chybová matice pro klasifikaci LC ze snímku LANDSAT 2002
- Příloha 5: Chybová matice pro klasifikaci LC ze snímku LANDSAT 2009
- Příloha 6: Chybová matice pro klasifikaci LC ze snímku FORMOSAT 2006
- Příloha 7: Chybová matice pro klasifikaci LC ze snímku QuickBird 2009
- Příloha 8: Land cover v NP České Švýcarsko v roce 1999 klasifikovaný ze snímku LANDSAT
- Příloha 9: Land cover v NP České Švýcarsko v roce 2002 klasifikovaný ze snímku LANDSAT
- Příloha 10: Land cover v NP České Švýcarsko v roce 2006 klasifikovaný ze snímku FORMOSAT
- Příloha 11: Land cover v NP České Švýcarsko v roce 2009 klasifikovaný ze snímku LANDSAT
- Příloha 12: Land cover v NP České Švýcarsko v roce 2009 klasifikovaný ze snímku QuickBird
- Příloha 13: NDVI zjištěné ze snímků FORMOSAT z roku 2006 a LANDSAT z roku 2009
- Příloha 14: LAI zjištěné ze snímků FORMOSAT z roku 2006 a LANDSAT z roku 2009
- Příloha 15: Změny land cover mezi lety 1999 a 2002
- Příloha 16: Změny land cover mezi lety 1999 a 2009