

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
Přírodovědecká fakulta
Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie



**KLASIFIKACE VEGETAČNÍHO POKRYVU Z DAT
DPZ PRO ÚČELY VYHODNOCENÍ RIZIKA
NÁKAZY KLÍŠŤOVOU ENCEFALITIDOU**

Diplomová práce

**TICK-BORNE ENCEPHALITIS RISK ASSESSMENT BASED
ON CLASSIFICATION OF VEGETATION FROM REMOTE
SENSING DATA**

Master degree thesis

Bc. Lucie Červená

srpen 2012

Vedoucí diplomové práce: Ing. Markéta Potůčková, Ph.D.

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

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

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

V České Skalici dne 27. srpna 2012

.....

Lucie Červená

Poděkování

Na tomto místě bych nejprve ráda poděkovala vedoucí mé diplomové práce Ing. Markétě Potůčkové, Ph.D. za cenné rady a věnovaný čas. Další dík pak patří RNDr. Jiřímu Sádlovi CSc. za botanické informace poskytnuté v terénu a RNDr. Milanu Danielovi DrSc. za informace týkající se rizika nákazy klíšťovou encefalitidou. Děkuji taktéž Českému úřadu zeměměřickému a katastrálnímu za zapůjčení dat ZABAGED polohopisu pro vytvoření masky lesa a firmě Gisat, která mi umožnila provést předzpracování družicových snímků pomocí atmosférické a topografické korekce ATCOR 3.

Klasifikace vegetačního pokryvu z dat DPZ pro účely vyhodnocení rizika nákazy klíšťovou encefalitidou

Abstrakt

Tato práce si klade za cíl zjistit, jak nejpřesněji klasifikovat snímky Landsat do různých kategorií lesních porostů lišících se rizikem nákazy klíšťovou encefalitidou. Legenda vychází z projektů Daniela, Koláře, Zemana (1995) a Daniela, Koláře, Beneše (1999), avšak byla zredukována na pět kategorií vzájemně se definicí nepřekrývajících (I. jehličnaté porosty, II. smíšené porosty, III. strukturně silně heterogenní mladé listnaté porosty a porostní rozhraní, IV. strukturně homogenní listnaté porosty, V. strukturně heterogenní listnaté porosty). Metodou klasifikace byla zvolena řízená klasifikace s klasifikátorem maximální pravděpodobnosti snímků Landsat z různých ročních období, ve kterých však musela být řešena problematika výskytu oblačnosti a různé výšky Slunce nad obzorem. Trénovací plochy a kontrolní body byly získány terénním průzkumem a vizuální interpretací ortofotomap a snímků Landsat v RGB kompozitu 5-4-3. Maska lesa byla vytvořena z dat ZABAGED polohopisu. Primárně testovaným časovým horizontem byly roky 2006 až 2010. Pro tento horizont byly k dispozici snímky Landsat 5 TM z dubna, srpna a října. Do klasifikací vstupovala jak všechna pásma nekorigovaná, tak korigovaná pomocí ATCOR 2 a ATCOR 3, testována byla také metoda hlavních komponent. Spočítány byly i vegetační indexy NDVI a Tasseled Cap a následně byly využity také jako vstup do klasifikačního procesu. Pro horizont 1998 – 2002, pro který byly k dispozici snímky z března, května a července pořízené senzorem ETM+ na Landsatu 7, byla oproti horizontu 1998 – 2002 navíc testována klasifikace zaostřených snímků pomocí algoritmu PANSHARP. V obou horizontech se nejvíce osvědčila klasifikace na základě hlavních komponent a dat korigovaných pomocí atmosférické a topografické korekce ATCOR 3. Jako dílčí část práce byl také řešen vliv převzorkování snímků Landsat kubickou konvolucí (archiv USGS) na výsledky klasifikace.

Klíčová slova: Landsat, klasifikace, vegetace, klíšťová encefalitida

Tick-borne encephalitis risk assessment based on classification of vegetation from remote sensing data

Abstract

The main aim of this thesis has been to find out how to classify various categories of forest vegetation with a different risk of exposure to the tick-borne encephalitis based on the Landsat imagery. The legend used here is derived from the one used in the projects by Daniel, Kolář, Zeman (1995) and Daniel, Kolář, Beneš (1999) but has been reduced to only five classes with no overlaps in their definitions (I. coniferous stands, II. mixed stands, III. young deciduous stands and stand ecotones with a highly heterogeneous structure, IV. deciduous stands with a homogeneous structure, V. deciduous stands with a heterogeneous structure). The supervised classification with the Maximum Likelihood Classifier has been used on the Landsat imagery from various seasons. Difficulties concerned with the presence of clouds and varying Sun elevation across the imagery had to be addressed in the course of the work. The training sites and the control points have been defined by the field research and interpretation of the relevant orthophotomaps and Landsat imagery in 5-4-3 RGB composite. The mask of the forest has been created on the ZABAGED data basis. The time horizon of 2006 – 2010 has been the primary focus. The imagery acquired in April, August and October for these years was available. Both the uncorrected bands and bands corrected by ATCOR 2 and ATCOR 3 have been tested as the inputs to the classification. The principal component analysis has been also tested as well as the vegetation indices (NDVI and Tasseled Cap). For the time horizon 1998 – 2002, for which the imagery acquired in March, May and July by Landsat 7 ETM+ was available, the PANSHARP algorithm has been also tested for purposes of the classifications. The best results in both time periods were achieved by the principal components and ATCOR 3 inputs to the classification. A part of the thesis is dedicated to the assessment of the impacts of the Cubic Convolution resampling (applied on the Landsat data in the USGS's archive) to the classification's results.

Key words: Landsat, classification, vegetation, tick-borne encephalitis

OBSAH

OBSAH	6
SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	8
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	10
1 ÚVOD	11
2 LITERÁRNÍ REŠERŠE A ÚVOD DO PROBLEMATIKY	12
2.1 DPZ, GIS a klíšťaty přenášená onemocnění	12
2.1.1 Výzkum rizika nákazy klíšťovou encefalitidou v České republice.....	14
2.1.1.1 Studie Státního zdravotního ústavu (SZÚ).....	14
2.1.1.2 Projekt Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.....	16
2.1.1.3 Webová aplikace ARCDATA PRAHA, s. r. o.....	17
2.2 Předzpracování Landsat dat	18
2.2.1 Atmosférické korekce	18
2.2.2 Korekce oslunění a topografické korekce	19
2.2.3 ATCOR	21
2.3 Klasifikace lesních porostů z dat Landsat.....	23
3 DATA A METODIKA	25
3.1 Modelové území.....	25
3.2 Data Landsat	27
3.2.1 Vliv převzorkování scén Landsat na výsledek klasifikace.....	28
3.2.1.1 Srovnání pomocí neřízené klasifikace.....	30
3.2.1.2 Srovnání pomocí řízené klasifikace	33
3.2.2 Scény Landsat použité pro klasifikace	36
3.3 Terénní data.....	37
3.4 Ostatní data	37
3.5 Klasifikační legenda.....	38
3.6 Metoda klasifikace	42
3.6.1 Trénovací plochy a kontrolní body	43
3.6.2 Multitemporální přístup ke klasifikaci	44
3.6.3 Klasifikace časového horizontu 1998 – 2002	49
4 VÝSLEDKY	53
4.1 Časový horizont 2006 – 2010	53
4.1.1 Odstranění vlivů oblačnosti.....	56
4.2 Časový horizont 1998 – 2002	57

4.3	Vyhodnocení změn mezi horizonty	60
5	DISKUZE	62
6	ZÁVĚR	70
	POUŽITÉ ZDROJE INFORMACÍ	71
	POUŽITÉ DATOVÉ ZDROJE	76
	SEZNAM PŘÍLOH	78

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázky

Obr. 1	Výřez modelového území před a po aplikaci korekce osvětlení pro tři různá roční období, RGB kompozit pásem 5, 4 a 3 družice Landsat 5 TM.....	20
Obr. 2	Mapa modelového území.....	26
Obr. 3	Porovnání různě předzpracovaných výřezů scény 192/025 z 24. 8. 2009 (okolí Bratronic)	29
Obr. 4	Kontrolní body pro ztotožnění snímku z ESA se snímkem z USGS a převzorkování kubickou konvolucí (scéna 192/025 z 24. 8. 2009)	32
Obr. 5	Porovnání rozdílů mezi výsledky řízené klasifikace snímků ESA NN a USGS z 24. 8. 2009 na modelovém území	35
Obr. 6	Výskyt devíti typů lesních tříd z atlasu Klíšťová encefalitida v ČR (Daniel, Kříž; 2002) na svazích s jihovýchodní orientací a sklonem větším než 10 °	42
Obr. 7	Průměrná odrazivost trénovacích ploch jednotlivých lesních tříd v jednotlivých pásmech snímků Landsat z dubna, srpna a října (po aplikaci ATCOR 3).....	47
Obr. 8	Průměrné hodnoty vegetačních indexů trénovacích ploch jednotlivých lesních tříd v dubnu, srpnu a říjnu let 2006 – 2010	48
Obr. 9	Příklad změny v trénovacích plochách resp. kontrolních bodech mezi časovými horizonty (lokality Ploskov)	49
Obr. 10	Průměrné hodnoty vegetačních indexů trénovacích ploch jednotlivých lesních tříd v březnu, květnu a červenci 1998 – 2002.....	51
Obr. 11	Změny v lesních porostech mezi lety 2000 a 2002 – typická ukázka na území severně od Žiliny	60

Tabulky

Tab. 1	Hodnoty parametrů „gain“ a „bias“ potřebných pro převod DN hodnot na hodnoty záře na senzoru Landsat 5 TM (v jednotkách $W/(m^2 * sr * \mu m)$).....	23
Tab. 2	Charakteristika senzorů Landsat.....	28
Tab. 3	Chybová matice neřízené klasifikace snímku z ESA převzorkovaného metodou nejbližšího souseda (ESA NN) a snímku z USGS převzorkovaného metodou kubické konvoluce (pro výřez scény 192/025 z 24. 8. 2009)	30
Tab. 4	Chybová matice neřízené klasifikace snímku z ESA převzorkovaného metodou kubické konvoluce (ESA CC) a snímku z USGS převzorkovaného metodou kubické konvoluce (pro výřez scény 192/025 z 24. 8. 2009)	31
Tab. 5	Chybová matice neřízené klasifikace snímku z ESA převzorkovaného metodou nejbližšího souseda a snímku z ESA převzorkovaného metodou kubické konvoluce (pro výřez scény 192/025 z 24. 8. 2009).....	32

Tab. 6	Chybová matice zpracování trénovacích ploch snímku z ESA převzorkovaného metodou nejbližšího souseda a snímku z USGS převzorkovaného metodou kubické konvoluce (modelové území, 24. 8. 2009).....	33
Tab. 7	Chybová matice řízené klasifikace snímku z ESA převzorkovaného metodou nejbližšího souseda a snímku z USGS převzorkovaného metodou kubické konvoluce(modelové území, 24. 8. 2009)	34
Tab. 8a	Charakteristika použitých scén Landsat 5 TM pro časový horizont 2006 – 2010.....	36
Tab. 8b	Charakteristika použitých scén Landsat 7 ETM+ pro časový horizont 1998 – 2002 ..	37
Tab. 9	Sloučení původních lesních tříd do tříd nových	39
Tab. 10	Výskyt lesních kategorií na svazích s azimutem od 105 ° do 195 °	41
Tab. 11	Analýza výskytu kategorie 9 – strukturně heterogenní listnaté porosty	41
Tab. 12	Rozsah trénovacích ploch pro jednotlivé kategorie lesního porostu a nastavení klasifikátoru maximální pravděpodobnosti pro časový horizont 2006 – 2010.....	43
Tab. 13	Počet kontrolních bodů pro jednotlivé kategorie lesního porostu v období 2006 – 2010	44
Tab. 14	Rozsah trénovacích ploch pro jednotlivé kategorie lesního porostu a nastavení klasifikátoru maximální pravděpodobnosti pro časový horizont 1998 – 2002.....	52
Tab. 15	Hodnocení přesnosti klasifikací různých vstupních dat v časovém horizontu 2006 – 2010.....	54
Tab. 16	Relativní rozlohy tříd v klasifikovaném území na základě výsledků různých klasifikací v časovém horizontu 2006 - 2010	55
Tab. 17	Relativní rozlohy tříd lesa opravené o vliv oblačnosti a stínů na základě výsledků různých klasifikací v časovém horizontu 2006 – 2010	57
Tab. 18	Hodnocení přesnosti klasifikací různých vstupních dat v časovém horizontu 1998 – 2002.....	58
Tab. 19	Relativní rozlohy tříd v klasifikovaném území na základě výsledků různých klasifikací v časovém horizontu 1998 – 2002	59
Tab. 20	Změny v lesních porostech v modelovém území mezi časovými horizonty 1998 – 2002 a 2006 – 2010.....	61

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

CC	Cubic Convolution (kubická konvoluce – metoda převzorkování rastrů)
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DMT	Digitální model terénu
DN	Digital Number (hodnoty, které nesou jednotlivé obrazové prvky)
DPZ	Dálkový průzkum Země
ESA	European Space Agency
ETM+	The Enhanced Thematic Mapper Plus (senzor na družici Landsat 7)
GeoTIFF	Geographic Tagged Image File Format
GLS	Global Land Survey
ISODATA	Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique
LPGS	Level 1 Product Generation System
MSS	Multispectral Scanner System (senzory na družicích Landsat 1 až 5)
NOAA-AVHRR	National Oceanic and Atmospheric Administration, The Advanced Very High Resolution Radiometer
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index - normalizovaný vegetační index
NLAPS	National Land Archive Production System
NN	Nearest Neighbour (nejbližší soused – metoda převzorkování rastrů)
PCA	Principal Component Analasis (metoda hlavních komponent)
PDF	Portable Document Format (formát souborů dokumentů firmy Adobe)
pix	PCIDSK - PCI Geomatics Database File (databázový formát software PCI)
RMSE	Root Mean Square Error – střední kvadratická chyba
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
SZÚ	Státní zdravotní ústav
TM	The Thematic Mapper (senzor na družicích Landsat 4 a 5)
UTC	Coordinated Universal Time (koordinovaný světový čas)
UTM	Universal Transverse Mercator (souřadnicový systém)
USGS	United States Geological Survey
WGS-84	World Geodetic System 1984 - geodetický referenční systém z roku 1984
WRS	The Worldwide Reference System (WRS-1, WRS-2)
ZABAGED	Základní báze geografických dat

1 ÚVOD

Předkládaná diplomová práce vzniká v rámci projektu „Mapování přírodních ohnisek zoonóz přenosných na člověka v ČR a jejich změny ovlivněné modifikacemi klimatu“, na kterém spolupracuje Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze se Státním zdravotním ústavem v Praze a který je pokračováním výzkumu řešeného za podpory Interní grantové agentury Ministerstva zdravotnictví České republiky. Cílem projektu je vytvoření map rizika nákazy klíšťovou encefalitidou v časových horizontech 1998 – 2002 a 2006 – 2010 pro území celé České republiky. Porovnáním výsledků v těchto dvou časových obdobích a pro území Čech i s mapou rizika nákazy klíšťovou encefalitidou již existující pro období okolo roku 1995, prezentovanou v atlase Klíšťová encefalitida v České republice (Daniel, Kříž, 2002), bude také provedeno vyhodnocení vlivu klimatických změn na změnu rozmístění rizikových míst výskytu nákazy.

Jednou z nejdůležitějších vrstev, které vstupují do procesu tvorby mapy rizika nákazy, je mapa strukturně odlišných typů lesních porostů. Předchozí projekty (závěrečné zprávy Daniel, Kolář, Zeman, 1995 a Daniel, Kolář, Beneš, 1999), na které tento současný navazuje, potvrdily, že nejlepším zdrojem těchto informací jsou data dálkového průzkumu Země. Hlavním cílem diplomové práce je tedy vylepšení stávajícího postupu klasifikace dat Landsat do lesních tříd lišících se stupněm rizika nákazy klíšťovou encefalitidou. Primárně bude provedena klasifikace modelového území v období 2006 – 2010, a následně budou poznatky zjištěné při tvorbě této klasifikace přeneseny do klasifikačního procesu jiných scén modelového území z období let 1998 – 2002. Na závěr budou vyhodnoceny rozdíly mezi oběma časovými horizonty.

V rámci diplomové práce budou muset být však vyřešeny i další dílčí problémy. V souvislosti se zpřístupněním archivu snímků Landsat v roce 2008 Geologickou službou Spojených států amerických (USGS) vzniká primárně otázka, zdali je pro účely klasifikací tříd lesních porostů možno využít tato volně dostupná data, převzorkovaná však kubickou konvolucí průměrující DN hodnoty ze šestnácti sousedících pixelů, nebo zdali díky takto upraveným datům dochází k výraznému ovlivnění výsledků klasifikace a bude tedy nutné využívat data placená, převzorkovaná metodou nejbližšího souseda, kde nedochází k ovlivňování DN hodnot okolními pixely. Další dílčí problémy se již vztahují k samotnému klasifikačnímu postupu, kde bude nejprve potřeba vybrat vhodná data pro tvorbu masky lesa. Následně pak bude muset být proveden terénní průzkum a budou muset být opětovně definovány třídy lesních porostů s různou strukturou a různým očekávaným stupněm rizika nákazy klíšťovou encefalitidou. Stěžejní otázkou bude volba a definice klasifikátoru s pomocí dostupných dat, zhodnocení přesností provedených klasifikací a aplikace získaných informací na data ze staršího časového horizontu.

Jako modelové území pro veškeré klasifikace byla vybrána oblast západně od Prahy o velikosti 30 km x 24 km, která je z velké části tvořena chráněnou krajinnou oblastí Křivoklátsko.

2 LITERÁRNÍ REŠERŠE A ÚVOD DO PROBLEMATIKY

2.1 DPZ, GIS a klíšťaty přenášená onemocnění

Dálkový průzkum země se v medicíně užívá od roku 1970. Od té doby bylo do roku 2004 napsáno zhruba 190 článků vycházejících z 86 různých lékařsky zaměřených projektů, o klíšťatech pak pojednává zhruba 13 % z nich. Snímky Landsat byly použity pro klasifikaci land cover či land use zhruba ve 2/5 z nich. Více než Landsat byly pak používány snímky pořízené senzorem NOAA-AVHRR s prostorovým rozlišením 1,1 km a z nich počítané indexy NDVI (1/2 studií). (Herbreteau et al., 2007)

Dálkový průzkum Země a geoinformační systémy jsou hojně využívány k hledání aktivních ohnisek patogenů přenášených klíšťaty. Aktivní ohniska musí přitom splňovat tři podmínky: 1) musí umožnit přežití klíšťete, tj. musí zde být zdroje potravy, klíšťe musí mít možnost reprodukce a musí být chráněno před přírodními extrémami; 2) musí umožnit přežití patogenu, tzn., že v daném místě musí být dostatečná hustota klíšťat a vhodných hostitelů, aby byly příležitosti pro jeho přenášení; 3) a také zde musí existovat dostatek příležitostí, při kterých dojde k setkání klíšťat s člověkem, aby existovalo riziko nakažení. Tato aktivní ohniska se většinou úzce váží na různé typy vegetačního pokryvu, proto je lze z dat DPZ identifikovat. (Cortinas et al., 2002)

Dle Daniela et al. (1998) byl index NDVI počítaný z dat NOAA-AVHRR využit v Africe Perrym et al. (1991) pro studium druhu *Rhipicephalus appendiculatus*. Na výzkum rozšíření stejného druhu klíšťete v Subsaharské Africe se v 90. letech zaměřili také s pomocí NDVI Rogers a Randolph (Daniel et al., 1998). Estrada-Peña (1999) s pomocí dat ze senzoru AVHRR s prostorovým rozlišením 8 km počítal index NDVI a teplotu a pomocí jejich korelace s daty o výskytu druhu *Boophilus microplus* zmapoval výskyt vhodných habitatů tohoto druhu klíšťete pro celý kontinent Jižní Ameriky. Data ze senzoru AVHRR na satelitu NOAA, speciálně index NDVI a index teploty povrchu LST (Land Surface Temperature), byla také využita ke sledování sezónní aktivity larv a nymf druhu *Ixodes ricinus* (a viru klíšťové encefalitidy) v sedmi evropských zemích (Randolph et al., 2000).

V Kalifornii (USA) jsou hlavními přenašeči Lymské boreliózy klíšťata druhu *Ixodes pacificus*, speciálně jejich nymfy, které jsou člověku nejnebezpečnější na jaře v hustých lesích, kde se pod stromy nacházejí vrstvy opadaného listí či jehličí; naopak riziko napadení dospělým jedincem hrozí spíše v zimě v oblastech trvalých travních porostů a chaparral (Eisen, Eisen, Lane; 2005). Proto Eisen, Eisen a Lane (2005) v kalifornském okrese Mendocino nejprve vytvořili metodu k rozlišení čtyř nejrizikovějších habitatů klíšťat – trvalé travní porosty, chaparral, lesy s dominancí travního podrostu a lesy s podloží tvořeným opadaným listím. Metoda se zakládá na řízené klasifikaci multitemporálních Landsat 5 TM snímků z května, července, listopadu a února, konkrétně pak hodnot NDVI z těchto snímků spočítaných. V zimě lze od sebe nejlépe odlišit kategorie lesů s travním podrostem a lesů bez něj, neboť tráva v tuto dobu intenzivně roste (větší hodnoty NDVI), lesy od otevřených travních porostů lze pak odlišit

v létě, kdy jsou naopak zelené stromy, ale tráva již suchá. S pomocí 30 kontrolních bodů byla dokázána celková přesnost modelu 89,17 % (Eisen, Eisen, Lane; 2005). Stejní autoři pak navázali v další studii (Eisen, Eisen, Lane; 2006) vytvořením modelů hustoty nymf druhu *Ixodes Pacificus* v okrese Mendocino (Kalifornie). Klasifikace land cover byla tentokrát rozdělena do tří hlavních kategorií – hustých lesů s velkým výskytem nymf (lesy ještě rozděleny převážně dle druhového složení do sedmi podkategorií s různým rizikem), travnatých stanovišť či stanovišť s keřovitou vegetací s hojným výskytem dospělých klíšťat (trvalé travní porosty, chaparral a lesy s travním podrostem) a kategorie bez výskytu *Ixodes Pacificus* (zemědělská a neúrodná půda, zástavba a vodní plochy). Ze snímků Landsat 5 TM (květen, červenec, listopad, únor) byly spočítány indexy NDVI a transformace Tasseled Cap. Pro prvotní náhled na rozmístění rizikových vegetačních kategorií byla provedena řízená klasifikace do výše zmíněných tříd – přičemž nejlepší klasifikační výstup (s celkovou přesností pro 3 kategorie rizika na základě kontrolních bodů 82,64 %) dával klasifikátor maximální pravděpodobnosti aplikovaný na pásma NDVI a brightness z února a NDVI a wetness z července. Klasifikace na sedm navrhovaných podtypů lesních porostů (definovaných různým druhovým složením) nebyla úspěšná díky nižšímu prostorovému rozlišení snímků (30 m). Všechna spočítaná pásma (NDVI a Tasseled cap pro všechny snímky) pak vstupovala do GIS modelu rizika setkání člověka s klíšťaty spolu s rastrem vlivu pobřeží, kde se vyskytují sekvoje (žádné či nízké riziko), rastry nadmořské výšky, sklonu a orientace, insolace a doby slunečního záření ve dnech pořízení použitých snímků Landsat 5 TM, rastrem průměrných ročních srážek mezi lety 1961 a 1990, rastrem reprezentujícím počet dní s teplotou v roce vyšší než 10 °C a rastrem hydrologického režimu půd. Tyto nezávislé proměnné vstupovaly do regresního modelu s informacemi o hustotě nymf klíšťat *Ixodes Pacificus* zjištěnými terénním průzkumem na 62 plochách v okrese Mendocino (16 ploch bylo ponecháno na verifikaci výsledků). Druhý model byl pak vytvořen shodným postupem, ale nezávislými proměnnými byly informace zjištěné terénním průzkumem – a to konkrétně informace o druhu porostu, počtu kmenů a pařezů, prezenci či absenci stop vysoké zvěře, výskytu hnízd hlodavců a specifických druhů stromů, také informace o orientaci, sklonu a nadmořské výšce. S pomocí známé hustoty nymf *Ixodes Pacificus* na dalších 16 plochách mohla být zhodnocena úspěšnost obou modelů – model na základě GIS předpověděl jejich hustotu se 72% přesností, zatímco model na základě terénního průzkumu pouze s přesností 50%. (Eisen, Eisen, Lane; 2006)

V přírodní rezervaci Siebengebirge v západním Německu byla s pomocí GIS zkoumána závislost klíšťat na rostlinných společenstvích a dalších environmentálních faktorech. Od května do listopadu roku 2003 zde byla týdně sbírána klíšťata na 5 plochách (celkem posbíráno 2 832 jedinců hledajících hostitele), stejně tak byla měřena teplota 5 cm nad zemí a určován obsah vody v půdě. Dalšími daty byly detailní klimatologická data, mapa půdních typů a především mapa rostlinných společenstev v území. Bylo prokázáno, že počet klíšťat roste s rostoucí teplotou (do maxima 24 °C) a naopak klesá s rostoucí vlhkostí měřenou 5 cm nad zemí. Velmi silná pozitivní vazba pak byla zjištěna mezi počtem klíšťat a obsahem vody v půdě. Autoři tudíž navrhuje, že mapování klíšťat na základě půdních typů může být alternativou k mapování pomocí vegetačních typů. Nejvyšší průměrné počty klíšťat pak byly nalezeny ve vegetačních

společenstvích Luzulo-Fagetum milietosum a Galio-Fagetum typicum (oba typy relativně vlhké s hustým bylinným a keřovým podrostem a vrstvou listů), střední průměrné hodnoty pak v Luzulo-Fagetum a Fraxino-Aceretum pseudoplatani (podrost vyvinut jen velmi slabě), nejnižší ve společenstvích Luzulo-Fagetum typicum, tvořených suchomilnou vegetací a s nevyvinutým bylinným a keřovým patrem. (Schwarz et al., 2009)

Studii na téma tvorby predikčních map výskytu různých druhů klíšťat s pomocí DPZ či GIS bylo napsáno již velké množství, přehled těch nejdůležitějších po celém světě shrnuje ve svém článku například Estrada- Peña (2001). Cortinas et al. (2002) shrnuje výzkum druhu *Ixodes Scapularis* a šíření Lymské boreliózy v Severo-centrální části USA. Cromley (2003) pak uvádí další přehled využití GIS a DPZ pro studium (nejen klíšťaty přenášených) nemocí v USA.

2.1.1 Výzkum rizika nákazy klíšťovou encefalitidou v České republice

V České republice je nejrozšířenějším druhem klíštěte *Ixodes Ricinus*. Tento druh lze v Evropě nalézt v severních zeměpisných šířkách od 40° do 60° - tj. zhruba od severní Afriky až po jižní Skandinávii, a také na Uralu (Pérez a Rodhain, 1977, Cit. In Schwarz et al., 2009). Jeho výskyt záleží na mnoha různých abiotických i biotických faktorech, jako například na teplotě, vlhkosti, vegetaci a hustotě potenciálních hostitelů (Estrada-Peña, 2001, Cit. In Schwarz et al., 2009). Nejzávažnějšími nemocemi, které tento druh klíštěte v Evropě přenáší, jsou Lymská borelióza a klíšťová encefalitida.

Prvními studiemi, které hodnotily riziko nákazy klíšťovou encefalitidou v České republice, byly projekty, jejichž hlavním řešitelem byl RNDr. Milan Daniel, DrSc. (podrobně viz kapitola 2.1.1.1). V poslední době se však toto téma stává velmi populárním a vznikají i další odborné studie. Kromě dalšího navazujícího projektu pod vedením RNDr. Milana Daniela, DrSc., v rámci kterého vzniká i tato diplomová práce, se nejvíce tomuto tématu věnují Přírodovědecká fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích a Hornicko-geologická fakulta VŠB-TU Ostrava, které se zaměřují na výzkum v Jihočeském kraji, který v rámci České republiky dlouhodobě patří k oblastem s nejvyšším počtem výskytů klíšťové encefalidity. Téma klíšťové encefalidity se též objevuje i v populární formě – příkladem může být webová aplikace společnosti ARCDATA Praha, s.r.o. Více informací o zmiňovaných projektech je uvedeno v následujících podkapitolách.

2.1.1.1 Studie Státního zdravotního ústavu (SZÚ)

Jako první prokázala účelnost využití dat a metodik dálkového průzkumu Země pro studium výskytu *Ixodes ricinus* v evropských podmínkách pilotní studie Daniela a Koláře (1990). V ní bylo zkoumáno území o rozloze 41 x 41 km² na západ od Prahy v okolí Unhoště, a to s pomocí snímku pořízeného senzorem MSS na družici Landsat 5 s prostorovým rozlišením 80 m. Pomocí Bayesovského klasifikátoru maximální pravděpodobnosti bylo určeno šest kategorií krajinného pokryvu (1 – jehličnatý les, 2 – listnatý les, 3 – smíšený les, 4 – vodní plochy, 5 –

paceky a 6 – zastavěné plochy). Přičemž bylo ověřeno, že první tři kategorie mají klíčový vliv na pravděpodobnost výskytu klíšťat a kategorie 6 pak indikuje přítomnost lidí, kteří mohou být potencionálně nakaženi virem klíšťové encefalitidy (riziko se zvětšuje s počtem lidí).

V návaznosti na zmíněnou pilotní studii Daniela a Koláře (1990) byly stejnými autory vytvořeny dva další projekty: Využití družicových dat pro prognózu výskytu klíštěte *Ixodes Ricinus* jako základ prevence jím přenášených chorob (1993 – 1995) a Predikce míst zvýšeného rizika napadení klíštětem *Ixodes Ricinus* a nákazy klíšťovou encefalitiidou na území Čech (1997 – 1999). Tyto se pak zaměřily především na rozšíření spektra rozlišovaných kategorií vegetačních typů, na stanovení způsobu korelace mezi údaji o počtu nakažených virem klíšťové encefalitidy a klasifikovanými družicovými snímky a rozšířením zkoumaných území.

Daniel, Kolář a Zeman (1995) hodnotili oblast 75 x 75 km² západně od Prahy. Za modelové území, ze kterého byly odvozeny poznatky aplikované následně v celé studijní oblasti, byla vybrána jihovýchodní čtvrtina hodnoceného území, která je tvořena CHKO Křivoklátsko. Jak autoři píší, tato oblast splňuje několik důležitých požadavků – konkrétně je charakterizována vysokou diverzitou krajinných typů, má zachovalou vysokou lesnatost, vykazuje hojný výskyt ploch s vysokou densitou populací *Ixodes ricinus* a byly zde i poprvé v ČR zaznamenány klinické případy klíšťové encefalitidy (v lokalitě Poteplí se zkoumá výskyt klíšťat již desítky let). Křivoklátsko je z botanického hlediska nejlépe prozkoumaná oblast v ČR, je to taktéž velmi frekventovaná turistická a rekreační oblast a v neposlední řadě navazuje na studijní oblast, ve které byla uskutečněna pilotní studie Daniela a Koláře (1990). Hodnocení vegetačního pokryvu probíhalo na základě scény zaznamenané 9. 8. 1992 skenerem Thematic Mapper na družici Landsat 5.

Daniel, Kolář a Beneš (1999) zpracovávali riziko nakažení klíšťovou encefalitiidou v rámci celého území Čech. Ke klasifikaci vegetačního pokryvu bylo využito devět družicových scén pořizovaných skenerem TM družice Landsat 5 o velikosti 180 x 180 km². Použity byly scény s označením 190 – 192 / 25 – 26 z měsíců červen až září v letech 1990 až 1996. Všechny scény byly klasifikovány odděleně a široká pásma překrytí scén tak umožňovala opakované ověřování výsledků.

Klasifikace vegetačního pokryvu probíhala v obou projektech (Daniel, Kolář, Zeman, 1995; Daniel, Kolář, Beneš, 1999) shodným postupem. Nejprve byla provedena řízená klasifikace celé scény do sedmi tříd krajinného pokryvu (1. jehličnatý les, 2. listnatý les, 3. smíšený les, 4. zemědělská půda, 5. zástavba, 6. vodní plochy, 7. travnaté plochy). Přičemž všechny nelesní třídy (4. – 7.) již do dalšího procesu nevstupovaly (vytvoření masky lesa). Třídy lesní (1. – 3.) pak byly pomocí neřízené klasifikace v modelové oblasti rozděleny do devíti různých kategorií lesa, které byly v terénu prozkoumány a botanikem pojmenovány následovně (jejich přesné charakteristiky jsou uvedeny v příloze 2):

- 1) Strukturně homogenní smrkové kultury
- 2) Strukturně a druhově heterogenní jehličnaté porosty
- 3) Smíšené porosty, většinou vysoké (kmenoviny) a s převahou jehličnanů
- 4) Listnaté křoviny s drobným zrnem porostní mozaiky

- 5) Smíšené porosty, většinou nízké (mlází a tyčoviny) a s převahou listnáčů
- 6) Strukturně silně heterogenní mladé listnaté porosty a porostní rozhraní (ekotony)
- 7) Strukturně homogenní listnaté tyčoviny
- 8) Strukturně homogenní listnaté kmenoviny
- 9) Strukturně heterogenní listnaté kmenoviny

Pixely těchto devíti tříd definovaných neřízenou klasifikací modelové oblasti se staly reprezentanty tříd v trénovací množině řízené klasifikace následně provedené pro celou studovanou oblast.

Výsledná mapa devíti různých typů lesních porostů byla korelována s mapou rizika onemocnění klíšťovou encefalitidou, vytvořenou na základě statistik o nakažených pacientech v letech 1971 až 1993. Jedná se o rastr s velikostí pixelu 0,5 km, jehož hodnoty se spojitě pohybují od nuly do jedné (očekávaná incidence onemocnění). Tento rastr byl následně ztotožněn s družicovými snímky na velikost pixelu 30 metrů a reklasifikován do osmi kategorií rizika. Následně byla vytvořena matice četností jednotlivých kombinací 9 tříd lesa a 8 stupňů rizika. Z celkového relativního zastoupení jednotlivých tříd lesa, resp. stupňů rizika na celkové ploše scény, byly určeny očekávané četnosti těchto kombinací, které pak byly porovnány s pozorovanými četnostmi a pomocí Spearmanova testu pořadové korelace byla odvozena rizikovost jednotlivých lesních tříd, a to následovně: Třídy 1 a 2 (jehličnaté porosty) jsou prakticky bez rizika, malé riziko má kategorie 5 (strukturně heterogenní listnaté kmenoviny), trochu větší pak kategorie homogenních listnatých kmenovin a tyčovin (7 a 8), největší riziko nákazy pak hrozí ve smíšených kategoriích 3, 4 a 5, s maximem pro kategorii strukturně silně heterogenních mladých listnatých porostů a porostních rozhraní – ekotonů (kategorie 6). (Daniel, Kolář a Zeman, 1995; Daniel, Kolář a Beneš 1999)

Daniel, Kolář a Beneš (1999) shrnují, že výhodou dálkového průzkumu Země pro hodnocení rizika nákazy klíšťovou encefalitidou je to, že lze zároveň hodnotit velká území a taktéž klasifikovat lesní porosty dle strukturního složení a nikoliv pouze dle druhového. Pro existenci klíštěte je totiž hlavně důležitá heterogenita porostů, jak dokazuje kategorie ekotonů, která se ukázala být nejrizikovější.

2.1.1.2 Projekt Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích

V letech 2009 až 2011 řešila Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích ve spolupráci s německou Univerzitou Ludvíka-Maximiliána v Mnichově projekt s názvem Klíšťata a jimi přenášená infekční onemocnění v podmínkách Jihočeského kraje a Bavorska (Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích a Ludwig-Maximilian Universität, 2012). Výsledky tohoto projektu a projektu Výzkum klíšťat a klíšťaty přenášených patogenů v Jihočeském kraji a vybraných oblastech Bavorska s využitím GIS jsou veřejně přístupné na webovém portálu <http://gis.vsb.cz/klisjata> (Švec, Hönig, Poláček; 2012).

Geoinformační systémy byly nejprve použity pro výběr 30 vhodných lokalit pro terénní sběry klíšťat. Vybírány byly na základě nadmořské výšky (do 750 m n. m.), vegetačního

pokryvu (na základě typologických map poskytnutých Ústavem pro hospodářskou úpravu lesů), výskytu klinických případů klíšťové encefalitidy (počty nakažených v letech 2001 – 2007 za obce dle systému EPIDAT, SZÚ Praha), turistické a rekreační aktivity (na základě Atlasu cestovního ruchu České republiky, 2006), vzdálenosti od obytné zástavby a přístupnosti terénu pro účely sběrů. V roce 2008 zde pak bylo ve třech etapách odpovídajících typické sezónní dynamice klíšťových populací (květen, červen, přelom září a října) sebráno 20 057 jedinců. (Švec et al., 2009)

Dále byly také geoinformační systémy využity k tvorbě predikčního modelu rizika nákazy, a to na základě dvou submodelů – biologického rizika a lidské aktivity. Do submodelu biologického rizika vstupoval rastr nadmořských výšek (A) a vrstva vegetačního pokryvu na základě CORINE Land Cover 2006 (B). Do submodelu lidské aktivity vstupovaly též dvě vrstvy – vrstva hustoty obyvatel v obcích v roce 2009 (C) a vrstva o turisticko-rekreačním zatížení území z Atlasu cestovního ruchu (D). Každá z vrstev pak byla klasifikována na základě literatury a empirických zkušeností do intervalů odpovídajících pravděpodobnosti výskytu klíšťat a každému z intervalů byl přiřazen index rizika v hodnotách od nuly (žádné riziko) do 1 (maximální riziko). Celkové riziko pak bylo spočítáno jako: $Riziko = (A * B) * (C + D)$, přičemž násobení v modelu zajistí, že kategorie nedovolující výskyt klíštěte (např. vodní plochy s hodnotou indexu rizika 0) zůstanou označeny jako bez rizika, i kdyby se ostatní faktory jevíly jako vhodné pro výskyt klíšťat. Naopak součet hustoty osídlení a turistické aktivity dobře reprezentuje zvyšující se lidskou aktivitu s počtem lidí v oblasti. Úspěšnost submodelu biologického rizika předvídat aktivitu klíšťat byla testována s pomocí 30 ploch, na kterých byly prováděny sběry klíšťat (viz výše – Švec et al., 2009). Pomocí Spearmanova pořadového korelačního koeficientu a Pearsonova korelačního koeficientu byla prokázána signifikantní závislost mezi biologickým modelem rizika a hustotou klíšťat. Celkový model rizika pak byl porovnáván s celkovými počty onemocnění v letech 2001 až 2008, a byla mezi nimi nalezena velmi silná korelace. Jako místa se zvýšeným rizikem nákazy klíšťaty přenášeny chorobami byla označena údolí velkých řek (smíšené či listnaté lesy, relativně nízká nadmořská výška) a místa v okolí větších sídel či rekreační místa jako třeba Orlík, Lipno nebo Třeboňsko (zde hraje roli především větší hustota obyvatel a turistů). Naopak nejmenší riziko nákazy je v oblasti Šumavy. (Hönig et al., 2011)

2.1.1.3 Webová aplikace ARCDATA PRAHA, s. r. o.

Na webových stránkách společnosti ARCDATA Praha byla 13. 7. 2011 zveřejněna webová aplikace mapující výskyt klíšťové encefalitidy v ČR. Tato aplikace obsahuje spojitou vrstvu počtu nakažených mezi lety 1970 až 2010, která vznikla interpolační metodou vážené inverzní vzdálenosti (IDW) informací ze SZÚ o počtu nakažených v jednotlivých katastrálních územích. Aplikace dále umožňuje zobrazit i další datové vrstvy, které mají s klíšťaty určitou souvislost – jedná se o blízkost rozlehlých vodních ploch (ArcČR 500), nadmořskou výšku (ArcČR 500), typ lesů (CORINE Land Cover 2006) a teplotu podnebí reprezentovanou vrstvou průměrné

teploty od dubna do září (ČHMÚ). Aplikace je dostupná na webových stránkách <http://klistata.arcddata.cz/>. (ARCDATA PRAHA, s. r. o., 2011)

2.2 Předzpracování dat Landsat

Kvalita dat DPZ je ovlivněna řadou faktorů – jednak samotným senzorem (výpadky detektorů, kolísání parametrů dráhy nosiče apod.), ale také vlivy vycházejícími z podstaty distančního měření (vliv atmosféry, zakřivení Země atd.). Předzpracováním obrazu se pak rozumí úprava jeho geometrických a radiometrických vlastností. Geometrické korekce jsou používány k transformaci souřadnicové soustavy snímků či změně velikosti pixelů. Cílem radiometrických korekcí je upravit digitální hodnoty (DN) obrazového záznamu tak, aby co nejvíce odpovídaly skutečným zářivým či odrazivým vlastnostem objektu. (Dobrovolný, 1998). Radiometrické korekce zahrnují kompenzaci sezónních vlivů způsobených rozdílnou výškou Slunce v průběhu roku, odstranění vlivu topografie a vlivu atmosféry (Schowengerdt, 2007). Taktéž může být další nutnou korekcí redukce šumu ve snímku či odstranění pruhů vzniklých špatnou kalibrací či poruchou některého z detektorů (Schowengerdt, 2007).

Existuje několik úrovní radiometrických kalibrací. První kalibruje hodnoty DN na hodnoty záře měřené senzorem, k tomuto kroku jsou potřeba informace o kalibraci senzoru. Druhým krokem je pak přepočítání hodnot záře měřených senzorem na hodnoty záře na zemském povrchu – tento krok zahrnuje atmosférické korekce. Po provedení korekcí z oslunění a topografických korekcí je získána odrazivost povrchu. (Schowengerdt, 2007)

Jednodušší variantou radiometrických korekcí je tzv. relativní normalizace, při které nejsou hodnoty DN každého snímku přepočítávány na odrazivost povrchu, nýbrž jsou pouze přizpůsobeny DN hodnotám referenčního snímku. Tato metoda má však omezená použití – využita může být například pouze na analýzy dat pořízených stejným senzorem. (Schowengerdt, 2007)

2.2.1 Atmosférické korekce

U dat Landsat hraje z vlivů atmosféry největší roli rozptyl, neboť pásma senzorů byla navržena tak, aby se předešlo vlivům absorpce (Song et al., 2001). Rozptyl zvyšuje hodnotu nasnímaných signálů a v jedné scéně jej lze zhruba charakterizovat jako přičítání konstanty k hodnotám všech pixelů v jednom pásmu, a ne vždy je bezpodmínečně nutná data atmosféricky korigovat (Song et al., 2001). Song et al. (2001) pak shrnuje, v jakých případech je nutné provádět atmosférické korekce pro klasifikace a detekci změn. Tvrdí, že snímky Landsat není nutné atmosféricky korigovat, pokud se klasifikuje samostatně jediná družicová scéna, ale i v případech multitemporálních analýz pokud se nachází data za celé období v jednom datasetu a trénovací plochy jsou vybírány nad všemi pásmy, či pokud je každá ze scén klasifikována samostatně a změny mezi nimi jsou vyhodnocovány až nad výslednými mapami. Naopak atmosférické korekce jsou dle Songa et al. (2001) nutné při počítání vegetačního indexu NDVI (nelineární

ovlivnění výsledků atmosférou v případě nekorigovaných dat) a pro klasifikace velkých oblastí, kdy je nutné klasifikátor natrénovat pouze na jedné scéně a použít ho i na scény ostatní.





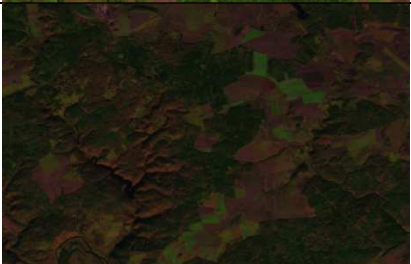

Existují dva základní přístupy k atmosférickým korekcím – absolutní a relativní. Absolutní atmosférická korekce převádí hodnoty DN na skutečné hodnoty odrazivosti povrchu. Hodnoty DN po relativní korekci jsou stejné pro stejné typy objektů ve všech korigovaných scénách, ale již nemusí odpovídat jejich aktuální odrazivosti (vyzařování) na zemském povrchu. Absolutní korekce lze provádět také s pomocí dvou základních přístupů – s pomocí pouze informací získaných z obrazových dat či pomocí modelů atmosféry. Korekce s pomocí těchto modelů (např. SMAC, MODTRAN, ATCOR, FLAASH, 6S)¹ dávají nejlepší výsledky, ale k jejich sestavení je třeba znát velké množství optických vlastností atmosféry (teplota nad povrchem, množství páry ve vzduchu, množství CO₂, vertikální výška aerosolů atd.) v době pořízení snímku, což je často problém. Metody založené pouze na informacích ze snímků nejčastěji vychází z charakteristik tmavého objektu ve scéně. Nejjednodušší takovou metodou je metoda nejtmašího pixelu ve scéně, kdy se jeho hodnoty (rozdíly od nuly) odečtou od všech ostatních pixelů. Sofistikovanější metody pak využívají tmavých objektů pouze k zjištění optických vlastností atmosféry a pak s pomocí odvozených informací korigují obrazová data (např. přístupy DOS, DDV, MDDV, PARA)². Metoda relativní atmosférické korekce předpokládá jednoduchý lineární vztah mezi snímky v čase a je závislá na výskytu tzv. pseudo-neměnných prvků (*angl.* pseudo-invariant features, PIFs) ve scénách. Pseudo-neměnným prvkem je v ideálním případě třeba písečná poušť, dále jím však mohou být i různé antropogenní materiály, jejichž odrazivost je v čase relativně stálá. (Song et al., 2001)

2.2.2 Korekce oslunění a topografické korekce

Nejjednodušší korekcí osvětlení scény je normalizace výšky Slunce na pozici družice v zenitu vydělením každého záznamu sinem výšky Slunce (Dobrovolný, 1998) – příklad aplikace této korekce je vidět na obrázku 1.

¹ SMAC = Simplified Method for Atmospheric Corrections of satellite measurements
MODTRAN = MODerate resolution atmospheric TRANsmission
ATCOR = Atmospheric & Topographic Correction
FLAASH = Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes
6S = Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum

² DOS = Dark Object Subtraction
DDV = Dense Dark Vegetation
MDV = The Modified Dense Dark Vegetation
PARA = The Path Radiance
(Song et al., 2001)

	před korekcí	po korekci
duben (výška slunce: 51,31 °)		
srpen (výška slunce: 47,34 °)		
říjen (výška slunce: 24,48 °)		

Obr. 1 Výřez modelového území před a po aplikaci korekce osvětlení pro tři různá roční období, RGB kompozit pásem 5, 4 a 3 družice Landsat 5 TM
(Zdroj: vlastní zpracování snímku Landsat 5 TM)

Topografické vlivy způsobují, že stejné objekty v rovinném území a ve svazích mají ve snímku různé hodnoty záře. Tato proměnlivost je především funkcí geometrického uspořádání cíle – pixelu (skon a orientace), senzoru a zdroji světla – Slunci. (Fahsi, 2000)

Navrženo bylo mnoho různě složitých algoritmů pro topografické korekce, avšak oproti metodám atmosférických korekcí jsou zkoumány méně (Hantson, Chuvieco; 2011). Pro topografickou korekci je nejprve potřeba spočítat úhel osvětlení (*angl.* illumination angle) dle vzorce (Civco, 1989; Colby, 1991, Cit. In Hantson, Chuvieco, 2011): $\cos \gamma_i = \cos \theta_s \cos \eta_i + \sin \theta_s \sin \eta_i \cos(\phi_a - \phi_o)$, kde γ_i je úhel mezi dopadajícím paprskem a normálou k osvětlovanému povrchu (*angl.* incidence angle), θ_s je zenitový úhel (90 ° - výška Slunce), η_i je sklon svahu, ϕ_a je azimut Slunce a ϕ_o je orientace svahu.

Jakmile je již jednou znám úhel γ_i , lze odstraňovat vlivy topografie na základě různých metod, které buď předpokládají Lambertovský povrch (odrazivost je nezávislá na směru pozorování) nebo směrovou odrazivost. S Lambertovským povrchem pracuje i nejrozšířenější algoritmus kosinové korekce (*angl.* cosine correction), navrhnutý Teilletem et al. (1982), který však přečeňuje oblasti špatně osvětlené (Meyer et al., 1993, Cit. in Hantson, Chuvieco, 2011). Upravenou verzí tohoto algoritmu je algoritmus, který navrhl Civco (1989, Cit. in Hantson, Chuvieco, 2011) a který bere v potaz průměrný úhel osvětlení. Oba zmíněné algoritmy jsou nezávislé na vlnové délce. Nejrozšířenějším algoritmem, který pracuje i s vlnovou délkou, je

pak algoritmus C-korekce (*angl.* C-correction), navržený Teilletem et al. (1982). Teillet et al. (1982, Cit. in Hantson, Chuvieco, 2011) taktéž navrhl i čistě empiricko-statistickou metodu, založenou na vztahu odrazivosti a kosinu úhlu osvětlení. Nejcitovanější metodou využívající nelambertovský povrch je Minneartova korekce (*angl.* Minnaert correction) z roku 1941, která má však tu nevýhodu, že do výpočtu vstupuje tzv. Minnaertova konstanta k , která musí být spočítána zvlášť pro každou vlnovou délku a každý typ land cover ve scéně (Balthazar, Vanacker, Lambin, 2012). Stejnou nevýhodu má však i C faktor, používaný v metodě C-korekce (Hantson, Chuvieco; 2011). Tento problém řeší Modifikovaný Minnaertův algoritmus (navržený Richterem et al. v roce 2009, Cit. in Hantson, Chuvieco, 2011), kdy se model mění podle vlnové délky a faktu, zda-li pixel reprezentuje vegetaci či nikoliv. V posledních letech byly navrženy i další komplexnější modely, které třeba i současně opravují s topografickými vlivy i vlivy atmosférické (např. ATCOR 3). S využitím výše zmíněných metod je však třeba nejprve provést nějakou z atmosférických korekcí a poté korekci topografickou (Hantson, Chuvieco; 2011).

2.2.3 ATCOR

Existují tři druhy korekce ATCOR – pro satelitní snímky jsou využívány ATCOR 2 pro ploché povrchy (pouze atmosférická korekce) a ATCOR 3 pro členitý reliéf (atmosférická a topografická korekce). Samostatně ještě existuje ATCOR 4, který je využíván ke korekci leteckých dat. Všechny byly vyvinuty v německém DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) a IDL verze je pro komerční využití licencována švýcarskou společností ReSe. Algoritmy ATCOR však lze také nalézt i jako doplňky softwarů PCI Geomatica či ERDAS Imagine. (DLR, 2008)

Atmosférická korekce (ATCOR 2) nejprve převádí hodnoty DN na radianci na senzoru (Balthazar, Vanacker, Lambin, 2012). Pro Landsat produkty úrovně 1 (L1T, L1G) platí pro převod DN hodnot (Q_{cal}) zpět na radianci na senzoru tento obecný vztah: $L_{\lambda} = \text{"gain"} \times DN + \text{"bias"}$, který lze rozepsat jako:

$$L_{\lambda} = ((LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}) / (Q_{cal\ max} - Q_{cal\ min})) * (Q_{cal} - Q_{cal\ min}) + LMIN_{\lambda},$$

kde $Q_{cal\ max}$ a $Q_{cal\ min}$ jsou maximální resp. minimální DN hodnoty ve snímku (obecně 255 a 0 u Landsatu 5, 255 a 0 či 1 u Landsatu 7), kterým pak odpovídají maximální a minimální hodnoty spektrální záře $LMAX_{\lambda}$ a $LMIN_{\lambda}$ v jednotkách $W/(m^2 * sr * \mu m)$. Všechny tyto hodnoty jsou k nalezení v metadatech příslušného snímku či v kalibračním souboru družice (*angl.* Calibration Parameter File, CPF) (Chander, Markham, Barsi, 2007). Díky chýtrání senzoru na Landsatu 5 jsou tyto parametry upravovány – k největším modifikacím došlo v roce 2003 na základě zkoumání změn senzorem TM naměřených hodnot napětí neměnných objektů (pouští) a porovnáním s hodnotami získanými senzorem ETM+ (Chander, Markham, Barsi, 2007). Nové parametry „gain“ (směrnice kalibrační přímky) a „bias“ (posunutí) pro data Landsat 5 TM jsou používány ke zpracování snímků od roku 2003. Poslední oprava proběhla v roce 2007, avšak týká se pouze 1. a 2. pásma nově zpracovávaných dat pořízených senzorem Landsat 5 TM

v letech 1984 až 1991 (Chander, Markham, Barsi, 2007). Aktuální hodnoty parametrů nutné pro tvorbu kalibračního souboru potřebného při korekci ATCOR jsou shrnuty v tabulce 1. Kromě kalibračního souboru je nutné, aby algoritmu ATCOR 2 uživatel zadal také informace o typu senzoru a informace o scéně (tj. datum pořízení, zenitový úhel Slunce, průměrná výška ve scéně). Dále je třeba nadefinovat červené, blízké infračervené a střední infračervené pásmo k odhadu určení viditelnosti z tmavého cíle. Nakonec musí být vybrán jeden z předdefinovaných modelů atmosféry nejlépe odpovídající přírodním podmínkám scény (např. rural area in mid-latitude summer). Následuje automatická práce algoritmu, který na základě zadaných parametrů a modelu radiativního přenosu (transferu) MODTRAN určí charakteristiky atmosféry a atmosféricky koriguje scénu.

ATCOR 3 pracuje na stejném principu jako ATCOR 2, ale navíc potřebuje jako vstup DMT, s pomocí něhož je schopný korigovat vlivy osvětlení ve scéně. Korigovaná odrazivost je získaná ze vztahu:

$$\rho H = \rho L \left(\frac{\cos \beta}{\cos \beta_T} \right)^b = \rho L G,$$

kde G je korekční parametr, úhel β (v předchozím textu dle Hantsona a Chuvieca (2011) označován jako γ_i) je úhel mezi dopadajícím paprskem a normálou k osvětlovanému povrchu, b je funkce vegetačního pokryvu a vlnové délky, β_T prahová hodnota závisící na slunečním zenitovém úhlu a ρL je odrazivost Lambertovského povrchu získaná ze vztahu kosinové korekce:

$$\rho L = \rho T \left(\frac{\cos \theta_s}{\cos \beta} \right),$$

kde θ_s je sluneční zenitový úhel a ρT je odrazivost skloněného terénu. (Balthazar, Vanacker, Lambin, 2012)

ATCOR 3 je částečně empirická korekce a na uživateli je zvolení hodnot dvou empirických parametrů – β_T a g . β_T je prahová hodnota lokálního úhlu osvětlení, pod kterým je aplikována Lambertovská korekce. Pokud je lokální úhel osvětlení větší než tato prahová hodnota, je aplikován také korekční parametr G (Balthazar, Vanacker, Lambin, 2012). Hodnota parametru β_T se pohybuje od 0 do 90 ° a může být odhadnuta následovně (Richter, 2009, Cit. In Balthazar, Vanacker, Lambin, 2012):

$$\beta_T = \theta_s + 20^\circ, \text{ když } \theta_s < 45^\circ$$

$$\beta_T = \theta_s + 15^\circ, \text{ když } 45^\circ < \theta_s < 55^\circ$$

$$\beta_T = \theta_s + 10^\circ, \text{ když } \theta_s > 55^\circ.$$

Parametr g pak reguluje intenzitu korekce přizpůsobováním faktoru G – udává jeho spodní hranici, aby se předešlo příliš silné redukci (tzn. všechny hodnoty G menší, než zadaná hodnota g , jsou automaticky zvýšeny právě na zadanou hodnotu g). Hodnoty parametru g se pohybují od 0,1 do 1 a defaultně je jeho hodnota nastavena na hodnotu 0,25. (Balthazar, Vanacker, Lambin, 2012)

Balthazar, Vanacker a Lambin (2012) hodnotili výsledky různého nastavení právě těchto dvou empirických parametrů (β_T a g) topografické korekce ATCOR 3 na klasifikaci lesů

z Landsat ETM+ scén (pásem 3, 4, 5 a 7) v oblasti And v Ekvádoru a oblasti Himaláji v Bhútánu. Zjistili, že ne vždy doporučené hodnoty dávají ve smyslu vyrovnání hodnot odrazivosti na osluněných a zastíněných svazích a v počtu vytvořených podhodnocených a nadhodnocených pixelů (*angl.* undercorrected a overcorrected) nejlepší výsledky. Nastavení parametru β_T hraje velkou roli především ve vyrovnávání odrazivosti osluněných a zastíněných míst, volba parametru g pak ovlivňuje především výskyt podhodnocených a nadhodnocených pixelů (při zvolení vyšší hodnoty parametru g dochází k nadhodnocení (*angl.* overcorrection) oblastí původně málo osvětlených a naopak při moc nízké hodnotě parametru g dochází k podhodnocení (*angl.* undercorrection) těchto oblastí.

Tab. 1 Hodnoty parametrů „gain“ a „bias“ potřebných pro převod DN hodnot na hodnoty záře na senzoru Landsat 5 TM (v jednotkách $W/(m^2 * sr * \mu m)$)
(Zpracováno na základě Chander, Markham, Barsi, 2007)

Datum zpracování snímků	1. 3. 1984 - 4. 5. 2003		5. 5. 2003 - 1. 4. 2007		2. 4. 2007 - současnost			
Datum pořízení snímků	1. 3. 1984 - 4. 5. 2003		1. 3. 1984 - 1. 4. 2007		1. 3. 1984 - 31. 12. 1991		1. 1. 1992 - současnost	
Pásma	"gain"	"bias"	"gain"	"bias"	"gain"	"bias"	"gain"	"bias"
1	0,602431	-1,52	0,762824	-1,52	0,668706	-1,52	0,762824	-1,52
2	1,175100	-2,84	1,442510	-2,84	1,317020	-2,84	1,442510	-2,84
3	0,805765	-1,17	1,039880	-1,17	1,039880	-1,17	1,039880	-1,17
4	0,814549	-1,51	0,872588	-1,51	0,872588	-1,51	0,872588	-1,51
5	0,108078	-0,37	0,119882	-0,37	0,119882	-0,37	0,119882	-0,37
6	0,055158	1,2378	0,055158	1,2378	0,055158	1,2378	0,055158	1,2378
7	0,056980	-0,15	0,065294	-0,15	0,065294	-0,15	0,065294	-0,15

2.3 Klasifikace lesních porostů z dat Landsat

Obecně se k identifikaci lesních ploch nejvíce hodí pásma družice Landsat TM (resp. ETM+) číslo 4 a 5 v infračervené oblasti spektra (Travaglieri, 1990, Cit. In Dobrovolný, 1998). Travaglieri, 1990 (Cit. in Dobrovolný, 1998) také shrnuje nejuhodnější barevné RGB syntézy k určení různých druhů vegetace – za nejprospěšnější považuje kombinaci pásem 5-4-3 či 4-5-3, a jako další pak klasickou syntézou v nepravých barvách 4-3-2.

Wolter et al. (1995) navrhli vylepšení metody klasifikace lesních porostů s pomocí multitemporálních Landsat dat. Klasifikovali celkem 22 druhů lesních porostů v oblasti severozápadního Wisconsinu (USA) s využitím bezoblačného TM snímku z června roku 1987 a čtyř MSS snímků z května, září, října a února z různých let v rozmezí 1980 až 1992 (velké časové rozpětí kvůli problému sehnání bezoblačných scén). Ke klasifikaci 13 z druhů pomohl právě multitemporální přístup. Navržená metoda spočívá v převedení DN hodnot snímků na odrazivost a ztotožnění všech hodnocených snímků na stejnou velikost pixelu (28,5 m). Poté je pomocí metody prahování klasifikován Landsat TM snímek na lesní porosty (v pásmu 3

hodnoty odrazivosti velmi nízké, v pásmu 4 naopak vysoké a v pásmu 5 střední) a nelesní plochy. Takto oddělené lesní plochy jsou ještě rozděleny na listnaté (vysoké hodnoty odrazivosti ve všech třech pásmech), jehličnaté (nízké hodnoty) a smíšené (střední hodnoty odrazivosti ve všech 3 pásmech). Dále byly všechny nelistnaté porosty odmaskovány a s pomocí indexu NDGI (podobný NDVI, pouze pásmo červené bylo ve výpočtu nahrazeno pásmem zeleným vzhledem k poškození červeného pásma) spočítaného na základě MSS snímku z října byl určen výskyt dubů (jako jediné mají ještě touto dobou listy). Poté byly odmaskovány všechny nedubové kategorie a pomocí klasifikátoru maximální pravděpodobnosti aplikovaného na pásma 1, 2 a 4 říjnového MSS snímku byly duby rozděleny na 2 poddruhy. Odmaskováním oblastí nelistnatých lesů a dubů ze snímků MSS byly pak odečtením indexů NDVI zářijového snímku od NDVI indexů červenového snímku extrahovány porosty jasanu černého, který je na rozdíl od ostatních stromů v září již opadavý. Po odmaskování jasanu byly z listnatých porostů extrahovány porosty topolu osiky s pomocí NDVI hodnot MSS snímku z května a červenového TM snímku. Z jehličnatých porostů byl na základě rozdílu NDVI hodnot únorového MSS snímku a červenového TM snímku odmaskován tamarak (jediný opadavý jehličnan v oblasti). Obdobnými postupy byly klasifikovány smíšené lesy. Zbylé kategorie pak byly klasifikovány pomocí klasifikátoru maximální pravděpodobnosti na základě červenového TM snímku (pásem 2, 3, 4, 5) a 15 trénovacích ploch pro každý lesní typ. Na základě 30 kontrolních bodů pro každý klasifikovaný lesní typ bylo dosaženo celkové přesnosti klasifikace 80,1 %. (Wolter et al., 1995)

Multitemporální přístup je využíván i pro klasifikace land cover – například v Řecku byly snímky TM a ETM+ klasifikovány s pomocí jejich kombinací z brzkého léta (květen, červen) a pozdního léta (srpen, září). Ze snímků z brzkého léta lze totiž odlišit (ještě nezelená) pole od lesů, ze snímků z pozdního léta pak stejná pole (tentokrát zelená) od zástavby. Celková přesnost klasifikace byla okolo 85 %. (Ioannis, Meliadis, 2011)

3 DATA A METODIKA

Tato kapitola je složena z několika podkapitol. Nejprve je stručně charakterizováno modelové území, na kterém byly testovány různé klasifikační přístupy. Druhá podkapitola se pak podrobně zabývá daty pořízenými družicemi Landsat. Vzhledem k tomu, že jsou tato data dostupná ve více variantách, různě předzpracovaných a převzorkovaných, je nejprve potřeba zjistit, jaký vliv mají jednotlivé úpravy původních dat na výsledky klasifikací. V dalších podkapitolách jsou pak popsána i ostatní data využitá ke klasifikacím (data zjištěná pozemním šetřením, ortofotomapy, ZABAGED). Následně je podrobně popsána použitá klasifikační legenda a postup klasifikace, který byl primárně tvořen pro novější hodnocený časový horizont (2006 – 2010). Na závěr této kapitoly jsou pak uvedeny provedené změny v klasifikačním postupu pro časový horizont 1998 – 2002.

3.1 Modelové území

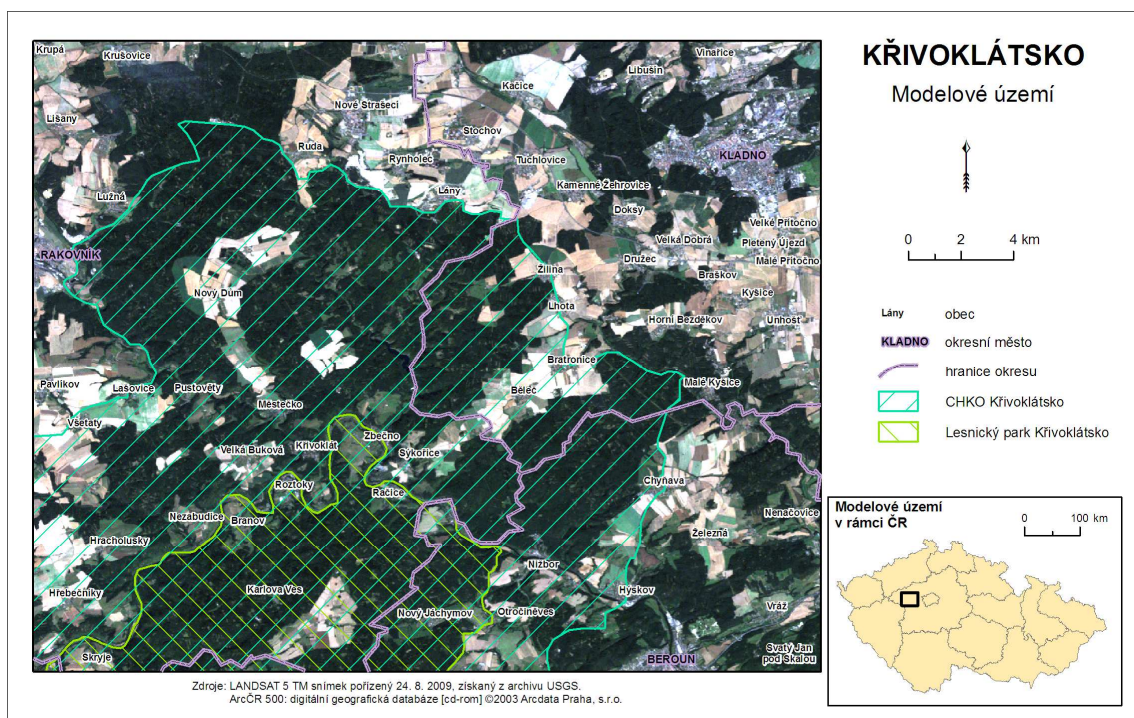
Jako modelové území pro veškeré klasifikace byla vybrána oblast západně od Prahy o velikosti 30 km x 24 km, která je z velké části tvořena chráněnou krajinnou oblastí Křivoklátsko, jejíž hranice se shodují se stejnojmennou biosférickou rezervací UNESCO. V roce 2010 zde byl také vyhlášen na části území jižně od Berounky první lesnický park ve střední Evropě (Ministerstvo zemědělství, 2011). Do zkoumaného území v diplomové práci bylo kromě části CHKO zahrnuto i území města Kladna, aby mohla být hodnocena klasifikace městské zeleně. Levý horní roh modelového území se tedy nachází na souřadnicích 50° 10' 34,9750" s. z. š., 13° 43' 44,3474" v. z. d. u obce Krupá, pravý dolní roh se nachází u Svatého Jana pod Skalou. Celé modelové území je zobrazeno v obrázku 2.

Území Křivoklátska bylo jako modelové území vybráno především z důvodu, že bylo za modelové území používáno i v projektech, na které tato diplomová práce přímo navazuje – Daniel, Kolář a Zeman (1995) a Daniel, Kolář a Beneš (1999). Daniel, Kolář a Zeman (1995) shrnují důvody volby tohoto území jako modelového – v první řadě je zde zachována vysoká lesnatost a vysoká diverzita krajinných typů. Také zde byl prokázán hojný výskyt populací *Ixodes Ricinus* a jako poprvé v ČR zaznamenan i výskyt klíšťové encefalitidy. Neposledně je oblast velmi turisticky atraktivní, což riziko nákazy klíšťovou encefalidou taktéž zvyšuje.

Osou CHKO Křivoklátsko je údolí řeky Berounky, přičemž její pravý břeh patří ke Zbirožské vrchovině, v níž leží i nejvyšší bod oblasti – vrch Těchovín (616 m n. m.), který se však nenalézá ve zvoleném modelovém území. V modelovém území je nejvyšším místem Krušná hora s výškou 609 m n. m. Levý břeh Berounky je tvořen Lánskou pahorkatinou. Nejnižším místem Křivoklátska je hladina Berounky v Hýskově (217 m n. m.). Území Křivoklátska klimaticky spadá do mírně teplé klimatické oblasti, okrsku MT 11. Mezoklima je obzvláště v zimě díky říčnímu fenoménu Berounky teplejší než v okolní krajině – ve vyšších nadmořských výškách je průměrná roční teplota 7 – 8 °C, v nižších pak 8 – 9 °C. Obrovský vliv

tu však hraje morfológická členitost, díky níž se rychle střídají mikroklimatické podmínky a dochází zde často k extrémním změnám teplot (jihozápadně orientované vrcholky kopců jsou extrémně teplé a suché, dna hluboce zařízých údolí a severní vlhké svahy pak odpovídají podmínkám v podhorských až horských oblastech). Srážkově je celá oblast ve srážkovém stínu Krušných hor (roční úhrn srážek se pohybuje okolo 500 – 600 mm, na severozápadě území je to pak ještě méně). Sněhová pokrývka se v oblasti udrží kolem 50 dnů s maximální průměrnou výškou sněhu 20 cm, což velmi ovlivňuje vegetaci – je zde značná převaha mezofilních společenstev. Na sklonku léta a v chladnějších měsících roku je pak pro oblast typická inverze, jejímž vlivem se tvoří noční mlhy, které často přetrvávají i celý den. Ty do lesů a bočních údolí Berounky přináší dostatek vlhkosti a umožňují tak výskyt některých živočišných i rostlinných druhů. (Patzelt et al., 2008)

Téměř celá oblast je charakteristická velkým podílem polopřirozených a přirozených lesů, se zastoupením 84 druhů původních lesních dřevin (běžně cca 20 z nich). Typické jsou především listnaté porosty s převahou typu černýšových dubohabřin v nižších polohách a lipových bučin ve vyšších polohách. Dříve se zde nacházely i hojně jedliny, avšak dnes je zde lze nalézt pouze sporadicky. Na skalních vrcholech kopců se zachovaly zbytky teplomilné a suchomilné vegetace (dub zimní, jeřáb břek, jeřáb muk, borovice lesní) Také tu lze nalézt devět z patnácti asociací keřové vegetace ČR. Celkem lesy zabírají 62 % Křivoklátska, což je nadprůměr celostátní lesnatosti v pahorkatinách a vrchovinách. (Patzelt et al., 2008)



Obr. 2 Mapa modelového území
(Zdroj: vlastní zpracování dat)

3.2 Data Landsat

Snímky pořízené družicemi Landsat jsou základním zdrojem informací pro tuto práci. Pro časový horizont 1998 až 2002 budou využita data získaná senzorem Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) na družici Landsat 7. Vzhledem k poruše senzoru ETM+ v květnu roku 2003 jsou však tato data nepoužitelná pro časový horizont 2006 – 2010. Pro něj tudíž budou použity snímky pořízené senzorem Thematic Mapper na Landsatu 5. Podrobnou charakteristiku obou senzorů shrnuje tabulka 2.

Data pořízená družicemi Landsat lze získat různými způsoby. Nejjednodušší možností je přímé bezplatné stažení dat z archivu americké geologické společnosti (U. S. Geological Survey, USGS). V tomto archivu se nejlépe vyhledává pomocí aplikace Earth Explorer, která je dostupná na URL adrese: <http://earthexplorer.usgs.gov/> (po krátké registraci odsud lze i přímo stahovat požadované scény). Data se stáhnou v komprimovaném formátu s příponou *.gz či *.tar.gz. Po jejich rozbalení složka obsahuje jednotlivá pásma multispektrální scény ve formátu GeoTIFF a soubory metadat. Tato družicová data jsou již předzpracovaná – korigovaná a georeferencovaná. K předzpracování dat využívá USGS systému NLAPS (National Land Archive Production System) pro některé scény pořízené senzorem TM a systému LPGS (Level 1 Product Generation System) pro scény pořízené senzory ETM+ i TM (USGS, 2009). Scény pro ČR jsou umístěny do souřadnicového systému UTM (zóna 33 U) na elipsoidu WGS-84. Data mohou mít různou úroveň polohové přesnosti – buď jsou korigována pouze systematicky radiometricky a geometricky (s pomocí informací předávaných družicí, úroveň L1G) nebo jsou korigována i s pomocí digitálního modelu terénu (v závislosti na území využívány modely SRTM, NED, CDED, DTED, či GTOPO 30)³ a pozemních kontrolních bodů (GCPs) pocházejících z databáze GLS 2005 (Global Land Survey) – úroveň L1T – tato úroveň přesnosti je častější (USGS, 2009). Nevýhodou těchto dat z USGS je fakt, že jsou převzorkována metodou kubické konvoluce, která průměruje radiometrické hodnoty 16 sousedících pixelů.

V archivu USGS jsou kompletní data ze všech Landsat misí pouze pro území Spojených států amerických. Pro ostatní území se zde nacházejí pouze vybraná data. Veškerá existující data jsou dostupná přes regionální stanice – pro Evropu přes Evropskou kosmickou agenturu (ESA). Veškerá Evropskou kosmickou agenturou poskytovaná družicová data se dají vyhledávat přes SW EOLi (Earth Observation Link) a s příslušnými přihlašovacími údaji se odsud dají i stahovat. Pomocí tzv. rychlé registrace (fast registration) je umožněn přístup k vybraným volně dostupným datům, tzn. Landsat scény převzorkované metodou kubické konvoluce (v SW EOLi označováno jako dataset kategorie 1, CAT-1). Po podání a schválení

³ SRTM = Shuttle Radar Topographic Mission, prostorové rozlišení 90 m (většina světa pod 60° s. š.)

NED = National Elevation Dataset, prostorové rozlišení 30 m (USA)

CDED = Canadian Digital Elevation Dataset, prostorové rozlišení 90 m (Kanada nad 60° s. š.)

DTED = Digital Terrain Elevation Data, prostorové rozlišení 90 m (Grónsko a Euroasie nad 60° s. š.)

GTOPO 30 = Global 30 Arc Second Elevation Data, prostorové rozlišení 900 m (Grónsko a Euroasie nad 60° s. š.)

(University of Maryland, 2010)

konkrétního projektu (tzv. full proposal) je možné získat bezplatný přístup i k dalším datům – ESA nabízí několik variant Landsat snímků – buď data zcela surová (RAW), pouze radiometricky korigovaná (RCI), systematicky korigovaná (SYC), georeferencovaná (GEO, zaručená polohová přesnost 300 m pro roviny), či ortorektifikovaná (GTC). Všechna korigovaná data lze získat převzorkovaná metodou nejbližšího souseda nebo metodou kubické konvoluce.

Tab. 2 Charakteristika senzorů Landsat
(Zdroj: Gisat, 2012)

český název	kód	LANDSAT 5 TM			LANDSAT 7 ETM+		
		pásma	λ [μm]	prostorové rozlišení [m]	pásma	λ [μm]	prostorové rozlišení [m]
Viditelné modré	blue	1	0,45 – 0,52	30	1	0,45 – 0,52	30
Viditelné zelené	green	2	0,52 – 0,60	30	2	0,52 – 0,60	30
Viditelné červené	red	3	0,63 – 0,69	30	3	0,63 – 0,69	30
Blízké IČ	NIR	4	0,76 – 0,90	30	4	0,77 – 0,90	30
Střední IČ	SWIR	5	1,55 – 1,75	30	5	1,55 – 1,75	30
Termální	TIR	6	10,40 – 12,50	120	6	10,40 – 12,50	60
Střední IČ	SWIR	7	2,08 – 2,35	30	7	2,08 – 2,35	30
Panchromatické	PAN	x	x	x	8	0,52 – 0,9	15

3.2.1 Vliv převzorkování scén Landsat na výsledek klasifikace

Pro diplomovou práci se podařilo získat na základě předložení projektu do Evropské kosmické agentury scénu 192/025 pořízenou senzorem TM na družici Landsat 5 dne 24. 8. 2009 georeferencovanou (GEO, úroveň L1G), převzorkovanou pomocí metody nejbližšího souseda. Stejná scéna byla také stažena z archivu USGS – ortorektifikovaná (úroveň L1T), ale převzorkovaná metodou kubické konvoluce. Tyto dvě scény se odlišují již na první pohled – viz obrázek 3.

Porovnávané georeferencované scény z USGS a ESA byly získány ve formátu GeoTIFF (jeden soubor pro každé pásmo). Pro další práci v SW Geomatica musely být zpracovány do souborů PCIDSK (což bylo provedeno v modulu Focus pomocí funkce Data Merge). Souřadnicový systém byl ponechán na UTM 33 U, velikost pixelu na 30 m (pro všechna pásma, tzn., že na tuto velikost bylo převzorkováno i termální šesté pásmo, které původně mělo prostorové rozlišení 120 m). Dále byl z obou hodnocených scén vytvořen výřez stejného území o velikosti 4950 x 4700 pixelů (zahrnující velkou část scény tak, aby se ve výřezu nevyskytovalo nedefinované černé pozadí samotných snímků). Problémem při určování tohoto výřezu však byla rozdílná úroveň přesnosti georeference scén z USGS (L1T) a z ESA (L1G). Scéna získaná z USGS (L1T) má dle Tuckera et al. (2004) zaručenou polohovou přesnost lepší než 50 m. Toto bylo potvrzeno vizuálními porovnáními scény s ortofotomapami z geoportálu

Cenia transformovanými taktěž do systému UTM (zóna 33 U) na elipsoidu WGS-84. Scéna z ESA (L1G) je vůči scéně z USGS posunuta o zhruba 336 m na jihozápad (o 4 pixely ve směru sloupců a o 11 pixelů ve směru řádků). Že se jednalo pouze o posun, bylo ověřeno pomocí 6 identických bodů nalezených v obou scénách (celková střední kvadratická chyba polynomické transformace 1. řádu 0,1975 m). Pomocí několika výrazných světlých pixelů byl tedy levý horní roh identifikován stejně na obou scénách a od něj byl vzat daný počet pixelů na šířku a délku.



Obr. 3 Porovnání různě předzpracovaných výřezů scény 192/025 z 24. 8. 2009 (okolí Bratronic)
(Zdroj: vlastní zpracování snímků z archivů ESA a USGS)

3.2.1.1 Srovnání pomocí neřízené klasifikace

Nejprve byla nad výše zmíněnými výřezy spuštěna v SW Geomatica neřízená klasifikace – ISODATA s defaultním nastavením, pouze počty požadovaných tříd byly sníženy na minimálně 5 a maximálně 7 tříd (požadovaných 6) a jako vstupní pásma byla zvolena všechna pásma kromě pásma termálního (šestého). Výsledky neřízené klasifikace obou snímků byly exportovány do tiff souborů a dále byly zpracovávány v SW ArcGIS.

V SW ArcGIS musely být nejprve oba výsledky klasifikace slícovány. Vzhledem k přesnějšímu umístění scény z USGS (tzn. i výsledku klasifikace této scény), byl tento použit jako referenční a výsledek klasifikace snímku z ESA byl s ním ztotožněn pomocí 4 vlíčovacích bodů (rohů snímků) a polynomické transformace 1. stupně (RMS chyba transformace byla 0,02 m), převzorkován byl metodou nejbližšího souseda, aby zůstaly zachovány hodnoty tříd. Po tomto kroku byly klasifikované scény porovnány nejprve vizuálně, čímž bylo zjištěno, že třída 2 klasifikovaného snímku z ESA odpovídá třídě 3 ve snímku z USGS a naopak. Výsledek klasifikace snímku z ESA byl tedy reklasifikován tak, aby názvy tříd odpovídaly názvům tříd v klasifikovaném snímku z USGS. Následně bylo provedeno již samotné porovnání obou výsledků klasifikací. To bylo provedeno tak, že rastr z USGS (braný jako referenční) byl reklasifikován tak, že každá třída byla vynásobena hodnotou 100 (hodnoty tříd 100 – 600). K tomuto rastru byl pak pomocí nástroje Raster Calculator přičten rastr obsahující výsledky klasifikace snímku z ESA (hodnoty tříd 1 – 6). Každá takto nově vzniklá třída udává, jaké třídy konkrétní pixel reprezentuje v obou snímcích (např. třída 106 značí, že daný pixel ve snímku z USGS byl klasifikován jako třída 1 a ve snímku z ESA jako třída 6). Počty pixelů pro všechny třídy byly vyexportovány do textového souboru a importovány do SW MS Office Excel, ve kterém byla vytvořena chybová matice a spočítány uživatelské a zpracovatelské přesnosti pro všechny třídy (viz tabulka 3)

Tab. 3 Chybová matice neřízené klasifikace snímku z ESA převzorkovaného metodou nejbližšího souseda (ESA NN) a snímku z USGS převzorkovaného metodou kubické konvoluce (pro výřez scény 192/025 z 24. 8. 2009)
(Zdroj: vlastní)

USGS \ ESA NN	1	2	3	4	5	6	celkem pixelů	uživatel. přesnost [%]
1	5 113 135	87 102	509 033	38 669	7 714	1 135	5 756 788	88,82
2	116 061	3 016 943	475 704	269 613	38 833	5 194	3 922 348	76,92
3	1 325 889	849 968	2 870 336	284 250	45 980	5 954	5 382 377	53,33
4	86 550	294 857	1 039 868	2 581 960	299 773	25 358	4 328 366	59,65
5	14 968	53 478	88 500	739 019	2 059 209	106 479	3 061 653	67,26
6	1 860	6 961	11 066	38 455	223 159	531 967	813 468	65,39
celkem p.	6 658 463	4 309 309	4 994 507	3 951 966	2 674 668	676 087	23 265 000	
zpracov. přesnost [%]	76,79	70,01	57,47	65,33	76,99	78,68		celková přesnost 69,52%

Poté byl ještě proveden pokus s převzorkováním scény z ESA (originálně převzorkované metodou nejbližšího souseda) kubickou konvolucí. Celá scéna z ESA převzorkovaná metodou nejbližšího souseda byla prostorově ztotožněna se scénou z USGS v SW Geomatica (modulu OrthoEngine). Bylo použito 9 kontrolních bodů (výrazných, většinou světlých pixelů identifikovatelných na obou scénách, viz obrázek 4) a metoda polynomické transformace 1. řádu. Výsledná RMS chyba byla 9,81 m (tj. 0,33 pixelu). Převzorkování bylo provedeno metodou kubické konvoluce. Následně byl proveden ořez scény na velikost 4950 x 4700 pixelů a byla spuštěna neřízená klasifikace s totožným nastavením jako výše (maximální počet tříd 7, minimální 5). Výsledek byl taktéž vyexportován do souboru tiff a načten do ArcMapu, kde byl stejnými postupy jako výše porovnán s výsledky klasifikace snímku z USGS a snímku z ESA původního, převzorkovaného pouze metodou nejbližšího souseda. Chybové matice uvádí tabulky 4 a 5:

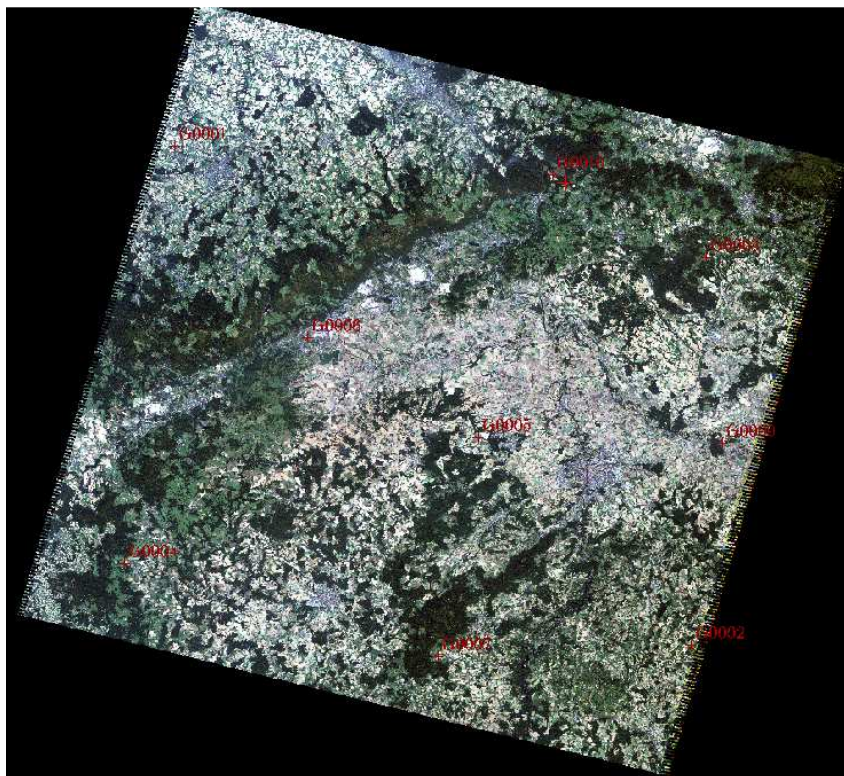
Tab. 4 Chybová matice neřízené klasifikace snímku z ESA převzorkovaného metodou kubické konvoluce (ESA CC) a snímku z USGS převzorkovaného metodou kubické konvoluce (pro výřez scény 192/025 z 24. 8. 2009)
(Zdroj: vlastní)

USGS ESA CC	1	2	3	4	5	6	celkem pixelů	uživatel. přesnost [%]
1	5 967 608	20 830	362 456	3 902	160	29	6 354 985	93,90
2	33 255	3 520 267	375 799	167 821	11 240	614	4 108 996	85,67
3	651 147	585 289	3 809 343	193 152	4 147	272	5 243 350	72,65
4	6 158	173 173	439 645	3 266 723	210 023	3 872	4 099 594	79,68
5	269	9 259	6 795	314 462	2 348 983	77 719	2 757 487	85,19
6	26	491	469	5 906	100 115	593 581	700 588	84,73
celkem p.	6 658 463	4 309 309	4 994 507	3 951 966	2 674 668	676 087	23 265 000	
zpracov. přesnost [%]	89,62	81,69	76,27	82,66	87,82	87,80		celková přesnost 83,84%

Tab. 5 Chybová matice neřízené klasifikace snímku z ESA převzorkovaného metodou nejbližšího souseda a snímku z ESA převzorkovaného metodou kubické konvoluce (pro výřez scény 192/025 z 24. 8. 2009) (Zdroj: vlastní)

ESA CC / ESA NN	1	2	3	4	5	6	celkem pixelů	uživatel. přesnost [%]
1	5 019 244	87 298	587 510	50 369	10 721	1 646	5 756 788	87,19
2	104 230	2 974 537	518 497	272 690	45 932	6 462	3 922 348	75,84
3	1 123 659	693 413	3 168 625	332 853	56 147	7 680	5 382 377	58,87
4	88 458	279 200	870 858	2 730 295	330 801	28 754	4 328 366	63,08
5	17 037	65 957	86 366	676 307	2 102 968	113 018	3 061 653	68,69
6	2 357	8 591	11 494	37 080	210 918	543 028	813 468	66,75
celkem p.	6 354 985	4 108 996	5 243 350	4 099 594	2 757 487	700 588	23 265 000	
zpracov. přesnost [%]	78,98	72,39	60,43	66,60	76,26	77,51		celková přesnost 71,09%

Z tabulek 3 až 5 lze vidět, že větší shodu vykazují klasifikace obou snímků převzorkovaných kubickou konvolucí (tj. snímku z USGS a snímku ESA převzorkovaného metodou kubické konvoluce), avšak pouze o zhruba 10 %.



Obr. 4 Kontrolní body pro ztotožnění snímku z ESA se snímkem z USGS a převzorkování kubickou konvolucí (scéna 192/025 z 24. 8. 2009) (Zdroj: vlastní zpracování snímků)

3.2.1.2 Srovnání pomocí řízené klasifikace

Porovnání výsledků řízené klasifikace Landsat scény z ESA převzorkované nejbližším sousedem (ESA NN) a scény z USGS převzorkované kubickou konvolucí z 24. 8. 2009 proběhlo již nad modelovým územím, které má velikost 1 000 x 800 pixelů s levým horním rohem na souřadnicích 50° 10' 34,9750" s. z. š., 13° 43' 44,3474" v. z. d. u obce Krupá (viz obrázek 2). Hodnoceny byly pouze lesní porosty a jejich klasifikace do pěti tříd daných legendou v kapitole 3.5. Jako trénovací plochy bylo použito 18 polygonů zaměřených při terénním průzkumu spolu s 18 plochami vymezenými na základě ortofotomap. Do řízené klasifikace obou snímků vstupovala pásma 2, 3, 4, 5 a 7 a nastavení klasifikátoru maximální pravděpodobnosti je podrobněji popsáno spolu s trénovacími plochami v kapitole 3.6.1. Klasifikace byla prováděna pod maskou lesa vytvořenou z dat ZABAGED (viz kapitola 3.4).

Celková přesnost klasifikace trénovacích ploch byla 85,11 % pro snímek převzorkovaný kubickou konvolucí z archivu USGS a 84,30 % pro snímek převzorkovaný metodou nejbližšího souseda z archivu ESA. V obou snímcích pak byly pozorovány stejné problémy – nejvíce mezi sebou byla zaměňována kategorie III (strukturně silně heterogenní mladé listnaté porosty a porostní rozhraní) a V (strukturně heterogenní listnaté porosty), dalších nejvíce zaměňovaných pixelů bylo mezi kategoriemi II (smíšené porosty) a IV (strukturně homogenní listnaté porosty), a poslední dvojicí, ve které docházelo k záměnám (i když výrazně nižším), byla IV a V (strukturně homogenní a heterogenní listnaté porosty). Tabulka 6 uvádí chybové matice trénovacích ploch pro oba snímky, hodnoty jsou vyjádřeny v procentech klasifikovaných pixelů.

Tab. 6 Chybová matice zpracování trénovacích ploch snímku z ESA převzorkovaného metodou nejbližšího souseda a snímku z USGS převzorkovaného metodou kubické konvoluce (modelové území, 24. 8. 2009)

(Zdroj: vlastní)

USGS	I	II	III	IV	V
I	97,16 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
II	2,41 %	72,27 %	0,00 %	8,26 %	0,47 %
III	0,00 %	0,00 %	46,88 %	0,70 %	9,35 %
IV	0,44 %	27,73 %	17,19 %	87,17 %	11,68 %
V	0,00 %	0,00 %	35,94 %	3,87 %	78,50 %

ESA NN	I	II	III	IV	V
I	96,31 %	2,75 %	0,00 %	0,18 %	0,00 %
II	3,47 %	66,97 %	4,41 %	9,98 %	0,00 %
III	0,00 %	0,00 %	52,94 %	1,07 %	7,48 %
IV	0,22 %	30,28 %	4,41 %	86,45 %	12,15 %
V	0,00 %	0,00 %	38,24 %	2,32 %	80,37 %

Přesnost klasifikace byla taktéž pro oba snímky zhodnocena na základě 30 kontrolních bodů (jejich popis viz kapitola 3.6.1). Snímek USGS dle nich byl klasifikován s celkovou přesností

63,33 %, snímek ESA s celkovou přesností 66,67 %. Přičemž 7 kontrolních bodů bylo vyhodnoceno stejně špatně pro oba snímky, ostatní (3 pro snímek ESA, 4 pro snímek USGS) byly pro každý snímek jiné. Hodnocení na základě kontrolních bodů pak potvrzuje trendy z hodnocení na základě trénovacích ploch – největší problémy byly v kategorii III (strukturně silně heterogenní mladé listnaté porosty a porostní rozhraní), která byla mylně klasifikována jako kategorie V (strukturně heterogenní listnaté porosty). V případě snímku z USGS dokonce nebyl žádný z kontrolních bodů kategorie III klasifikován správně, ve snímku ESA pak byly klasifikovány správně pouze 2 z 5. Ve snímku z USGS pak byly další záměny pozorovány nejvíce mezi kategoriemi IV a V (strukturně homogenní a heterogenní listnaté porosty), ve snímku ESA více záměny mezi kategorií IV a II (strukturně homogenní listnaté porosty a smíšené porosty). Podrobné informace o klasifikaci jednotlivých kontrolních bodů jsou uvedeny v tabulce 15 v kapitole 4. Výsledky (podkapitole 4.1).

Nakonec byly klasifikace porovnány mezi sebou (stejným postupem jako u hodnocení neřízené klasifikace, viz kapitola 3.2.1.1). Zjištěno bylo, že klasifikace se celkově shodují v 70,32 %. Chybovou matici uvádí tabulka 7. Vizualizace shodně a rozdílně klasifikovaných pixelů se zaměřením na nejproblematičtější třídu III je v obrázku 5.

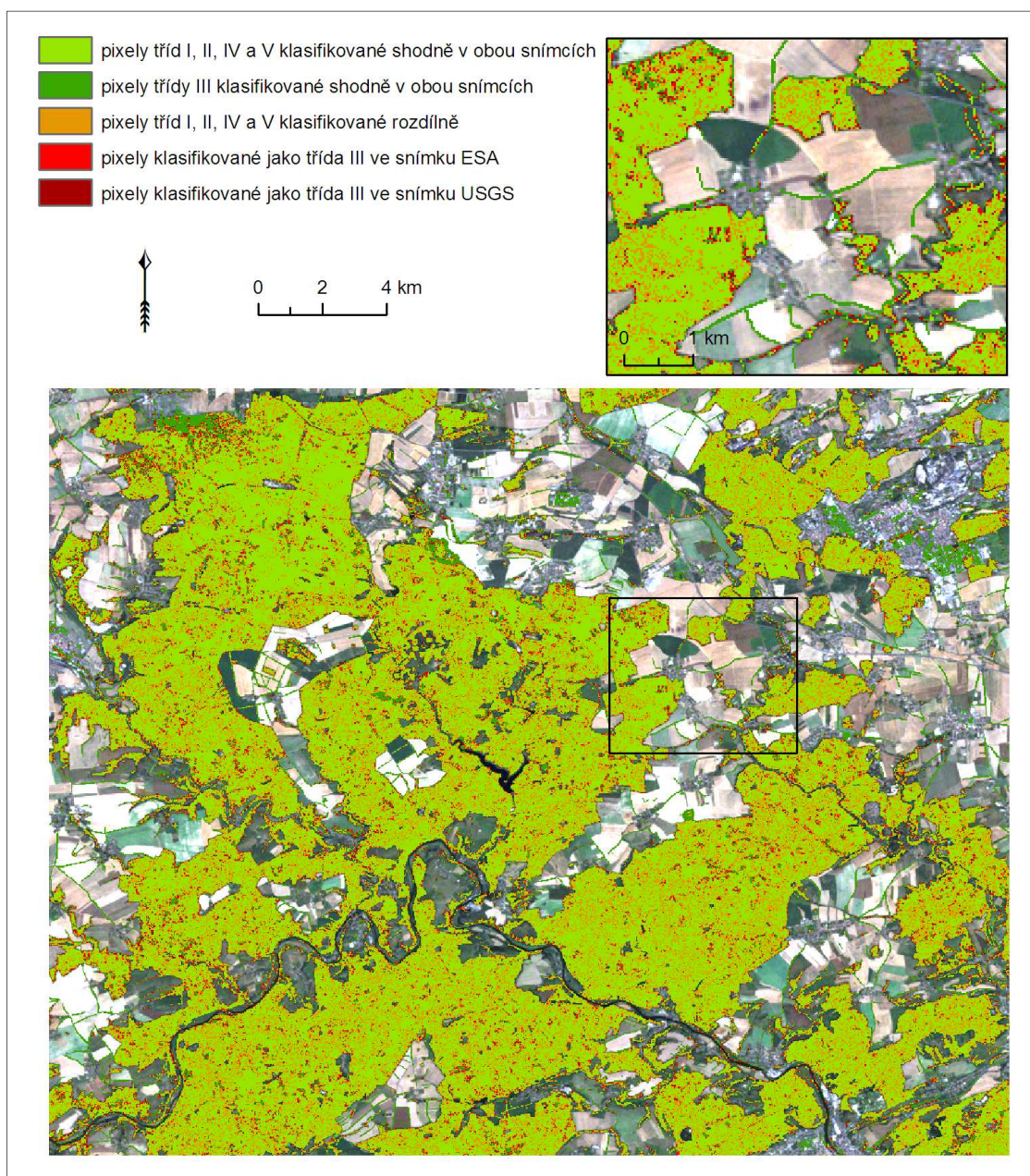
Tab. 7 Chybová matice řízené klasifikace snímku z ESA převzorkovaného metodou nejbližšího souseda a snímku z USGS převzorkovaného metodou kubické konvoluce (modelové území, 24. 8. 2009)
(Zdroj: vlastní)

USGS \ ESA NN	I	II	III	IV	V	celkem pixelů	uživatel. přesnost [%]
I	79 248	17 767	1 149	2 101	153	100 418	78,92
II	12 918	100 296	2 578	22 644	1 400	139 836	71,72
III	2 158	4 741	35 612	6 381	9 216	58 108	61,29
IV	1 642	21 504	2 185	73 824	7 380	106 535	69,30
V	133	1 350	6 098	7 787	22 053	37 421	58,93
celkem pixelů	96 099	145 658	47 622	112 737	40 202	442 318	
zpracov. přesnost [%]	82,46	68,86	74,78	65,48	54,86		celková shoda 70,32%

Z tabulek 6 i 7 je vidět, že jedinou kategorií klasifikovanou v obou snímcích velmi podobně je I (jehličnaté porosty). Přesnost její klasifikace je vysoká, zaměňuje se výrazněji pouze se smíšenými porosty (II). Větší problémy jsou ve zbylých čtyřech třídách, které jsou všechny složeny alespoň z části z určitého typu listnatých porostů, a tudíž jejich odrazivosti jsou si velmi podobné.

Jak je vidět z obrázku 5, ve snímku převzorkovaném metodou nejbližšího souseda z archivu ESA je kategorie III výraznější (vidět lze především na některých lesních okrajích, kde jako třída III je klasifikováno více pixelů než ve snímku z USGS), avšak snímek z USGS převzorkovaný metodou kubické konvoluce hlavní rysy této kategorie taktéž zachovává.

Naopak nápomocné je pravděpodobně převzorkování kubickou konvolucí v určení smíšených lesů, které se tolik „nerozpadají“ na směs pixelů třídy I a IV v případě, že se v rámci rozlehlejšího smíšeného lesa v jednom pixelu sejde větší skupinka stromů jehličnatých či listnatých. Avšak přesto, že v některých místech lze pozorovat tyto charakteristiky, ve většině snímku mají rozdílně klasifikované pixely vzhled „pepř a sůl“ a nelze tudíž identifikovat žádnou jasně danou strukturu, která by byla změněna převzorkováním snímku pomocí kubické konvoluce.



Obr. 5 Porovnání rozdílů mezi výsledky řízené klasifikace snímků ESA NN a USGS z 24. 8. 2009 na modelovém území
(Zdroj: vlastní zpracování snímků Landsat 5 TM)

3.2.2 Scény Landsat použité pro klasifikace

Jak bylo zjištěno v předchozí kapitole, shoda výsledků klasifikací snímků převzorkovaných metodou nejbližšího souseda a metodou kubické konvoluce je ve všech případech okolo 70 %. Pokusem s převzorkováním scény z ESA kubickou konvolucí a srovnáním výsledku neřízené klasifikace tohoto snímku s výsledkem neřízené klasifikace snímku převzorkovaného kubickou konvolucí v USGS bylo dosaženo taktéž pouze 83,84% shody, přičemž teoreticky při použití stejné metody by měly tyto klasifikace dávat totožné výsledky. Z toho lze usuzovat, že rozdíl v samotném převzorkování metodou nejbližšího souseda a kubické konvoluce může být okolo 10 %. Tomu by pak odpovídaly i výsledky porovnání scén pomocí řízené klasifikace, kdy na některých místech v obraze lze pozorovat vliv převzorkování (silnější okraje lesních porostů, označovaných jako třída III na některých místech v obraze při klasifikaci snímku z ESA převzorkovaného metodou nejbližšího souseda), ale ve většině obrazu mají rozdílně klasifikované pixely vzhled „pepř a sůl“ a příčina jejich rozdílných klasifikací není zcela jednoznačně vysvětlitelná (spočívá pravděpodobně v samotném klasifikátoru). Také bylo dokázáno, že hlavní rysy problémové kategorie III (která se vyznačuje především výskytem v úzkých páscech a mohla by tak být redukována převzorkováním pomocí kubické konvoluce) jsou shodné v obou snímcích. Tudíž by použití snímků převzorkovaných metodou kubické konvoluce z archivu USGS nemělo mít na výsledky klasifikací vážný negativní dopad. Ve prospěch snímků z USGS pak nejvíce hraje skutečnost jejich snadné dostupnosti. Není tudíž problém rychle sehnat i scény z mimovegetačního období, které by mohly být nápomocny ve zpřesnění klasifikací lesního porostu.

Všechny scény použité pro klasifikace v této diplomové práci tudíž pochází z archivu USGS. Označení scény, ve které se nachází modelové území, je 192/025. Dle metadat jednotlivých scén, jsou všechny scény typu L1T (převzorkovány metodou kubické konvoluce). Zpracovány byly pomocí softwaru LPGS a ortorektifikovány na základě digitálního modelu terénu vytvořeného v rámci GLS2000 – pro území České republiky se jedná o model SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) s prostorovým rozlišením 90 m odpovídající scénám systému WRS-2 s projekcí UTM na elipsoidu WGS-84 (University of Maryland, 2010). Další důležité charakteristiky jednotlivých použitých scén jsou shrnuty v tabulce 8a (horizont 2006 až 2010, Landsat 5 TM) a tabulce 8b (horizont 1998 až 2002, Landsat 7 ETM+)

Tab. 8a Charakteristika použitých scén Landsat 5 TM pro časový horizont 2006 – 2010
(Zdroj: metadata použitých scén)

parametr	29. 4. 2007	24. 8. 2009	30. 10. 2010
Čas pořízení [UTC]	09:51:50	09:46:37	09:46:58
Azimut Slunce [°]	151,7546509	150,0045394	163,4560102
Výška Slunce [°]	51,3150820	47,3462750	24,4808389

Tab. 8b Charakteristika použitých scén Landsat 7 ETM+ pro časový horizont 1998 – 2002
(Zdroj: metadata použitých scén)

parametr	3. 5. 2000	28. 7. 2002	6. 3. 2002
Čas pořízení [UTC]	09:49:25	09:45:25	09:46:05
Azimut Slunce [°]	150,4062260	143,3428154	153,5536085
Výška Slunce [°]	52,5415311	54,2792468	30,7385826

Poznámka: Azimut a výška slunce (*angl.* Sun Azimuth, Sun Elevation) jsou udávány pro střed scény. Azimut je udáván v hodnotách od 0 ° do 180 ° od severu na východ, od 0 ° do -180 ° od severu na západ. Výška slunce se pohybuje v hodnotách od -90 ° do 90 °, přičemž kladné hodnoty znamenají denní scénu, záporné noční. (USGS, 2011)

3.3 Terénní data

Celkem byly uskutečněny dva terénní výjezdy za účelem nalezení vhodných trénovacích ploch požadovaných lesních kategorií. První z výjezdů se odehrál 27. 9. 2011, kdy byly navštíveny lesy v celkem čtyřech lokalitách v severní části modelového území – jednalo se konkrétně o oblasti v okolí obce Lány a lokalit Ploskov, Pařeziny a Pilská. Celkově bylo pomocí GPS zaměřeno 25 různých ploch s přesností 5 – 10 m. Byla taktéž provedena jejich fotodokumentace a byly podrobně botanicky popsány. Dále pak bylo popsáno dalších 19 ploch, které již nebyly zaměřovány s pomocí GPS, ale byly pouze zakresleny v terénu do vytištěné ortofotomapy (jednalo se o plochy jasně určitelné na snímku).

Druhý terénní výjezd byl uskutečněn 16. 5. 2012 společně s botanikem RNDr. Jiřím Sádlem CSc., který pomohl přesně definovat jednotlivé lesní kategorie a určit je v terénu, a RNDr. Milanem Danielem DrSc., který již studovanou oblast velmi dobře zná z předchozích studií. Navštíveny byly lokality u Horního Bezděkova, Žiliny, Bratronic, PR Brdatky a Dřevíče, kde byly taktéž zaměřeny a nafoceny charakteristické trénovací plochy (celkem 12). V dalších navštívených lokalitách v okolí vodní nádrže Klíčava a obce Městečko nemohly být z důvodu nepřístupného terénu zaměřeny žádné plochy.

3.4 Ostatní data

Pro vytvoření masky lesa byla využita data Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED). ZABAGED je digitální geografický model území České republiky, který zobrazením geografické reality odpovídá podrobnosti Základní mapy České republiky v měřítku 1 : 10 000 (Pressová, 2012). Pro účely diplomové práce byla Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním (ČÚZK) bezplatně poskytnuta polohopisná data tematické kategorie 6. Vegetace a povrch v rozsahu celého modelového území. Základem pro vytvoření této tematické vrstvy byla Základní mapa České republiky v měřítku 1 : 10 000, která byla aktualizovaná pomocí

měřických leteckých snímků, ortofot a terénních šetření (Pressová, 2012). Pro vytvoření masky lesa pak byly využity podkategorie: 6.07 Lesní půda se stromy, 6.08 Lesní půda s křovinatým porostem, 6.10 Okrasná zahrada, park a 6.12 Liniová vegetace. Geometrická přesnost všech využitých vrstev je úrovně B až C, což znamená střední polohovou chybu do 5 resp. 15 m (Pressová, 2012). První tři použité vrstvy jsou polygonové, poslední liniová – aby mohla být využita, byla kolem linií vytvořena obalová zóna 15 m, a tak převedena taktéž na polygonovou vrstvu. Následně byly vrstvy spojeny, převedeny ze souřadnicového systému S-JTSK do UTM a převedeny do rastru – bitmapy s velikostí pixelu odpovídající Landsatu, tzn. 30 m. K dalšímu zvážení a zahrnutí do masky lesa by byly ještě kategorie 6.11 Významný nebo osamělý strom, lesík (problémem je, že tato vrstva je bodová a nelze určit rozlohu porostu – v mnoha případech je menší než 30 x 30 m², v jiných případech se však může jednat i o rozlehlejší porosty – 2 až 3 pixely Landsatu, geometrická přesnost této vrstvy je úrovně C, tzn. do 15 m), 6.04 Ovocný sad, zahrada a 6.09 Lesní půda s kosodřevinou (pouze pokud by byly brány do hodnocení rizika nákazy klíšťovou encefalitidou i oblasti ČR nad hranicí lesa).

Vrstevnice ze ZABAGED výškopisu byly použity k vytvoření digitálního modelu terénu modelového území o velikosti pixelu opět 30 x 30 m². Z takto vytvořeného DMT byly pak počítány rastry sklonitosti a orientace.

Posledním velmi důležitým datovým podkladem byly ortofotomapy. Pro časový horizont 2006 – 2010 byla využita ortofotomapa načítaná do SW ArcGIS z Národního geoportálu INSPIRE. Název této vrstvy je cenia_rt_ortofotomapa_aktualni, její prostorové rozlišení je 50 cm a byla pořízena v roce 2010 společností Geodis Brno (CENIA, 2012). Výhodou této ortofotomapy je, že modelové území bylo nasnímáno na podzim a tudíž šlo velmi dobře vizuálně rozlišit listnaté a jehličnaté porosty. Pro časový horizont 1998 – 2002 byla využívána ortofotomapa aktuální k roku 2003 na serveru Mapy.cz, taktéž pořízená společností Geodis Brno.

3.5 Klasifikační legenda

Klasifikační legenda musí v první řadě dbát na to, aby vytvořené lesní kategorie odpovídaly různému riziku nákazy klíšťovou encefalitidou. V projektech Daniela, Koláře, Zemana (1995) a Daniela, Koláře, Beneše (1999) bylo pomocí neřízené klasifikace nadefinováno a poté v terénu botanicky popsáno následujících 9 tříd (jejichž podrobný popis je uveden v příloze 2):

- 1) Strukturně homogenní smrkové kultury
- 2) Strukturně a druhově heterogenní jehličnaté porosty
- 3) Smíšené porosty, většinou vysoké (kmenoviny) a s převahou jehličnanů
- 4) Listnaté křoviny s drobným zrnem porostní mozaiky
- 5) Smíšené porosty, většinou nízké (mlází a tyčoviny) a s převahou listnáčů
- 6) Strukturně silně heterogenní mladé listnaté porosty a porostní rozhraní (ekotony)
- 7) Strukturně homogenní listnaté tyčoviny
- 8) Strukturně homogenní listnaté kmenoviny

9) Strukturně heterogenní listnaté kmenoviny

Vzhledem k překryvům tříd v klasifikační legendě a nemožnosti jejich opětovného definování v terénu došlo ke sloučení některých tříd a úpravě jejich definic. Při slučování bylo dbáno na riziko nákazy klíšťovou encefalitidou původních tříd. Tabulka 9 uvádí přehled tříd původních, jejich nové označení a jejich rizikovost.

Tab. 9 Sloučení původních lesních tříd do tříd nových
(Zdroj: vytvořeno na základě Daniela, Koláře, Beneše (1999))

původní třídy	nová třída	riziko nákazy klíšťovou encefalitidou
1, 2	I	bez rizika
3, 4, 5	II	+++
6	III	++++
7, 8	IV	++
9	V	+

Poznámka: Více křížků odpovídá většímu riziku nákazy klíšťovou encefalitidou.

Třída I – Jehličnaté porosty – zahrnuje především jednodruhové stejnověké monokultury jehličnatých stromů (především smrky a borovice). Jedná se buď o vzrostlé stromy, pod nimiž se může nacházet i slabě vyvinutý podrost (příloha 3a) nebo o mladší stromy, většinou s velmi hustě zapojenými korunami a žádným podrostem (příloha 3b). Sporné jsou – především borovicové – lesy s menší pokryvností stromového patra a s hustě vyvinutým podrostem (původně třída 2), pokud je podrost tvořen vysokými keři či listnatým mlázím a tyčovinami, a prosvítá skrz koruny stromů (příloha 3d), jedná se již o kategorii smíšených porostů (II), jinak patří do kategorie I (příloha 3c). Do této kategorie rozhodně nepatří školky malých jehličnanů, které jsou prorostlé vysokými travinami, keři či listnatým mlázím (patří do kategorie III) – příloha 3f.

Třída II – Smíšené porosty – je tvořena kombinací jehličnatých a listnatých porostů. Typickým zástupcem jsou namíchané dospělé stromy (s alespoň 30 % méně zastoupené složky), přičemž jehličnany bývají vyšší a pod nimi se nacházejí koruny listnatých stromů (uzavřené stromové patro) – příloha 3e. Druhou variantou jsou jehličnany s malou pokryvností stromového patra a velké množství listnatého podrostu (keře, mláží, tyčoviny) – příloha 3d.

Třída III – Strukturně silně heterogenní mladé listnaté porosty a porostní rozhraní (ekotony) – zahrnuje okraje lesů či rozhraní různých porostů, kde je dostatek světla. Tyto plochy jsou často velmi úzké (často užší než 1 pixel Landsatu, tj. 30 m). Skládají se především z keřů, listnatého mláží a případně i tyčovín, vysokých travin. Další variantou této kategorie jsou již zmiňované školky jehličnatých stromků, obohacené o listnatou složku (mláží – břízy apod., traviny, ostružiníky,...), příloha 3f. Stejně tak sem patří strukturně velmi heterogenní mladé listnaté porosty, jejichž součástí je velmi hustý podrost – viz příloha 3g. Dalšími

variantami této kategorie jsou meze mezi poli, keřovité porosty na loukách či liniová vegetace podél vodních toků a polních cest.

Třída IV – Strukturně homogenní listnaté porosty – zahrnuje kategorii homogenních listnatých tyčovin a homogenních listnatých kmenovin. Homogenní listnaté tyčoviny jsou mladé listnaté stromy s průměrem kmene okolo 10 cm, podrost pod nimi většinou zcela chybí či je tvořen pouze travinami (příloha 3h). Homogenní listnaté kmenoviny jsou reprezentovány dospělými listnatými stromy s velkou pokryvností stromového patra, pod kterými by neměl být rozvinut podrost (bylinný je možný, ale křovinný by měl zcela scházet) – příloha 3i.

Třída V – Strukturně heterogenní listnaté porosty – je typicky charakterizována vysokými listnatými stromy s nízkou pokryvností stromového patra, kterým prosvítá podrost, kterým mohou být buď traviny s keří nebo malé plochy tyčoviny (mlází) do velikosti jednoho pixelu Landsatu (neprojeví se tudíž jako samostatná kategorie) – příloha 3j.

Kategorie V (původně 9) se však zdá být velmi ovlivněna terénem, proto byla podrobena detailnější analýze s cílem dokázat, že nejčastěji byla klasifikována na osluněných svazích. Byl tedy vytvořen digitální model terénu zájmového území, a to z vrstevnic ZABAGED, jejichž základní interval je 5, 2, nebo 1 m v závislosti na charakteru terénu. DMT byl vytvořen v SW ArcGIS pomocí funkce Topo to Raster, kde velikost pixelu byla definována shodně se snímkem Landsat – tzn. 30 m. Pomocí takto vytvořeného DMT byly spočítány rastry sklonitosti a orientace. Pro další analýzy pak byla vytvořena maska svahů, jejichž sklon je vyšší než 10° a jsou přikloněny k Slunci – tzn., jejichž azimut je od 105° do 195° (azimut Slunce byl v použitých scénách přibližně 150°). Obdobně byla vytvořena maska pro svahy se sklonem větším než 15° . S DMT byl srovnáván výsledek klasifikace z atlasu Klíšťová encefalitida v České republice (Daniel, Kříž; 2002). Problémem však bylo to, že dostupný rastrový výstup (zobrazující pouze devět kategorií lesních porostů) z tohoto projektu není georeferencovaný, tudíž jeho ztotožnění se snímkem Landsat z USGS bylo komplikované a provedeno bylo pomocí vlíčovacích bodů u nichž nelze s jistotou říci, že byly vybrány správně (i přesto, že byly vybírány především pixely reprezentující výrazné lesní okraje nebo malé lesíky). Nicméně střední polohová chyba (RMSE) afinní transformace na základě takto určených osmi bodů dosáhla velikosti 0,63 pixelu.

Výsledky analýz jsou uvedeny v tabulkách 10 a 11. Potvrzují domněnku, že na svazích orientovaných přibližně na jihovýchod se vyskytuje převážně kategorie porostu 9 (resp. V v novém klasifikačním systému). Pod maskou lesa tato kategorie strukturně heterogenních listnatých porostů pokrývá 18,21 % osluněných svahů se sklonem větším jak 10° a 25,90 % osluněných svahů se sklonem větším jak 15° (tabulka 11). Zkoumáním prostorového rozložení třídy 9 pak bylo zjištěno, že 35,66 % její rozlohy se nachází právě na osluněných lesnatých svazích se sklonem větším jak 10° , 25,90 % pak na svazích se sklonem větším jak 15° (tabulka 10). Z těchto výsledků vyplývá otázka, zda je tato lesní kategorie opravdu botanicky specifická a její skladba je stejná jak na rovinách, tak svazích, či zda se na svazích může jednat o klasickou kategorii homogenních listnatých porostů, jejíž odrazivost je ovlivněna geometrií snímaní.

Tab. 10 Výskyt lesních kategorií na svazích s azimutem od 105 ° do 195 °
(Zdroj: vlastní výpočty)

třída	celkem pixelů		svahy se sklonem > 10 °		svahy se sklonem > 15 °	
	bez masky lesa	pod maskou lesa	bez masky lesa [%]	pod maskou lesa [%]	bez masky lesa [%]	pod maskou lesa [%]
0	357 953	54 767	-	-	-	-
1	39 189	38 648	0,97	0,97	0,17	0,16
2	49 056	47 830	2,13	2,13	0,60	0,61
3	68 447	66 507	4,01	4,03	1,45	1,46
4	71 433	37 498	5,61	6,65	2,05	2,85
5	49 943	48 800	4,17	4,22	1,37	1,39
6	42 754	36 258	11,63	12,34	5,76	6,37
7	52 513	50 463	8,24	8,32	3,48	3,56
8	48 770	46 155	15,61	15,92	8,42	8,66
9	19 942	15 392	28,55	35,66	20,02	25,39
celkem	800 000	442 318	-	-	-	-

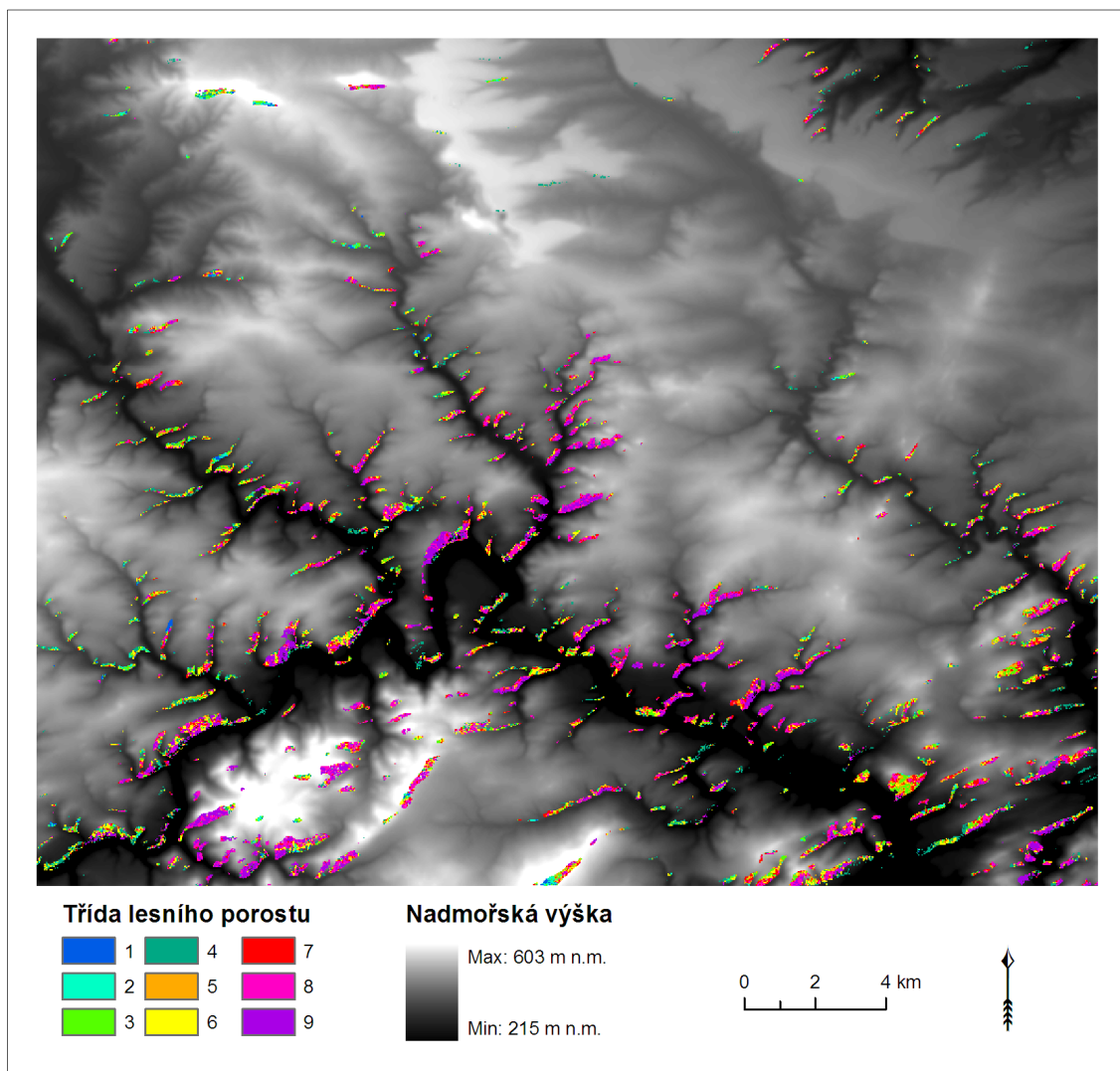
Poznámka: Vypočítáno jako počet pixelů dané třídy ve svazích ku celkovému počtu pixelů dané třídy v modelovém území

Tab. 11 Analýza výskytu kategorie 9 – strukturně heterogenní listnaté porosty
(Zdroj: vlastní výpočty)

	celkem pixelů	třída 9 [počet pixelů]	% svahů
svahy* se sklonem > 10°	32 868	5 693	17,32
- pod maskou lesa	30 135	5 489	18,21
svahy* se sklonem > 15°	15 882	3 993	25,14
- pod maskou lesa	15 089	3 908	25,90

Poznámka: Vypočítáno jako počet pixelů třídy 9 ve svazích ku celkovému počtu pixelů tvořících svahy.
* Opět byly brány v úvahu svahy s azimuty od 105 ° do 195 °.

Výsledky jsou taktéž znázorněny v obrázku 6, ve kterém je ukázána situace pro osluněné svahy se sklonem větším jak 10 ° a všechny kategorie.



Obr. 6 Výskyt devíti typů lesních tříd z atlasu Klíš'ová encefalitida v ČR (Daniel, Kříž; 2002) na svazích s jihovýchodní orientací a sklonem větším než 10° (Zdroj: vlastní zpracování výstupu z atlasu Klíš'ová encefalitida v ČR (Daniel, Kříž, 2002))

3.6 Metoda klasifikace

Ke klasifikaci do definovaných pěti tříd typů lesního porostu byla využita metoda řízené klasifikace s klasifikátorem maximální pravděpodobnosti v SW Geomatica. Na základě terénního průzkumu a ortofot byly definovány trénovací plochy a kontrolní body, poté byly testovány různé přístupy ke klasifikaci – klasifikace jedné scény Landsat z vegetačního období a multitemporální přístup s různě předzpracovanými daty (atmosféricky nekorigovanými, korigovanými pomocí ATCOR 2 a ATCOR 3, a daty odvozenými pomocí analýzy hlavních komponent a vegetačních indexů). Veškeré níže uvedené informace se týkají novějšího časového horizontu 2006 – 2010, pro který lze využít informace zjištěné terénním průzkumem. O metodě klasifikace časového horizontu 1998 – 2002 pak pojednává samostatná podkapitola (3.6.3).

3.6.1 Trénovací plochy a kontrolní body

Z celkem 56 navštívených ploch během terénních průzkumů v září 2011 a květnu 2012 muselo být díky své nereprezentativnosti 8 z nich vyloučeno z dalších analýz – jednalo se o plochy velmi malé svoji rozlohou (příkladem může být smrkový hustník uprostřed listnatého lesa, který po zakreslení nad snímkem Landsat neobsahoval ani jeden celý pixel, pouze 4 částečně, což znamená, že v nich byly namíchané odrazivosti jak jehličnatého hustníku, tak okolního listnatého lesa). Ze ostatních 48 ploch bylo 18 použito jako trénovací plochy a zbylých 30 bylo ponecháno pro účely hodnocení klasifikací.

Vzhledem k tomu, že 18 ploch se ukázalo být nedostatečných pro definici trénovacích ploch, byly tyto plochy rozšířeny o dalších 18 ploch vytvořených na základě vizuální interpretace ortofotomapy z roku 2010 (načítané z Národního geoportálu INSPIRE) a snímků Landsat v RGB kompozitu 5-4-3, především pak snímků z 30. 10. 2010 a 29. 4. 2007. Tímto přístupem bylo taktéž zjištěno, že především v pásmu 4 mají mladé husté jehličnaté porosty značně vyšší odrazivost než vzrostlé monokultury (viz obrázek 7, kapitola 3.6.2), tudíž byla vytvořena spektrální podkategorie I_1 právě pro tuto skupinu. Stejně tak bylo zjištěno, že především v říjnovém snímku s nižší výškou Slunce nad obzorem (viz tabulka 8a, kapitola 3.2.2) je vyšší odrazivost homogenních listnatých porostů v mírně skloněném terénu do 10 °, byla tedy taktéž vytvořena pro tento jev speciální spektrální podtřída IV_4, aby nedocházelo k nadměrným záměnám s kategorií V. Tyto dvě vytvořené spektrální podtřídy (I_1 a IV_4) byly v rámci klasifikačního procesu spojeny s příslušnými třídami lesního porostu a přesnost jejich klasifikace byla hodnocena v rámci nich. Průměrné odrazivosti trénovacích ploch všech tříd v různých ročních obdobích v jednotlivých pásmech Landsatu jsou znázorněny v obrázku 7. Rozsah trénovacích ploch a nastavení parametru threshold, který značí poloměr hyperelipsy v příznakovém prostoru, jejíž střed je definován jako průměr DN hodnot pixelů náležících dané třídě (PCI Geomatics, 2007), je uveden v tabulce 12. Hodnota parametru bias (který slouží k rozhodnutí, do které třídy daný pixel spadá, pokud se jeho spektrální charakteristiky podobají více třídám) zůstala nastavena pro všechny třídy na hodnotě jedna, neboť v území není žádný zcela převažující typ lesních porostů, který by touto volbou měl být zvýhodněn. Takto vytvořené nastavení klasifikátoru bylo použito pro veškeré klasifikace.

Tab. 12 Rozsah trénovacích ploch pro jednotlivé kategorie lesního porostu a nastavení klasifikátoru maximální pravděpodobnosti pro časový horizont 2006 – 2010 (Zdroj: vlastní)

třída	počet ploch	počet pixelů	threshold
I	7	404	5,00
I_1	6	53	3,00
II	6	220	4,00
III	6	64	2,00
IV	5	368	5,00
IV_4	2	201	3,00
V	4	214	3,00

Vrstva kontrolních bodů byla vytvořena ze zbylých třiceti ploch z terénního průzkumu jako bodová vrstva v SW ArcMap tak, že kontrolní bod byl umístěn do pixelu, který je celou svojí plochou obsažen v ploše příslušné třídy zaměřené v terénu. Pokud takovýto pixel neexistoval, byl vybrán pixel, který do zaměřené plochy zasahoval největší částí. Toto bylo děláno z důvodu, aby daný kontrolní bod byl reprezentativní pro danou třídu a neobsahoval namíchanou spektrální informaci ze sousedního porostu. Počty kontrolních bodů pro jednotlivé kategorie shrnuje tabulka 13. Tato vrstva kontrolních bodů byla využita k hodnocení veškerých klasifikací. Rozmístění trénovacích ploch a kontrolních bodů je graficky znázorněno v příloze 4.

*Tab. 13 Počet kontrolních bodů pro jednotlivé kategorie lesního porostu v období 2006 – 2010
(Zdroj: vlastní)*

třída	počet bodů
I	10
II	4
III	5
IV	8
V	3

3.6.2 Multitemporální přístup ke klasifikaci

Jak bylo již zmíněno v kapitole 3.2.1.2, řízená klasifikace pouze nad jedním snímkem Landsat z vegetačního období (24. 8. 2009) nedává zcela uspokojivé výsledky v oddělení jednotlivých kategorií lesních porostů. Vzhledem k tomu, že listnaté stromy a keře mění svůj vzhled v průběhu roku (barvení a opadávání listů na podzim, opětovné rašení nových listů na jaře), byly hledány scény Landsat pořízené v neletních měsících. Avšak kvůli častému výskytu oblačnosti nad Českou republikou je problém takovéto snímky najít. Zcela bezoblačné scény neexistují. Alespoň částečně nezakryté snímky oblačností se podařilo nalézt v archivu USGS z 29. 4. 2007 a 30. 10. 2010 (jejich charakteristiky již byly uvedeny v tabulce 8a). Prvním krokem před využitím těchto snímků muselo být odmaskování oblačnosti (odmaskování stínů mraků bylo řešeno dodatečně, viz kapitola 4.1.1). Odmaskování oblačnosti bylo provedeno pomocí neřízené klasifikace ISODATA obou snímků (vstupní pásma 1 až 5 a 7, defaultní nastavení klasifikátoru v SW Geomatica). Výsledky klasifikace byly reklasifikovány na dvě třídy (oblačnost a ostatní), které byly uloženy jako bitmapa. Nakonec byly obě masky oblačnosti pro oba mimovegetační snímky spojeny a spojeny byly zároveň i s maskou lesa vytvořenou na základě dat ZABAGED, a veškeré následující řízené klasifikace byly prováděny pouze nad lesními porosty, které nebyly v žádném z používaných snímků zakryty oblačností.

Aby mohlo být se všemi daty pohodlně pracováno v SW Geomatica, byl pro modelové území vytvořen soubor PCIDSK, složený z pásem 1 – 5 a 7 všech tří využívaných snímků (29. 4. 2007, 24. 8. 2009 a 30. 10. 2010), bitmapy s maskou lesa a zároveň oblačnosti a z vektorových vrstev trénovacích ploch a kontrolních bodů. Jak shrnuje Song et al. (2001),

pokud jsou multitemporální data v jednom datasetu a trénovací plochy jsou vybírány nad všemi pásmy, není potřeba provádět atmosférické korekce. Tudiž prvním testovaným přístupem klasifikace multitemporálních dat byla řízená klasifikace, do níž vstupovala všechna pásma, obsažená ve vytvořeném souboru PCIDSK s výjimkou pásem ve vlnových délkách modrého viditelného světla, která jsou nejvíce ovlivněna atmosférou (celkem tedy 15 pásem). Trénovací plochy a nastavení klasifikátoru maximální pravděpodobnosti již bylo popsáno v tabulce 12.

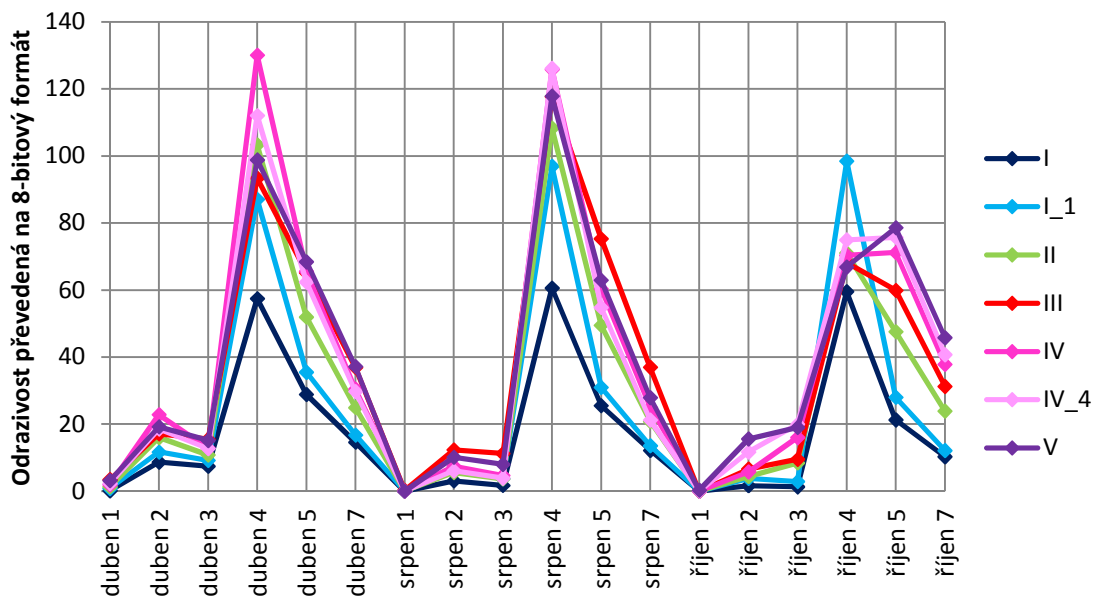
Pásma multispektrálního obrazu však bývají často velmi korelovaná, obzvláště pokud je Slunce nízko nad obzorem a v obraze se nacházejí stíny (Schowengerdt, 2007), a je tudíž zbytečné je využívat ke klasifikaci všechna (na modelovém území to nevádí, ale na celé scéně by mohlo být použití 15 vstupních pásem již výpočetně náročné). Pro odstranění korelace mezi pásmy a „zhuštění informace“ do několika pásem byla využita metoda hlavních komponent (*angl.* Principal Component Analysis, PCA). Vstupem do výpočtu byla všechna pásma hodnocených snímků Landsat a také maska lesa a oblačnosti. Pokud se žádná maska nezadá, komponenty jsou určovány na základě hodnot pixelů každého osmého řádku celého obrazu, což umožňuje rychlejší proběhnutí algoritmu (PCI Geomatics, 2007). Se zadáním masky lesa je hlavní komponenta určena v místě největšího rozptylu hodnot pixelů lesních kategorií. Tato komponenta nese 72,23 % veškeré informace, druhá komponenta 8,40 % a třetí 7,58 %, komponenty čtyři až šest pak obsahují více jak 1 % informace (celkem těchto prvních šest komponent nese 97,96 % informace z původních 18 pásem). Těchto šest komponent pak bylo zvoleno jako vstup do dalšího klasifikačního procesu se stejnými trénovacími plochami a nastavením parametru threshold klasifikátoru maximální pravděpodobnosti jako v předchozím případě (viz tabulka 12).

Dalším testovaným přístupem bylo, zda se na výsledku klasifikace projeví, bude-li na vstupní data použita atmosférická korekce. Využit byl model atmosférické korekce ATCOR 2, který je součástí SW Geomatica. Každá z využívaných scén byla korigována samostatně. Prvním krokem korekce je výpočet masek oblačnosti a kouřma (algoritmus: Masking – Calculation of Haze/Cloud mask). Vstupem do tohoto algoritmu musí být pásma ve vlnových délkách modrého či zeleného viditelného spektra a červeného (tzn. pásma Landsatu TM 1 a 3), volitelně pak může vstupovat ještě pásmo v blízkém infračerveném oboru spektra (Landsat TM pásmo 4), aby se zabránilo odmaskování vodních nádrží. Tato pásma byla zadána. Nebylo využito možnosti zadat pásmo ve vlnových délkách mezi 1,5 a 1,8 μm (Landsat TM pásmo 5), které je užitečné pouze v případě, že se ve scéně kromě oblačnosti nachází také sníh. Dalšími zadávanými parametry jsou typ družice a senzoru a kalibrační soubor družice, který byl vytvořen na základě aktuálních hodnot parametrů „gain“ a „bias“ pro senzor TM (viz poslední sloupeček v tabulce 1 v kapitole 2). Poslední zadávanou informací je zenitový úhel Slunce. Výstupem je pak bitmapa oblačnosti a kouřma a tzv. snímek Hot Level, který je využit při redukci kouřma ve snímku (PCI Geomatics, 2007). Vstupem do samotného algoritmu ATCOR 2 jsou pak pásma družice, která mají být korigována, a předchozím krokem vytvořený snímek Hot Level a bitmapy oblačnosti a kouřma. Parametry s hodnotami shodnými pro všechny tři snímky byly: typ satelitu a senzoru (Landsat 5 TM), kalibrační soubor družice

(stejný jako byl načítaný do algoritmu Masking), typ korekce (zvolen konstantní typ atmosféry) a průměrná výška scény zadávaná v kilometrech nad mořem (0,392 km, spočítáno z vytvořeného DMT modelového území), další hodnoty parametrů se měnily – datum pořízení scény, zenitový úhel Slunce (spočítán jako 90° - výška Slunce, obsažená v souboru metadat pro každou scénu, viz tabulka 8a) a definice atmosféry. Ta byla definována jako venkovská (Rural) ve všech případech, pro srpnový snímek však byla specifikována jako letní v mírných zeměpisných šířkách (Mid_Latitude Summer), pro snímky z října a dubna byla zadána specifikace podzimní/jarní (Fall/Spring). Problém byl v určení parametru dohlednosti (*angl.* Visibility) – tato informace není udávána v metadatech Landsatu a není ani k dohledání na internetu pro dané historické časové horizonty a území. Byla tudíž odhadnuta na 30 km pro bezoblačný srpen a 20 km pro ostatní snímky. Spočítané hodnoty odrazivosti Geomatica opět převádí do 8bitového datového formátu (tj. na celočíselné hodnoty od 0 do 255). Po provedení korekcí nad všemi snímky byly výstupy spojeny do souboru PCIDSK a nad všemi pásmy mimo prvních byla provedena řízená klasifikace s nastavením klasifikátoru maximální pravděpodobnosti uvedeným v tabulce 12.

Obdobného postupu jako při aplikaci korekce ATCOR 2 bylo využito při korekci ATCOR 3. Avšak vzhledem k tomu, že tento algoritmus koriguje i topografické vlivy, je potřeba zadat informace o terénu – konkrétně načíst DMT a rastry sklonitosti a orientace. Navíc je potřeba zadat parametry β_T a g (v Geomatice označováno jako Threshold angle a Lower BRDF boundary). Hodnoty těchto parametrů byly odhadnuty na základě postupu dle Richtera, 2009, Cit. In Balthazar, Vanacker, Lambin, 2012, zmiňovaného v kapitole 2.2.3. Nad takto korigovanými daty byla opět provedena klasifikace.

Dat atmosféricky korigovaných pomocí ATCOR 3 bylo také využito ke grafickému znázornění průměrných odrazivostí trénovacích ploch jednotlivých hodnocených tříd v jednotlivých pásmech Landsatu – viz obrázek 7. Z tohoto grafu je jasně vidět velká podobnost v odrazivostech všech klasifikovaných tříd. Pozorovat lze taktéž typické projevy vegetace, jejíž maximální odrazivost je v blízkém infračerveném pásmu (0,76 – 0,90 μm), a odrazivost porostů obsahujících listnatou složku je ve vegetačním období vyšší než odrazivost jehličnatých porostů. V říjnovém snímku se pak po opadání listů ve všech kategoriích listnatých porostů na odrazivosti podílí velkou měrou odrazivost půdy, která zapříčiňuje maximum v pátém pásmu Landsatu ve vlnových délkách 1,55 – 1,75 μm a mírný nárůst odrazivosti i v pásmu viditelného zeleného a červeného záření. Toto je nejlépe pozorovatelné na kategorii V – strukturně heterogenních listnatých porostech, ve kterých jsou velké porostní mezery a půda se tam má šanci projevit nejvíce. Možné je také pozorovat již zmiňované rozdíly v odrazivostech vzrostlých jehličnatých porostů (třída I) a mladých hustých jehličnatých porostů (třída L_1), jejichž odrazivosti jsou vyšší ve všech pásmech. Stejně tak je vidět rozdílnost třídy IV a IV_4, na jejíž odrazivosti se pravděpodobně podílí mírný sklon terénu. Dále pak tento graf dokazuje nepodstatnost pásma 1 (v modré oblasti spektra) pro klasifikace lesních tříd, neboť po korekci atmosférických vlivů je pro všechny klasifikované třídy hodnota odrazivosti v tomto pásmu v podstatě totožná, téměř nulová, a to ve snímcích ze všech ročních období.



Obr. 7 Průměrná odrazivost trénovacích ploch jednotlivých lesních tříd v jednotlivých pásmech snímků Landsat z dubna, srpna a října (po aplikaci ATCOR 3)
(Zdroj: vlastní zpracování snímků)

Posledním hodnoceným klasifikačním přístupem byla klasifikace na základě vegetačních indexů. Jednak byl spočítán pro všechny hodnocené snímky normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI), a to na základě vztahu $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$, kde NIR značí odrazivost v blízkém infračerveném oboru spektra (Landsat TM pásmo 4) a RED odrazivost v červeném viditelném (Landsat TM pásmo 3) (Dobrovolný, 2002). Do výpočtu vstupovala pásma atmosféricky korigovaná pomocí algoritmu ATCOR 3.

Jako druhý byl spočítán ortogonální vegetační index Tasseled Cap. Nová tři pásma, zvýrazňující určité vlastnosti povrchů, jsou spočítána lineární kombinací původních pásem multispektrálního obrazu a empiricky odvozených koeficientů. Pásmo „brightness“ je orientováno ve směru maximálního rozptylu hodnot odrazivosti půdy. Na toto pásmo je kolmé ve směru největšího kontrastu mezi viditelnou a blízkou infračervenou částí spektra pásmo „greenness“, ukazatel množství zelené hmoty. Poslední pásmo koreluje s vlhkostí půdy a vegetace a je tedy označováno jako „wetness“ (Dobrovolný, 2002). Vzorce pro výpočet indexů transformace Tasseled Cap z dat Landsat TM jsou:

$$\text{Brightness} = 0,3037 * TM1 + 0,2793 * TM2 + 0,4743 * TM3 + 0,5585 * TM4 + 0,5082 * TM5 + 0,1863 * TM7$$

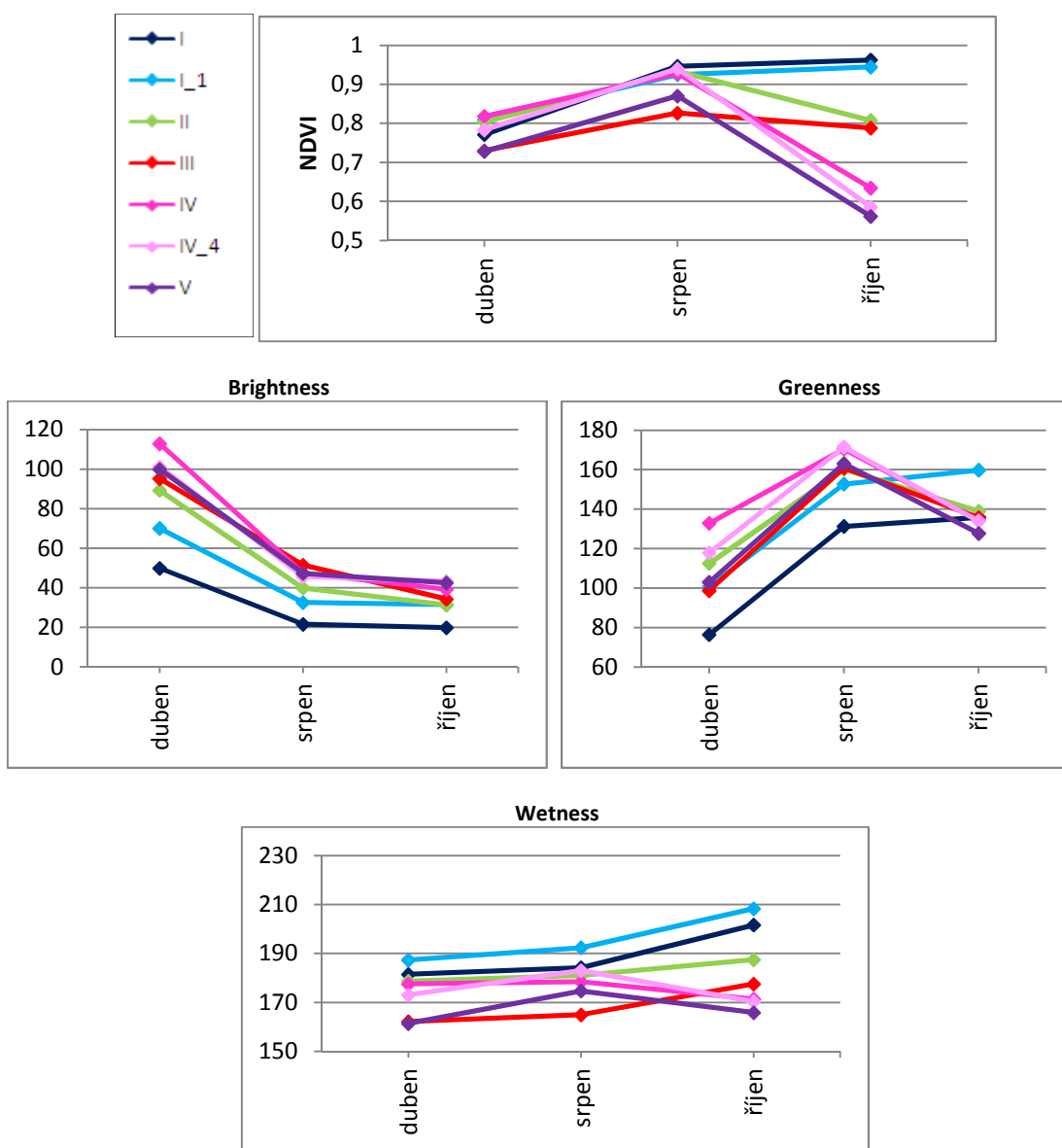
$$\text{Greenness} = -0,2848 * TM1 - 0,2435 * TM2 - 0,5436 * TM3 + 0,7243 * TM4 + 0,0840 * TM5 - 0,1800 * TM7$$

$$\text{Wetness} = 0,1509 * TM1 + 0,1973 * TM2 + 0,3279 * TM3 + 0,3406 * TM4 - 0,7112 * TM5 - 0,4572 * TM7$$

(PCI Geomatics, 2007). V Geomatice pak pro uložení do 8bitového datového formátu jsou výsledné hodnoty lineárně transformovány do rozmezí 0 – 255. Aby byl minimalizován vliv

sezónních vlivů na vypočítané indexy, byla transformace Tasseled Cap taktéž prováděna nad daty atmosféricky korigovanými pomocí ATCOR 3.

Aby bylo zjištěno, která pásma se nejvíce hodí pro klasifikaci, byly vykresleny průměrné hodnoty trénovacích ploch jednotlivých tříd lesního porostu v jednotlivých spočítaných pásmech (viz obrázek 8). Z grafů pak bylo zjištěno, že nejlépe lze třídy odlišit pomocí NDVI v říjnu a srpnu, „brightness“ v dubnu, „greenness“ v dubnu a srpnu, „wetness“ v říjnu. Do klasifikačního procesu tedy vstupovalo šest pásem se stejnými trénovacími plochami a nastavením klasifikátoru maximální pravděpodobnosti jako u ostatních klasifikací (viz tabulka 12). Z grafů (obrázek 8) je taktéž vidět, že scéna z října je i po korekci ATCOR 3 stále celkově tmavší oproti ostatním – nejlépe je to vidět na parametru „brightness“, který by jinak pro listnaté porosty měl mít v říjnu vysoké hodnoty, neboť se zde více projevuje odrazivost půdy.

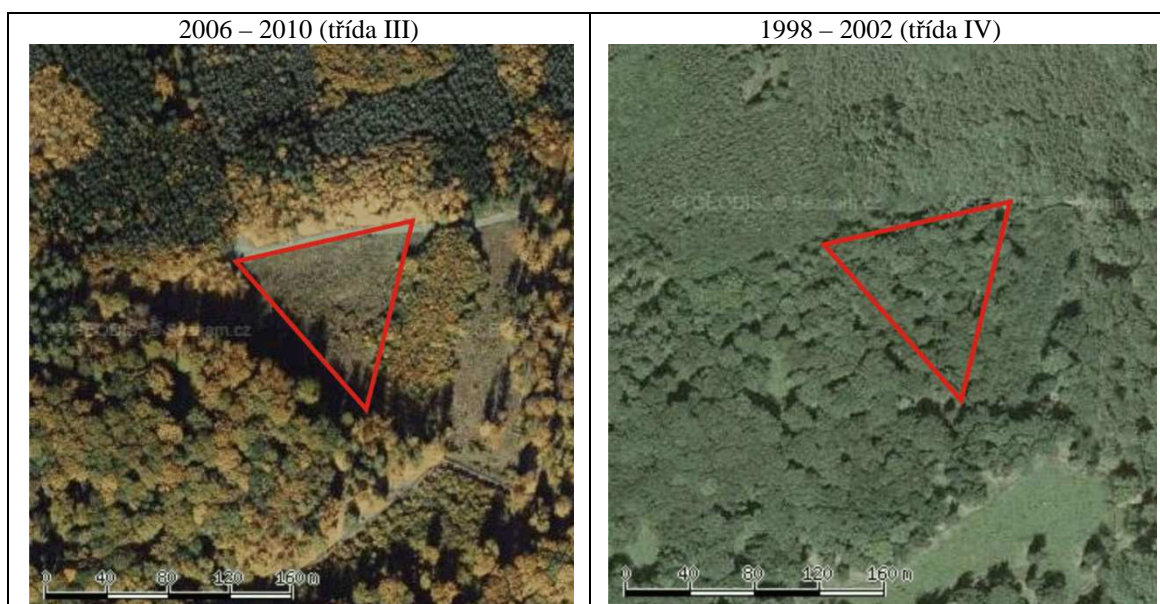


Obr. 8 Průměrné hodnoty vegetačních indexů trénovacích ploch jednotlivých lesních tříd v dubnu, srpnu a říjnu let 2006 – 2010
(Zdroj: vlastní zpracování snímků)

3.6.3 Klasifikace časového horizontu 1998 – 2002

Na základě ortofotomap pořízených okolo roku 2003 nacházejících se na webovém serveru Mapy.cz a vizuální interpretace Landsat snímků z let 2000 a 2002 byly upraveny stávající trénovací plochy a kontrolní body vytvořené na základě terénního průzkumu a ortofotomap z roku 2010. Na základě této vizuální analýzy se zdá, že v modelovém území mezi hodnocenými časovými horizonty docházelo k velkému množství změn. Prvním krokem tedy bylo vytvoření nové třídy (označené číslem VI), která pod stávající maskou lesa vytvořenou z dat ZABAGED charakterizuje travnaté porosty či holou půdu. Patrně však do této kategorie mohou spadat i plochy, ve kterých se mimo travního porostu vyskytují i malé stromky. Z jediného informačního zdroje o území v horizontu let 1998 – 2002 nebylo toto na základě prostorového rozlišení ortofotomap a době jejich pořízení ve vegetační sezoně možné rozpoznat. V některých místech tak může docházet k záměnám mezi touto nově vytvořenou třídou nelesních ploch (VI) a třídou strukturně silně heterogenních mladých listnatých porostů a porostních rozhraní (III).

Z 36 trénovacích ploch pro časový horizont 2006 – 2010 bylo 8 ploch smazáno (jednalo se o tři plochy třídy I_1, čtyři plochy třídy III a jednu plochu třídy V). Přidána byla jedna plocha třídy III a pět ploch nové třídy nelesního porostu VI (vše na základě interpretace ortofotomap a snímků Landsat ETM+ z let 2000 a 2002 zaostřených metodou pansharpeningu, viz dále). Z původních třiceti kontrolních bodů bylo použito 21 z nich, z čehož u třech jasně identifikovatelných na základě dostupných informací byla změněna třída (např. z třídy III v letech 2006 – 2010 na třídu IV – strukturně homogenní listnaté lesy – v časovém horizontu 1998 – 2002, viz obrázek 9). Přidáno bylo 5 kontrolních bodů pro třídu VI. Celkem tedy bylo hodnocení prováděno na základě 26 kontrolních bodů.



Obr. 9 Příklad změny v trénovacích plochách resp. kontrolních bodech mezi časovými horizonty (lokality Ploskov)
(Zdroj: Mapy.cz)

Ke klasifikacím byly použity snímky z 3. 5. 2000, 28. 7. 2002 a 6. 3. 2002. Všechny tyto snímky byly atmosféricky korigovány s pomocí ATCOR 2, kdy byla atmosféra jako v případě snímků z let 2006 – 2010 definována jako venkovská (Rural), specifikována byla jako letní v mírných zeměpisných šířkách pro snímek z července 2002, jarní/podzimní pro snímek z dubna 2000 a zimní v mírných zeměpisných šířkách pro snímek ze začátku března 2002. Dohlednost byla odhadnuta opět na 30 km pro snímky z července a dubna, 20 km pro snímek březnový. Jako kalibrační soubor byl využit standardní soubor nabízený pro senzor Landsat 7 ETM+ softwarem Geomatica. Se stejnými parametry doplněnými o DMT, rastry sklonitosti a orientace, a nastavení parametrů β_T a g (na základě postupu dle Richtera, 2009, Cit. In Balthazar, Vanacker, Lambin, 2012, zmiňovaného v kapitole 2.2.3) byla provedena taktéž korekce ATCOR 3.

Takto korigovaných dat bylo využito nejen k samotné klasifikaci, ale dat korigovaných pomocí ATCOR 3 i k výpočtu indexů NDVI a transformace Tasseled Cap, která byla pro data pořízená senzorem Landsat 7 ETM+ spočítána na základě těchto vztahů:

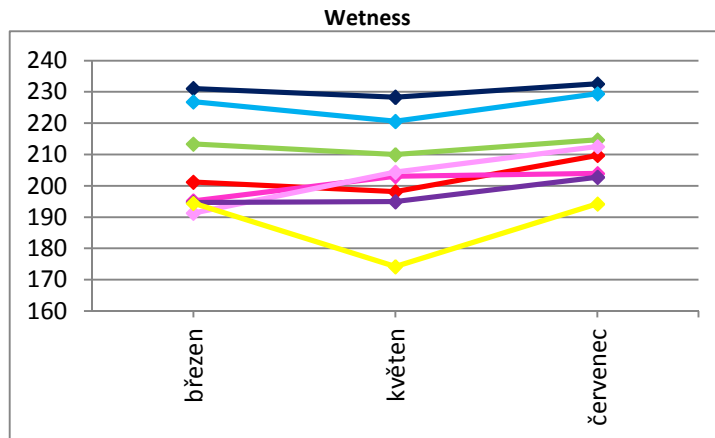
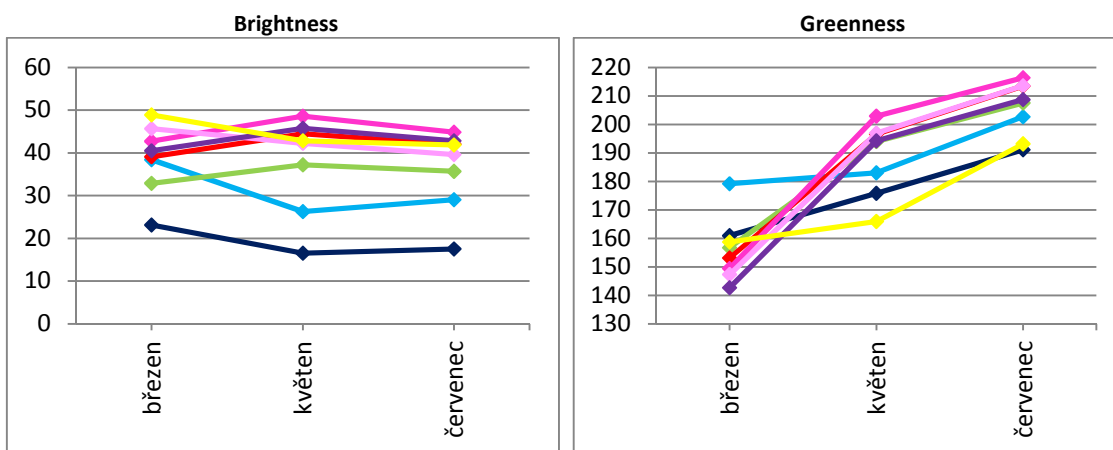
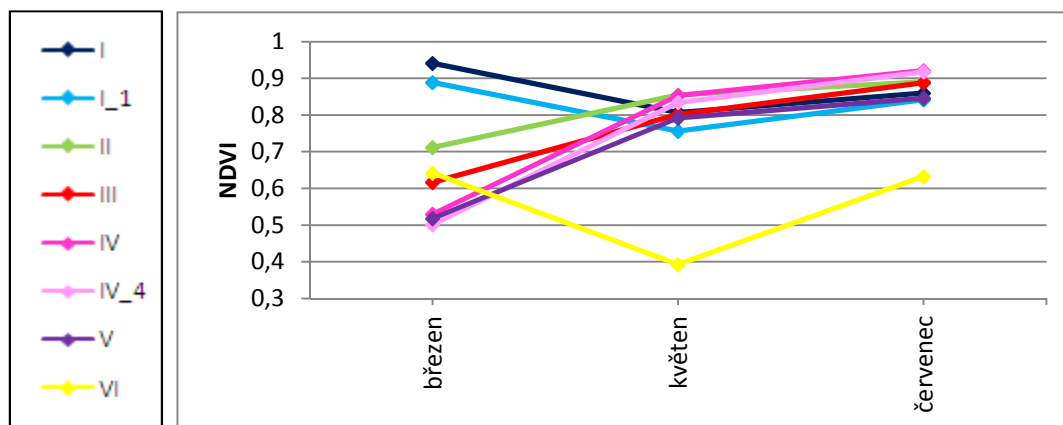
$$\text{Brightness} = 0,1544 * \text{ETM1} + 0,2552 * \text{ETM2} + 0,3592 * \text{ETM3} + 0,5494 * \text{ETM4} \\ + 0,549 * \text{ETM5} + 0,4228 * \text{ETM7}$$

$$\text{Greenness} = -0,1009 * \text{ETM1} - 0,1255 * \text{ETM2} - 0,2866 * \text{ETM3} + 0,8226 * \text{ETM4} \\ - 0,2458 * \text{ETM5} - 0,3936 * \text{ETM7}$$

$$\text{Wetness} = 0,3191 * \text{ETM1} + 0,5061 * \text{ETM2} + 0,5534 * \text{ETM3} + 0,0301 * \text{ETM4} \\ - 0,5167 * \text{ETM5} - 0,2604 * \text{ETM7}$$

(PCI Geomatics, 2007). V Geomatice byly opět výsledné hodnoty lineárně transformovány do 8bitového datového formátu.

Pro zjištění, která pásma mohou pomoci ke správnému určení lesních tříd, byly opět vykresleny průměrné hodnoty trénovacích ploch požadovaných tříd do grafů (obrázek 10). Jejich interpretací pak bylo zjištěno, že nejlépe by mohly být třídy oddělitelné pomocí pásem podobných jako v případě časového horizontu 2006 – 2010, konkrétně pásma NDVI z března, a pásem „brightness“ z května, „greenness“ z května a července a „wetness“ z března. Těchto pět pásem bylo použito jako vstupy do řízené klasifikace s pomocí klasifikátoru maximální pravděpodobnosti.



Obr. 10 Průměrné hodnoty vegetačních indexů trénovacích ploch jednotlivých lesních tříd v březnu, květnu a červenci 1998 – 2002
(Zdroj: vlastní zpracování snímků)

Řízené klasifikace pro časový horizont 1998 – 2002 probíhaly jednak nad všemi pásmy (kromě prvních pásem v oblasti modrého viditelného záření, ovlivněných nejvíce atmosférou) nekorigovaných snímků z března 2002, května 2002 a srpna 2000, ale i pouze nad snímky ze srpna a května, které nebyly tolik ovlivněny výskytem kouřma v obraze jako březnový snímek. Také byla aplikována metoda hlavních komponent na všechny 3 snímky (1. komponenta obsahuje 74,43 % informace, nad jedno procento informace pak dalších 5 komponent – tyto

byly všechny použity jako vstup do klasifikačního procesu). Jak již bylo zmíněno výše, klasifikace proběhla taktéž nad všemi snímky atmosféricky korigovanými pomocí ATCOR 2, ATCOR 3 a nad vybranými pásmy vegetačních indexů. Nastavení klasifikátoru bylo pro různé vstupní vrstvy zachováno totožné a jeho charakteristiky jsou uvedeny v tabulce 14.

Navíc byla vyzkoušena metoda řízené klasifikace nad snímky zaostřenými metodou pansharpeningu pomocí panchromatického pásma družice Landsat ETM+ o velikosti pixelu 15 m. K zaostření obrazu byla využita metoda založená na statistickém přístupu, vyvinutá Dr. Yun Zhangem a implementovaná v SW Geomatica jako modul PANSHARP. Tento algoritmus řeší dva největší problémy při fúzi obrazových dat – distorzi barev a závislost na data setu či operátorovi (Zhang, 2004). PANSHARP podává nejlepší výsledky pro multispektrální pásma, jejichž vlnové délky leží v rozmezí vlnových délek pásma panchromatického (u Landsatu se jedná o pásma 2, 3 a 4; viz tabulka 2), ostatní pásma mimo tyto vlnové délky budou stále vypadat dobře, ale mohou mít snížený fyzikální význam (PCI Geomatics, 2007). Zaostřena byla však všechna optická pásma používaných snímků Landsat ETM+ s pomocí jejich panchromatických pásem o velikosti pixelu 15 m. Následně byly zaostřené snímky pouze z května a července využity pro řízenou klasifikaci s pomocí algoritmu maximální pravděpodobnosti, jehož nastavení bylo opět ponecháno na hodnotách uvedených v tabulce 14.

Tab. 14 Rozsah trénovacích ploch pro jednotlivé kategorie lesního porostu a nastavení klasifikátoru maximální pravděpodobnosti pro časový horizont 1998 – 2002
(Zdroj: vlastní)

třída	počet ploch	počet pixelů	threshold
I	7	404	5,00
<i>I_1</i>	3	29	3,00
II	6	220	4,00
III	3	39	4,00
IV	5	368	5,00
<i>IV_4</i>	2	201	3,00
V	3	141	4,00
VI	5	38	3,00

Poznámka: Tučně jsou označeny změny oproti klasifikátoru z let 2006 – 2010.

Důvodem ke zvýšení threshold třídy III je přítomnost kategorie VI, která je hodně blízká, a bez zvýšení tohoto parametru by byla třída III velmi podhodnocena. Taktéž parametr threshold třídy V byl zvýšen na hodnotu 4. Všechny primárně požadované informační třídy tak mají větší hodnotu parametru threshold než jejich spektrální podtřídy (kde případná záměna mezi informační třídou a její spektrální podtřídou nevádí). Stejně tak má menší hodnotu tohoto parametru třída VI.

4 VÝSLEDKY

V této kapitole je především uvedeno hodnocení veškerých provedených klasifikací obou časových horizontů, 2006 – 2010 i 1998 – 2002. Dále je zde také provedeno vyhodnocení změn lesních porostů v modelovém území mezi těmito dvěma časovými horizonty. Výsledky dílčích částí práce jako je zhodnocení vlivu převzorkování scén Landsat na výsledky klasifikací nebo analýza výskytu kategorie 9 resp. V na osluněných svazích byly již uvedeny v metodické části a shrnuty a komentovány budou až v kapitolách diskuze a závěr.

4.1 Časový horizont 2006 – 2010

Přesnost řízených klasifikací založených na různých vstupních pásmech byla hodnocena nejprve na základě přesnosti klasifikací trénovacích ploch – chybové matice jsou vloženy jako příloha 5. Celkové přesnosti klasifikace trénovacích ploch byly pro všechny přístupy velmi podobné. Celková přesnost klasifikace na základě 15 pásem nekorigovaných snímků z dubna, srpna a října byla 98,95 %, na základě 6 hlavních komponent 98,03 % a na základě atmosféricky korigovaných 15 pásem všech tří snímků pomocí ATCOR 2 98,69 %, pomocí ATCOR 3 pak 98,56 %. Nejmenší celkové přesnosti klasifikace trénovacích ploch bylo dosaženo na základě klasifikace pomocí vegetačních indexů (94,36 %).

Hodnocení přesnosti na základě 30 kontrolních bodů dopadlo již rozdílněji. Nejvyšší celkové přesnosti dosáhla klasifikace na základě šesti hlavních komponent, a to 86,67 %. Následována byla klasifikací na základě dat korigovaných pomocí algoritmu ATCOR 3 (83,33 %). Klasifikace na základě atmosféricky korigovaných dat s pomocí ATCOR 2 dosáhla celkové přesnosti 76,67 %, stejně tak jako klasifikace na základě vegetačních indexů. Klasifikace na základě nekorigovaných pásem dosáhla celkové přesnosti 73,33 %. Podrobné hodnocení shrnuje tabulka 15. Uživatelské a zpracovatelské přesnosti jsou pro jednotlivé třídy uvedeny v příloze 7. V této tabulce jsou přidány i charakteristiky pro klasifikaci pouze na základě srpnového snímku, a to jak převzorkovaného kubickou konvolucí z archivu USGS, tak snímku z archivu ESA převzorkovaného metodou nejbližšího souseda.

Tab. 15 Hodnocení přesnosti klasifikací různých vstupních dat v časovém horizontu
2006 – 2010
(Zdroj: vlastní)

kontrolní bod (FID)	třída ve skutečnosti	Multitemporální přístup					Srpnový snímek	
		bez korekce	PCA	ATCOR 2	ATCOR 3	vegetační indexy	USGS, CC	ESA, NN
0	I	II	I	II	I	II	II	II
6	I	I	I	I	I	I	I	I
7	I	I	I	I	I	I	I	I
8	I	I	I	I	I	I	I	I
14	I	I	I	I	I	I	I	I
15	I	I	I	I	I	I	I	I
17	I	I	I	I	I	I	I	I
19	I	V	I	V	III	I	I	I
24	I	I	I	I	I	I	I	I
26	I	I	I	I	I	I	I	II
23	II	II	II	IV	IV	II	IV	IV
27	II	II	II	II	II	II	II	II
28	II	II	II	II	II	II	II	I
29	II	II	II	II	II	II	II	II
10	III	III	III	III	III	III	V	V
12	III	III	III	III	III	III	IV	V
13	III	III	III	III	III	II	V	III
18	III	III	III	III	III	III	V	V
25	III	III	III	III	III	III	V	III
1	IV	II	IV	IV	IV	IV	IV	IV
2	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
4	IV	III	IV	IV	IV	IV	IV	II
5	IV	III	III	III	III	III	IV	IV
16	IV	III	III	III	III	III	IV	IV
20	IV	III	III	III	III	III	V	IV
21	IV	IV	IV	IV	IV	III	IV	IV
22	IV	II	IV	II	IV	IV	V	IV
3	V	V	V	V	V	V	V	V
9	V	V	IV	V	V	IV	IV	II
11	V	V	V	V	V	V	III	III
Celková přesnost [%]:		73,33	86,67	76,67	83,33	76,67	63,33	66,67

Z tabulky 15 je vidět, že nejvíce chyb při multitemporálním přístupu ke klasifikaci nastalo mezi kategorií IV a III. Tento jev lze však snadno vysvětlit – v případě kontrolních bodů 5, 16 a 20 se totiž jedná o homogenní listnaté tyčoviny, jejichž výška je výrazně nižší než výška okolních porostů, čímž se strukturou podobá kategorii III. Také především v mimovegetačním období je na ně vrhán stín a tím se ještě více jejich odrazivost podobá kategorii III. Kategorie strukturně silně heterogenních mladých listnatých porostů a porostních rozhraní (III) je totiž charakteristická především svojí nižší výškou a tím, že se často nachází v sousedství vysokých

porostů – z geometrie snímání a výšky Slunce pak vyplývá, že stíny hrají v její odrazivosti výraznou roli. To je taktéž pravděpodobně důvod toho, proč je kategorie III klasifikována všude v okolí mraků, které se vyskytovaly ve scéně pořízené v dubnu. Stíny, které tyto mraky vrhají na zem, nebyly nejprve odmaskovány a jsou tudíž ve většině případů klasifikovány jako kategorie III bez ohledu na to, jaký typ lesa se tam ve skutečnosti nachází. Stejný problém je patrně pozorován na příkrých svazích orientovaných na severozápad, které jsou především v říjnovém snímku s nízkou výškou Slunce nad obzorem ve stínu, a není rozpoznatelné, co za lesní pokryv se na nich vyskytuje. Všechny tyto mylně klasifikované jevy vysvětlují velkou rozlohu kategorie III ve snímku (viz tabulka 16). Problém špatně klasifikovaných listnatých tyčovin byla snaha vyřešit samostatnou spektrální kategorií, ovšem tento pokus se nezdařil, neboť místa, kde je znám výskyt této třídy, zabírají celkovou plochu pouze 13 pixelů, což není dostatečné množství pro natrénování samostatné spektrální třídy. Opačným typickým projevem kategorie III (speciálně pro případy keřovitých porostů na loukách či mezi mezi poli) je mísení odrazivosti této kategorie s odrazivostí holé půdy, která je vyšší. To má pak za následek klasifikaci této kategorie v zastavěných oblastech (podobné odrazivosti zástavby a holé půdy). Městská zeleň (jak je vidět na příkladu Kladna) se pak klasifikuje nejčastěji jako kategorie III, případně jako kategorie V (strukturně heterogenní listnaté porosty), která je však svoji strukturou nejvíce parkům podobná. Otázkou zůstává, zdali je v těchto dvou typech porostu taktéž stejné riziko nákazy klíšťovou encefalitidou. Ze stejného důvodu, jako se kategorie III klasifikuje v zástavbě, se taktéž klasifikuje na okrajích mraků, které se nepodařilo v prvním kroku odmaskovat.

Z ostatních kontrolních bodů stojí za zmínku kontrolní bod s označením 0, který byl klasifikován jak správně do kategorie I, tak špatně do kategorie II. Jedná se o borovicový les s ne zcela uzavřeným stromovým patrem a hustým podrostem – v centrální části porostu, kde je umístěn kontrolní bod, je podrost méně vyvinut a lze tak konstatovat, že se jedná o jehličnatý les. Po jeho okrajích se však odrazivost podrostu zajisté projevuje a jedná se tedy o kategorii II. Záměna v tomto případě může být tedy opodstatněná.

Tab. 16 Relativní rozlohy tříd v klasifikovaném území na základě výsledků různých klasifikací v časovém horizontu 2006 - 2010
(Zdroj: vlastní)

třída	% rozlohy klasifikovaných pixelů (pod maskou lesa a mraků)				
	bez korekce	PCA	ATCOR 2	ATCOR 3	vegetační indexy
I	12,92	13,64	13,25	12,48	13,40
II	34,48	35,87	34,20	40,78	43,87
III	22,56	25,95	22,53	23,01	22,96
IV	17,37	16,51	17,72	15,75	15,07
V	12,67	8,02	12,29	7,98	4,70

Co se týče jednotlivých přístupů k využití multitemporálních dat, nejlépe se jeví použití analýzy hlavních komponent na data z různých ročních období a poté klasifikace několika prvních nově vytvořených pásem. Jednak celková přesnost klasifikace na základě hodnocení pomocí kontrolních bodů pomocí tohoto přístupu vyšla nejvyšší (86,67 %), což však na základě pouhých 30 kontrolních bodů nemusí být zcela směrodatné. Ale také kvůli redukovanému počtu pásem vstupujících do klasifikačního procesu, který má za následek urychlení výpočtu klasifikace.

4.1.1 Odstranění vlivů oblačnosti

Jak bylo zmíněno výše, mnoho problémů ve výsledcích klasifikace se váže na pozůstatky mraků a jejich stínů ve scénách pořízených mimo vegetační období. Aby byla výsledná klasifikace typů lesních porostů co nejpřesnější, bylo dodatečně provedeno odstranění oblastí ovlivněných oblačností.

Nejprve byly odstraněny stíny vzniklé pod menšími mraky nacházejícími se ve scéně z 29. 4. 2007. To bylo provedeno pomocí neřízené klasifikace ISODATA (s defaultním nastavením v SW Geomatica) pouze nad územím lesů s již dříve odmaskovanými mraky – stíny se z velké části podařilo odstranit, avšak s nimi byly odmaskovány i vodní plochy, což nevádí, neboť ty nejsou pro účely klasifikace lesních porostů důležité.

Další problémy pak způsobují okraje mraků ve snímcích z 29. 4. 2007 i 30. 10. 2010, které nebyly zcela odmaskovány při tvorbě masky oblačnosti používané při klasifikacích. Tyto okraje však neřízenou klasifikací již nelze odstranit, neboť se spektrálně prolínají s lesními třídami. Byla tudíž vyzkoušena metoda klasifikace řízené. Natrénována byla v každém ze snímků právě jedna třída, která reprezentuje okraje oblačnosti, parametr threshold u ní byl nastaven na hodnotu 2,5 v případě obou snímků. Pod maskou lesa, mraků a stínů získaných předešlým krokem byl spuštěn klasifikátor maximální pravděpodobnosti s nulovou třídou.

Takto vytvořené výstupy – maska stínů oblačnosti v dubnu a masky okrajů oblačnosti v dubnu a v říjnu byly spojeny s původní maskou mraků a lesa. Pod touto maskou by se měly již nacházet pouze klasifikace neovlivněné oblačností (podíly jednotlivých tříd, klasifikovaných různými přístupy, na rozloze lesa po dodatečném odmaskování mraků a stínů uvádí tabulka 17). Jak je také vidět z tabulky 17, s využitím snímků z různých ročních období není pro 13,85 % lesních porostů známo, jakou konkrétní třídou jsou tvořeny. Aby byl výstup znám pro všechny lesní porosty v celém modelovém území, byl spojen výstup klasifikace hlavních komponent (považovaný za nejpřesnější; příloha 8) s výslednou klasifikací bezoblačného snímku ze srpna z USGS (příloha 9) – v místech, kde se nachází mraky ve snímcích z mimořádných období, je pak výstup doplněn o výsledky klasifikace pouze srpnového snímku, které jsou obecně méně přesné, avšak v těchto místech podávají zaručeně výsledky lepší. Tento výsledný obraz (příloha 10) byl použit pro hodnocení změn mezi časovými horizonty.

Tab. 17 Relativní rozlohy tříd lesa opravené o vliv oblačnosti a stínů na základě výsledků různých klasifikací v časovém horizontu 2006 – 2010
(Zdroj: vlastní)

třída	% rozlohy lesa v modelovém území				
	bez korekce	PCA	ATCOR 2	ATCOR 3	vegetační indexy
I	12,00	12,61	12,29	11,63	12,50
II	31,49	31,88	30,79	35,84	39,12
III	17,50	20,37	17,66	18,01	17,14
IV	15,70	15,27	16,14	13,60	13,56
V	9,45	6,02	9,26	7,06	3,83
mraky (původní maska)	5,21	5,21	5,21	5,21	5,21
mraky + stíny (dodatečně odstraněné)	8,64	8,64	8,64	8,64	8,64

4.2 Časový horizont 1998 – 2002

Na základě hodnocení trénovacích ploch byla nejvyšší celková přesnost klasifikace časového horizontu 1998 – 2002 (98,13 %) dosažena u výsledku klasifikace, kde byla vstupem nekorigovaná pásma 2 – 5 a 7 snímků Landsat 7 ETM+ z 6. 3. 2002, 3. 5. 2000 a 28. 7. 2002. Druhou nejvyšší celkovou přesnost klasifikace trénovacích ploch (98,06 %) měla klasifikace na základě stejných pásem, avšak atmosféricky a topograficky korigovaných pomocí ATCOR 3, třetí nejvyšší (97,78 %) pak dosáhla klasifikace pouze atmosféricky korigovaných dat s pomocí ATCOR 2. Čtvrtou nejvyšší celkovou přesnost na základě trénovacích ploch (95,21 %) měla klasifikace se šesti vstupními pásmy vypočítanými pomocí metody hlavních komponent ze všech optických pásem všech tří snímků. Klasifikace na základě nekorigovaných pásem pouze snímků z května a července dosáhla celkové přesnosti v klasifikaci trénovacích ploch 93,89 %, klasifikace zaostřených snímků z května a července algoritmem PANSHARP dosáhla celkové přesnosti trénovacích ploch 90,36 % a klasifikace na základě vegetačních indexů 87,36 %. Největší problémy byly obecně pozorovány v kategorii IV, která byla nejčastěji klasifikována jako kategorie III nebo V. Další problémy pak nastávaly i v kategorii II, která byla často klasifikována jako III nebo IV. Chybové matice trénovacích ploch jsou na konci práce jako příloha 6.

Na základě hodnocení přesnosti klasifikace s pomocí 26 kontrolních bodů (viz tabulka 18) bylo dosaženo nejvyšší celkové přesnosti 69,23 % u klasifikací na základě pásem z května a července. Klasifikace zaostřených snímků z těchto dvou měsíců dosáhla celkové přesnosti 65,38 %. Klasifikace na základě snímků z měsíců květen, červenec a březen dosáhly celkové přesnosti 57,69 %, stejné celkové přesnosti dosáhla i klasifikace na základě atmosféricky korigovaných těchto tří snímků (ATCOR 2 i ATCOR 3). Klasifikace na základě pásem určených pomocí metody hlavních komponent ze tří hodnocených snímků dosáhla celkové přesnosti na základě kontrolních bodů 61,54 %, stejné jako klasifikace na základě vegetačních indexů. Uživatelské a zpracovatelské přesnosti pro jednotlivé třídy jsou shrnuty v příloze 7.

*Tab. 18 Hodnocení přesnosti klasifikací různých vstupních dat v časovém horizontu 1998 – 2002
(Zdroj: vlastní)*

kont. bod (FID)	FID (2006 - 2010)	třída ve skut.	bez korekce vše	ATCOR 2	ATCOR 3	PCA vše	vegetační indexy	bez korekce květen a červenec	PANSHARP květen a červenec
0	0	I	II	II	II	II	II	II	II
5	7	I	I	I	I	I	I	I	I
6	8	I	I	I	I	I	I	I	I
11	14	I	I	I	I	I	I	I	I
12	15	I	II	II	III	VI	I	I	I
13	18	II	II	II	II	II	II	II	II
16	23	II	II	IV	IV	II	IV	II	II
19	27	II	IV	II	II	IV	II	II	II
20	28	II	VI	VI	VI	VI	III	III	IV
10	13	III	III	IV	IV	IV	IV	III	III
17	25	III	VI	IV	IV	VI	VI	VI	VI
18	26	III	VI	VI	III	III	VI	III	II
14	21	IV	II	II	II	IV	V	II	II
15	22	IV	II	II	II	VI	IV	II	IV
1	1	IV	III	III	III	III	IV	IV	III
2	2	IV	IV	IV	IV	V	IV	IV	II
4	4	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
8	10	IV	IV	IV	IV	IV	III	IV	IV
7	9	V	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
9	11	V	IV	V	IV	V	VI	IV	IV
3	3	V	V	V	V	V	V	V	V
21	x	VI	VI	VI	VI	VI	VI	III	VI
22	x	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI
23	x	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI
24	x	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI
25	x	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI
Celková přesnost:			57,69%	57,69%	57,69 %	61,54%	61,54 %	69,23%	65,38%

Ve všech případech klasifikací byly shodně špatně klasifikovány čtyři kontrolní body. Jednak bod v obou horizontech označený číslem nula, který byl špatně klasifikován i ve snímcích z let 2006 až 2010 – jedná se o borovicový les s podrostem, který byl v terénu klasifikován jako třída I (jehličnaté porosty), v klasifikacích dat Landsat se v obou časových horizontech však projevuje jako kategorie II (smíšené porosty). Dalším špatně klasifikovaným bodem (FID 7) byla plocha se starými vzrostlými řídké rostlými buky, která byla v terénu určena jako kategorie V (strukturně heterogenní listnaté porosty) a která však ve všech klasifikacích časového horizontu 1998 – 2002 byla klasifikována jako kategorie IV (strukturně homogenní listnaté porosty). Podobný problém je pak pozorován u bodu s FID 9, který byl stejně špatně klasifikován ve třech z klasifikací a který byl v terénu velmi podobný bodu 7.

Důvod špatné klasifikace těchto bodů může být jednak v nepřesném sestavení klasifikátoru, ale také mohly být porosty v letech 1998 – 2002 hustší než v novějším časovém horizontu, což však není z dostupných ortofotomap rozpoznatelné. Čtvrtým špatně klasifikovaným bodem ve všech typech klasifikací je místo nacházející se v průseku pod elektrickým vedením (FID 17) – bod byl definován jako kategorie III, avšak klasifikován byl jako nově vytvořená kategorie VI (s výjimkou klasifikace atmosféricky korigovaných dat, kdy byl klasifikován jako kategorie IV a na základě vegetačních indexů jako kategorie V). Bod nyní označený jako 20 nebyl také pomocí ani jedné z klasifikačních metod zařazen do správné kategorie – přiřazován byl do kategorií III a VI, což může být způsobeno tím, že daný smíšený porost má velmi malou rozlohu a do pixelů reprezentujících jeho odrazivost se mohla namíchat odrazivost rozsáhlých holých míst nacházejících se v jeho okolí. Pomocí klasifikace zaostřeného obrazu byl tento bod klasifikován jako kategorie IV, což už více odpovídá realitě (díky menší velikosti pixelu mohlo být od okolí odděleno).

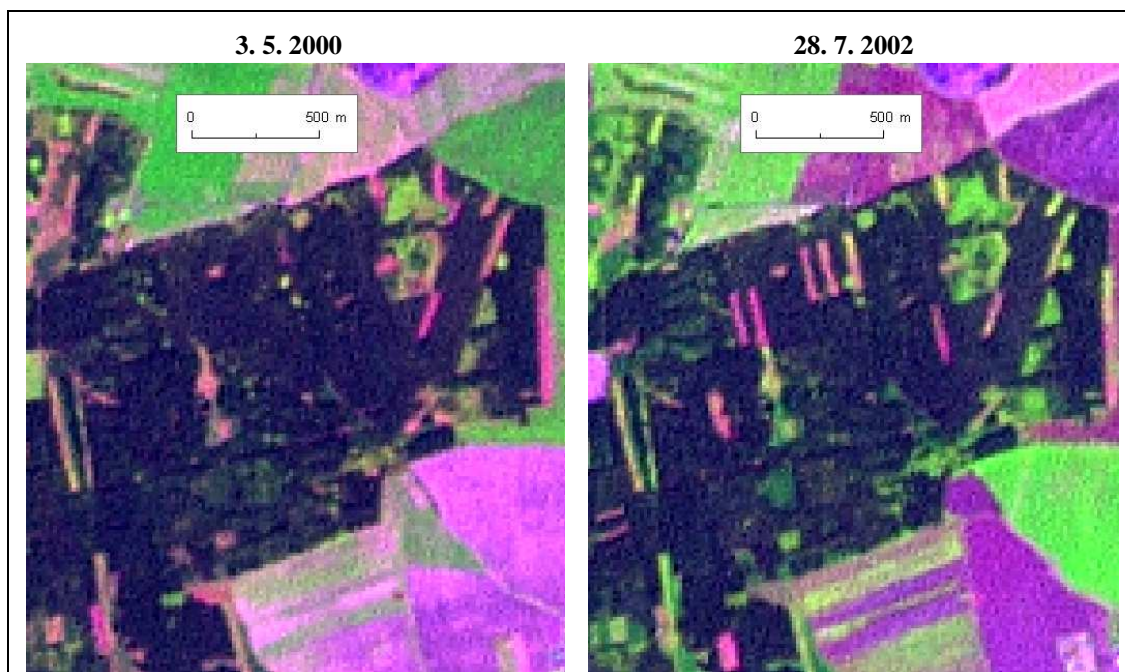
Jinak jsou chyby v určení kontrolních bodů různé. Rozdílnosti v klasifikacích dokládá i rozloha jednotlivých tříd ve snímku, která se výrazně měnila při různých přístupech ke klasifikaci (viz tabulka 19). Nejproblémovější je kategorie III (strukturně silně heterogenní mladé listnaté porosty a porostní rozhraní). Důvodem toho může být zajisté malý počet natrénovaných pixelů pro tuto třídu a zároveň pouze tři kontrolní body pro hodnocení její přesnosti. Z obrázku 10 je vidět, že v případě vegetačních indexů velmi splývá s ostatními kategoriemi listnatého porostu a není tudíž oddělitelná – v této klasifikaci o jejím špatném určení vypovídá již chybová matice hodnocení trénovacích ploch (zpracovatelská přesnost 71,79 % a uživatelská dokonce pouze 32,18 %, zaměňována nejvíce s kategorií IV). Na základě hodnocení trénovacích ploch byla tato kategorie nejlépe klasifikována ve všech pásmech bez korekce a po korekci ATCOR 2 a ATCOR 3 (až 100% přesnosti), avšak kontrolní body této kategorie byly klasifikovány i v těchto případech klasifikací špatně.

Tab. 19 Relativní rozlohy tříd v klasifikovaném území na základě výsledků různých klasifikací v časovém horizontu 1998 – 2002
(Zdroj: vlastní)

třída	% rozlohy lesa v modelovém území						
	vše	ATCOR 2	ATCOR 3	PCA vše	vegetační indexy	květen a červenec	PANSHARP květen a červenec
I	9,81	10,07	9,93	10,5	14,10	12,76	14,69
II	40,45	43,10	46,18	33,95	35,72	39,00	40,03
III	9,37	7,45	10,73	13,50	12,72	16,84	15,77
IV	19,18	16,80	16,42	16,60	17,44	13,70	12,53
V	13,31	10,95	7,30	10,78	9,04	9,43	10,29
VI	7,87	11,63	9,44	14,68	10,98	8,26	6,69

Podrobným zkoumáním zaostřených snímků Landsat 7 ETM+ bylo zjištěno, že docházelo v území ke značným změnám i v průběhu let 1998 – 2002. Na obrázku 11 je zobrazen jeden

z typických jevů – k takovému prokácení došlo na více místech v modelovém území. Vizualním zhodnocením však bylo zjištěno, že ve všech klasifikačních přístupech byla tato místa správně klasifikována k novějšímu časovému horizontu jako kategorie VI.



Obr. 11 Změny v lesních porostech mezi lety 2000 a 2002 – typická ukázka na území severně od Žiliny (Zdroj: Landsat 7 ETM+ snímky zaostřené metodou PANSHARP v RGB kompozitu 5-4-3)

Na výsledku klasifikace zaostřeného snímku pomocí algoritmu PANSHARPED (viz příloha 11) je zajímavé si všimnout, že liniová vegetace není ve většině případů klasifikována jako kategorie III nebo VI, jako v ostatních klasifikacích, ale je často klasifikována jako kategorie smíšených porostů (II) nebo také jako kategorie heterogenních listnatých porostů (V), doplněná pixely kategorií III a VI. Toto by mohlo být způsobeno menší velikostí pixelů, kde jsou odděleny v některých případech odrazivosti stromů od odrazivosti okolní půdy či travního porostu.

Z těchto všech výsledků je těžké posoudit, jaká klasifikace je nejpřesnější. Zdá se, že nejlepšími klasifikacemi budou buď klasifikace se vstupem šesti pásem vypočítaných metodou hlavních komponent ze všech tří snímků, tj. z března, května a července (příloha 12), klasifikace nekorigovaných pásem (2 – 5 a 7) snímků ze začátku května a konce července (příloha 13) nebo klasifikace všech pásem všech tří snímků korigovaných pomocí ATCOR 3 (příloha 14). Tyto tři výstupy nedosáhly sice nejlepších přesností ani v jednom z hodnocení, avšak ani v jednom z případů nebyly hodnocené nejhůře.

4.3 Vyhodnocení změn mezi horizonty

Hodnocení změn mezi horizonty bylo provedeno porovnáním rastrů s nejlepšími výstupy klasifikací z let 2006 – 2010 a 1998 – 2002, tzn. rastru výsledku klasifikace šesti pásem

vypočítaných metodou hlavních komponent ze snímků z dubna 2007, srpna 2009 a října 2010 doplněných v oblastech zakrytých oblačností výsledkem klasifikace pouze srpnového snímku a rastru s výsledkem klasifikace snímků z května 2000 a července 2002, rastru s výsledkem klasifikace na základě hlavních komponent snímků z března 2002, května 2000 a července 2002, a rastru s výsledkem klasifikace stejných snímků korigovaných pomocí ATCOR 3. Ve všech případech bylo zjištěno, že zhruba 50,5 % lesních ploch bylo klasifikováno mezi oběma časovými horizonty shodně (přičemž záměny mezi podobnými kategoriemi III a VI nebyly zohledněny). V ostatních případech došlo ke změnám – nelze však říci, že k zhruba 50% změně v lesních porostech došlo i ve skutečnosti. Velkou část tohoto čísla bude tvořit nepřesnost především v klasifikacích časového horizontu 1998 – 2002. Jasným důkazem těchto chyb jsou změny, které za hodnocených 10 let nemohly proběhnout, jako např. změna jehličnatých porostů na strukturně homogenní či heterogenní listnaté porosty resp. opačně. Stejně tak je nepravděpodobná změna smíšených porostů na jehličnaté či listnaté (i když v extrémním případě by zde mohl být jeden z typů stromů vykácen a ke změně by dojít mohlo, avšak takovéto lesní úpravy nejsou běžně prováděny), opačná záměna je taktéž velmi nepravděpodobná. Všechny tyto „změny“ tedy nebyly dále hodnoceny a změny byly zjišťovány pouze mezi třídami III resp. VI a ostatními třídami lesního porostu (I, II, IV a V). K nepatrně menším záměnám pak docházelo při hodnocení rozdílů s výsledkem klasifikace časového horizontu 1998 – 2002 na základě vstupů z analýzy hlavních komponent spočítaných ze snímků z března, května a července (20,57 % chyb v určení lesních porostů oproti 23,24 % chyb pro výsledek klasifikace snímků z května a července resp. 23,5 % chyb pro klasifikaci dat korigovaných pomocí ATCOR 3). K jakým záměnám ve skutečnosti tedy mohlo dojít, shrnuje tabulka 20.

Tab. 20 Změny v lesních porostech v modelovém území mezi časovými horizonty 1998 – 2002 a 2006 – 2010
(Zdroj: vlastní)

třída v letech 1998 - 2002	třída v letech 2006 - 2010	% lesního porostu
I	III	0,67
II	III	4,74
III	I	0,76
III	II	5,89
III	IV	2,35
III	V	0,94
IV	III	2,92
V	III	3,13
VI	I	2,11
VI	II	2,75
VI	IV	0,98
VI	V	1,36
celkem:		28,59

5 DISKUZE

Jednou z prvních otázek, která musela být řešena, byla volba vhodné masky lesa. Pro diplomovou práci byla zvolena maska lesa na základě databáze ZABAGED, tematické vrstvy 6. Vegetace a povrch, konkrétně podkategorií 6.07 Lesní půda se stromy, 6.08 Lesní půda s křovinatým porostem, 6.10 Okrasná zahrada, park a 6.12 Liniová vegetace. Důvodem tohoto postupu byl předpoklad, že vytvořená maska bude přesnější než maska lesa vytvořená na základě řízené klasifikace modelového území do tříd land cover z dat Landsat, kde bývají zaměňovány lesní porosty (především listnaté a nízké) s trvalými travními porosty či bujnou vegetací polí, což potvrzují i výsledky klasifikace v atlasu Klíšťová encefalitida v ČR od Daniela a Kříže z roku 2002 (dále jen atlas), kde byly tyto problémy objeveny. Ve srovnání s maskou lesa používanou v diplomové práci v něm bylo přibližně 7 % rozlohy území klasifikováno jako les navíc, a naopak zhruba 7 % rozlohy území pod maskou lesa jako les klasifikováno nebylo. Některé tyto změny mohou být jistě způsobeny rozdílnými časovými horizonty (1995 resp. 2010), jako např. plochy s nízkým porostem v současném období, kde se v devadesátých letech vegetace nemusela vyskytovat žádná. Většinu dalších rozdílů lze vysvětlit následovně: pomocí řízené klasifikace území do tříd krajinného pokryvu nebyla v atlasu definována velká část liniové vegetace a vegetace v zástavbě, a také nebyly klasifikovány některé okraje lesních porostů (v legendě používané v diplomové práci se jedná především o kategorii III). Naopak navíc oproti vytvořené masce lesa byly v atlasu kromě špatně určených luk a polí (převážně označených jako původní kategorie 4 a 9) klasifikovány i chatové kolonie (jako původní kategorie 4). Tato území se většinou vyznačují heterogenní vegetací mezi chatovou zástavbou, a měla by být tudíž navíc zahrnuta do masky lesa pro účely hodnocení rizika nákazy klíšťovou encefalitidou. V databázi ZABAGED jsou chaty i s jejich okolím reprezentovány polygony označenými jako „chatová kolonie“ v polygonové vrstvě 1.27 Areál účelové zástavby. Jak bylo dále zjištěno porovnáním s výstupy vegetačních kategorií z atlasu, malé lesíky, které jsou k dispozici v bodové vrstvě ZABAGED s označením 6.11 Významný nebo osamělý strom, lesík, zde taktéž nebyly klasifikovány, tudíž jejich zařazení do masky lesa opravdu není nutné. Daniel et al. (1999) posuzovali vhodnost i dalších dostupných dat pro vytvoření masky lesa. Zamítli využití databáze krajinných celků CORINE Land Cover v měřítku 1 : 100 000, jejíž obsahová přesnost je vysoká, avšak nejmenší velikost objektu v databázi je 25 ha a polohová přesnost 100 m, což je pro posouzení distribuce druhu *Ixodes Ricinus* v krajině nepřijatelné. Také zamítli použití masky lesa vytvořené na základě topografické mapy 1 : 25 000, jejíž míra podrobnosti byla odpovídající, avšak zakres byl zastaralý. Maska lesa vytvořená na základě databáze ZABAGED však tyto problémy nevykazuje – data jsou pravidelně aktualizována (pro modelové území poslední aktualizace k roku 2010), míra podrobnosti zakresu odpovídá měřítku 1 : 10 000 a hranice porostů jsou zakresleny s maximální střední polohovou chybou 15 m (Pressová, 2012).

Dalším řešeným dílčím problémem diplomové práce bylo posouzení vlivu převzorkování scén Landsat na výsledky klasifikace. Volně ke stažení jsou totiž v archivu USGS družicové

scény převzorkované metodou kubické konvoluce, která průměruje DN hodnoty 16 sousedících pixelů, naopak data surová či převzorkovaná metodou nejbližšího souseda, která DN hodnoty jednotlivých pixelů ponechává beze změn, je nutno zakoupit. Cílem bylo tedy zjistit, zda převzorkování kubickou konvolucí ovlivní výsledky klasifikace natolik, že tato data nebudou moci být využita pro klasifikaci požadovaných tříd vegetačního porostu. Pro toto porovnání byla získána na základě předloženého projektu do Evropské kosmické agentury scéna 192/025 pořízená družicí Landsat 5 senzorem Thematic Mapper dne 24. 8. 2009 a převzorkovaná metodou nejbližšího souseda. Totožná scéna byla stažena převzorkovaná metodou kubické konvoluce z archivu USGS. Porovnání bylo uskutečněno jednak pomocí neřízené klasifikace výřezů obou scén o velikosti 4 950 x 4 700 pixelů do šesti spektrálně odlišných tříd, a také pomocí řízené klasifikace do legendou definovaných pěti tříd lesních porostů na modelovém území o velikosti 1 000 x 800 pixelů. Pro neřízenou klasifikaci byl využit algoritmus ISODATA softwaru Geomatica a pro řízenou klasifikátor maximální pravděpodobnosti. Srovnáním rastrů výsledných klasifikací bylo zjištěno, že se snímky různě převzorkované shodují v případě obou klasifikací zhruba v 70 %. Byl tedy proveden ještě pokus s převzorkováním výřezu scény z ESA pomocí kubické konvoluce, tento pak byl také klasifikován pomocí algoritmu ISODATA. Výsledek by dle očekávání měl být v podstatě totožný s výsledkem klasifikace scény z USGS, která byla převzorkována stejnou metodou. Zjištěno však bylo, že tyto dva výstupy se shodují pouze v 83,84 %. Roli vedle samotného převzorkování tak musí hrát i samotný klasifikátor. Důležitější pak byly výsledky řízené klasifikace, kdy byla sledována především kategorie III, strukturně silně heterogenní mladé listnaté porosty a porostní rozhraní, která se vyskytuje často v úzkých pásích a mohla by tak být převzorkováním kubickou konvolucí nejvíce ovlivněna. Shledáno bylo, že ve snímku z ESA na některých místech tato kategorie tvoří např. širší okraje lesních porostů, na snímku z USGS jsou však tyto struktury taktéž pozorovatelné, tudíž nedošlo k výraznému ovlivnění. Jak je také vidět z chybových matic klasifikace trénovacích ploch (tabulka 6 v kapitole 3.2.1.2), jsou pozorovány v obou snímcích i obdobné chyby v záměnách mezi jednotlivými třídami, přičemž největší problémy jsou shodně v klasifikaci kategorie III, která je mylně určována jako třída V (strukturně heterogenní listnaté porosty). Celkové přesnosti klasifikace trénovacích ploch byly obdobné pro oba snímky (cca 85 %) a taktéž hodnocení přesnosti na základě kontrolních bodů dopadla podobně (63,33 % pro snímek z USGS a 66,67 % pro snímek z ESA). Ze všech těchto výsledků bylo usouzeno, že převzorkování scén nemá v klasifikačním procesu výraznější vliv a pro klasifikace tedy mohou být využity scény Landsat z archivu USGS převzorkované kubickou konvolucí.

Na výsledcích klasifikací snímků pořízených v srpnu bylo dokázáno, že přesnost řízené klasifikace dat Landsat do pěti různých tříd lesního porostu na základě jednoho snímku není ideální, spolehlivě by šly oddělit pouze dvě kategorie – jehličnaté porosty a porosty s převažující listnatou složkou. Testováno tedy bylo, zda ke zpřesnění výsledků klasifikace pomůže přidání dalších informací o lesních porostech získaných ze snímků z jiných částí roku. Problémem je však existence těchto snímků – v daných rozmezích čtyř let (1998 – 2002 a 2006 – 2010) nebyla nalezena jediná bezoblačná scéna pro modelové území mimo pozdního jara až léta. Využity tedy musely být jediné dostupné scény částečně zakryté oblačností, pro časový

horizont 2006 – 2010 scény Landsat 5 TM z 29. 4. 2007 a 30. 10. 2010 a pro horizont 1998 – 2002 scény Landsat 7 ETM+ z 3. 5. 2000 (bezoblačná) a 6. 3. 2002 (kouřmo).

V terénu bylo popsáno celkem 48 lesních ploch, ze kterých 18 bylo použito jako trénovací. Ty však byly doplněny ještě dalšími 18 na základě interpretace ortofotomapy a snímků Landsat především v RGB syntéze 5-4-3. Zbýlých 30 bodů bylo ponecháno pro kontrolu přesnosti provedených klasifikací. Otázkou však je vypovídající hodnota hodnocení přesnosti provedených klasifikací, neboť použitých 30 kontrolních bodů (resp. 26 pro časový horizont 1998 – 2002) je v porovnání s obecnými pravidly hodnocení klasifikací, kdy by mělo být pro hodnocení přesnosti použito nejméně 50 kontrolních bodů pro každou třídu vegetace, přičemž více bodů by mělo být použito pro třídy nejdůležitější v dané klasifikaci, nejrozlehlejší a heterogenní svoji strukturou (Lillesand, Kiefer, Chipman; 2008), nedostatečných. Na druhou stranu, terénní průzkum je vysoce časově náročná část práce a často je velmi obtížné najít reprezentativní a zároveň dostatečně velkou plochu porostu dané třídy (problémové především pro heterogenní třídy III a V), stejně tak nad ortofotomapami je velmi náročné tyto plochy ve větším počtu najít a správně identifikovat. Navíc v praxi Eisen, Eisen a Lane (2005) taktéž hodnotili výsledky klasifikace do čtyř kategorií vegetace s různým množstvím výskytu nymf druhu *Ixodes Pacificus* pouze na základě 30 kontrolních bodů.

Nejlepší varianta klasifikačního algoritmu byla hledána primárně pro časový horizont 2006 – 2010, pro který byly k dispozici aktuální informace z terénu a ortofotomapa z roku 2010 pořízená v podzimním období, s pomocí které šlo vizuálně velmi dobře odlišit jednotlivé lesní třídy. Testovány byly v první řadě řízené klasifikace na základě všech pásem ze snímků z dubna, srpna a října nekorigovaných (dle Songa et al., 2001, by toto neměl být problém, pokud jsou trénovací plochy vybírány nad všemi pásmy) a korigovaných pomocí ATCOR 2 a ATCOR 3. Do těchto klasifikací nevstupovala kromě termálních pásem také pásma ve vlnových délkách 0,45 – 0,52 μm , která jsou nejvíce ovlivněna rozptylem v atmosféře (viz např. Dobrovolný, 1998) a ve kterých je i odrazivost veškerých klasifikovaných tříd v podstatě totožná. Vzhledem k tomu, že pásma jsou velmi korelovaná a je tudíž zbytečné a výpočetně náročné je všechna používat v klasifikačním procesu, byla provedena jejich transformace do nových pásem pomocí metody hlavních komponent a klasifikace byla provedena pouze nad pásmy novými obsahujícími alespoň 1 % informace (celkem 6 pásem). Nakonec byly vypočítány pro všechny tři atmosféricky a topograficky (ATCOR 3) korigované snímky vegetační indexy NDVI a Tasseled Cap. Průměrné hodnoty indexů trénovacích ploch jednotlivých tříd byly vykresleny do grafů a jejich vizuálním zhodnocením bylo zjištěno, že nejlépe by měly jít třídy oddělit na základě hodnot NDVI z října a srpna, „brightness“ z dubna, „greenness“ ze srpna a z dubna a „wetness“ z října. Veškeré klasifikace probíhaly pod maskou lesa a oblačnosti, která byla definována pomocí neřízené klasifikace. Celkové přesnosti klasifikace trénovacích ploch vyšly v časovém horizontu 2006 – 2010 vysoké ve všech případech (přes 98 %, pro klasifikaci na základě vegetačních indexů necelých 95 %). Na základě hodnocení kontrolních bodů dosáhla nejvyšší celkové přesnosti klasifikace na

základě šesti hlavních komponent, a to 86,67 %. Nejnižší celkovou přesnost (73,33 %) měla klasifikace na základě nekorigovaných pásem všech tří snímků.

Pro období 1998 – 2002 musely být opraveny trénovací plochy a kontrolní body, aby odpovídaly realitě daného časového horizontu, což bylo provedeno na základě jediného dostupného zdroje informací – ortofotomap na serveru Mapy.cz. Území však bylo nasnímáno v létě a tato ortofotomapa je tudíž výrazně hůře interpretovatelná nežli ortofotomapa nasnímaná na podzim. K dispozici nebyl ani snímek Landsat z podzimního období, na jehož základě lze taktéž dobře interpretovat lesní porost. Do klasifikační legendy pak byla přidána jedna speciální kategorie reprezentující místa bez lesní vegetace pod maskou lesa z let 2006 – 2010 (označena byla číslem VI). Vyzkoušeny byly na snímcích Landsat 7 ETM+ z května, července a března obdobné klasifikační postupy jako v časovém horizontu 2006 – 2010. Do klasifikace na základě vegetačních indexů vstupovala pásma NDVI z března, „brightness“ z května, „greenness“ z května a července a „wetness“ z března. Navíc byla vyzkoušena klasifikace pouze snímků z konce července a začátku května (v březnovém snímku výskyt kouřma) a klasifikace těchto snímků zaostřených metodou PANSHARP. Hodnocení přesnosti klasifikací na základě trénovacích ploch pro tento horizont také nedopadlo špatně – na hranici celkové přesnosti 90 % klesla pouze klasifikace na základě dat upravených algoritmem PANSHARP (90,36 %) a pod tuto hranici pouze klasifikace na základě vegetačních indexů (87,36 %). Na základě hodnocení pomocí kontrolních bodů jsou však výsledky obecně špatné, od celkové přesnosti 57,69 % pro klasifikace všech snímků bez korekce i po korekcích ATCOR 2 a ATCOR 3, po maximální celkovou přesnost 69,23 % na základě klasifikace nekorigovaných pásem snímků pouze z května a července. Tyto výsledky jsou však velmi ovlivněny malým množstvím kontrolních bodů (26) ne příliš dobře rozmístěných mezi kategoriemi. Konkrétně se jedná o pouze 3 kontrolní body pro kategorie III a V – pokud je tedy některý z těchto bodů klasifikován špatně, přesnost klasifikace dané třídy rázem klesá o 33 %.

V klasifikaci časového horizontu 1998 – 2002 se zdá, že chybí informace z podzimního snímku, který alespoň částečně bezoblačný neexistuje. Jednoduchým testem bylo na horizontu 2006 – 2010 zjištěno, že kombinace snímků z léta a podzimu (srpen a říjen) dává lepší klasifikační výsledky (pro trénovací plochy celková přesnost 94,88 % a pro kontrolní body 80 %) nežli stejná klasifikace snímků z léta a jara (srpen a duben) – 90,81% celková přesnost klasifikace trénovacích ploch a 63,33% na základě kontrolních bodů. Dále pak mohou být výsledky horizontu 1998 – 2002 ovlivněny i nepřesnými vstupními informacemi, vzhledem k nedostatku referenčních dat z tohoto období.

Ani v jednom z časových horizontů nedosáhla výrazně dobrých výsledků v oddělení pěti lesních kategorií klasifikace na základě vegetačních indexů. Její období úspěšně (s celkovou přesností 82,64 %) použili autoři Eisen, Eisen a Lane (2006) v Kalifornii pro oddělení tří kategorií land cover lišících se hustotou výskytu druhu *Ixodes Pacificus*. K dispozici měli snímky dokonce ze čtyř různých období roku a nemuseli se potýkat s oblačností v nich. Přesto jak píší, klasifikace kategorie lesních porostů na sedm podtypů lišících se různým složením druhů stromů s daty Landsat 5 TM s prostorovým rozlišením 30 m úspěšná nebyla. Rozlišit

dokonce 22 typů lesních porostů charakterizovaných výskytem různých druhů stromů však s 80,1% celkovou přesností klasifikace zvládli Wolter et al. (1995) ve Wisconsinu. K dispozici měli celkem pět snímků Landsat TM a MSS z různých ročních období a informace o tom, kdy v přírodě listnatých stromů který druh zelená a kdy ztrácí olistění. Poté prahováním, klasifikacemi a postupným odmaskováním zvládli těchto 22 druhů oddělit. Využití tohoto postupu však není možné pro třídy odlišné strukturně (nikoli druhově), požadované pro hodnocení rizika nákazy klíšťovou encefalitidou. K dispozici by taktéž nebyla ani vhodná data.

Ze všech dosažených výsledků je těžké určit, která z provedených klasifikací je nejpřesnější. Ani jedno z hodnocení totiž není zcela vypovídající – z přesnosti klasifikace trénovacích ploch nelze dělat závěry o přesnosti klasifikace celého obrazu, ale stejně tak není zcela vypovídající hodnocení přesnosti pouze na základě 30 resp. 26 kontrolních bodů. Pro časový horizont 2006 – 2010 se zdají být nejlepší klasifikace na základě pásem ze všech tří snímků korigovaných pomocí ATCOR 3 (příloha 15) a na základě šesti hlavních komponent spočítaných ze všech tří snímků (příloha 8). Vzhledem k vyšší celkové přesnosti na základě kontrolních bodů klasifikace založené na hlavních komponentách a k nižšímu potřebnému počtu pásem vstupujících do klasifikačního procesu byla tato zvolena jako nejlepší a použita pro hodnocení změn mezi obdobími. Pro horizont 1998 – 2002 se zdá, že nejlepšími klasifikacemi budou buď klasifikace se vstupem šesti pásem vypočítaných metodou hlavních komponent ze všech tří snímků (březen, květen a červenec) (příloha 12), klasifikace nekorigovaných pásem (2 – 5 a 7) snímků ze začátku května a konce července (příloha 13) nebo klasifikace všech pásem všech tří snímků korigovaných pomocí ATCOR 3 (příloha 14). Pro zhodnocení změn mezi horizonty byl nakonec vybrán stejně jako pro časový horizont 2006 – 2010 výstup klasifikace hlavních komponent spočítaný ze všech tří používaných snímků.

Na horizontu 2006 – 2010 byla potvrzena hypotéza, že klasifikace lesních porostů z dat Landsat do pěti různých tříd dává lepší výsledky, pokud je využito snímků z více ročních období. Na druhou stranu, tyto snímky s sebou taktéž přináší nové chyby, které jsou spojeny s výskytem oblačnosti a stínů jí vrhajících a s různou výškou Slunce nad obzorem v době pořízení snímků. Vliv oblačnosti se dá z velké části odmaskovat a v místech jejího výskytu nahradit klasifikací jinou – založenou pravděpodobně pouze na snímku z vegetačního období, který lze většinou nalézt bezoblačný. Toto bylo vyzkoušeno pro výslednou klasifikaci horizontu 2006 – 2010, kdy byl výsledek klasifikace na základě hlavních komponent doplněn o výsledky klasifikace pouze srpnového snímku. Vlivem různé výšky Slunce nad obzorem jsou nejvíce ovlivněny svahy odkloněné od Slunce, které se nachází na scénách z podzimu, zimy a brzkého jara ve stínu, a není tak možné identifikovat porost, který na nich roste (v klasifikacích byly nejčastěji mylně klasifikovány jako kategorie III, strukturně silně heterogenní mladé listnaté porosty a porostní rozhraní). Taktéž výsledky klasifikací ovlivňují i svahy osluněné – jak bylo v kapitole 3.5 ukázáno, nejvíce na těchto svazích byla klasifikována i v atlasu Klíšťová encefalitida v ČR od Daniela a Kříže z roku 2002 kategorie s původním označením 9, nyní V (strukturně heterogenní listnaté porosty). Zdá se, že tento trend byl ještě více prohlouben vstupem snímků z jara a podzimu, kde ve výsledné klasifikaci (na základě hlavních komponent)

je kategorií V tvořeno dokonce 28,6 % svahů se sklonem větším jak 10° a azimutem v rozmezí 105° až 195° (oproti původním 17,32 %) a 42,17 % svahů stejně orientovaných, avšak se sklonem nad 15° (oproti původním 25,90 %). Tyto výsledky by bylo potřeba ověřit v terénu s botanikem a udělat jasný závěr, zda se ve všech těchto případech opravdu jedná o botanicky specifickou kategorii porostu či se jedná o kategorii strukturně homogenních listnatých porostů ovlivněnou reliéfem a geometrií snímání. Redukovat kategorii V na svazích se totiž nepovedlo ani klasifikací dat topograficky korigovaných pomocí algoritmu ATCOR 3. Parametry této korekce byly však nastaveny pouze dle obecných doporučení a tudíž snímky nemusely být korigovány zcela správně, aneb jak uvádí Balthazar, Vanacker a Lambin (2012), nastavení empirických parametrů korekce β_T a g dle obecných doporučení nevede vždy k nejlepším výsledkům a dochází ke zkreslování hodnot odrazivostí v obraze. Avšak nalezení nevhodnější kombinace parametrů korekce pro každou ze scén by bylo nejspíš téma na další diplomovou práci. Nižších rozloh dosahovala kategorie V ve svazích pouze na základě klasifikace s pomocí vegetačních indexů (příloha 16), která však jinak na základě hodnocení přesnosti nedává zcela dobré výsledky.

Za diskuzi dále stojí výsledky klasifikace liniové vegetace a vegetace v obcích. Tyto oba typy míst byly nejčastěji klasifikovány jako kategorie III, strukturně silně heterogenní mladé listnaté porosty a porostní rozhraní, případně jako kategorie VI v časovém horizontu 1998 – 2002. Důvodem je pravděpodobně fakt, že se v obou případech projevuje odrazivost nejen samotného porostu, ale taktéž okolí – odrazivost půdy resp. zástavby či silnic. Tím se naráží na problém, že kategorie III tak bude mít pravděpodobně velmi různorodé riziko nákazy klíšťovou encefalitidou. Riziko nákazy bude podstatně vyšší, pokud se tato třída bude nacházet na okraji lesa, než když bude klasifikována uprostřed města. Nejlepším řešením by tak bylo vegetaci v zástavbě vyčlenit jako samostatnou kategorii, která by byla určena na základě polygonové vrstvy ZABAGED 6.10 Okrasná zahrada, park, a její rizikovost určit samostatně. Avšak i tímto přístupem může dojít k určité chybě – jak je vidět na příkladu parku u zámku Lány, který je v ZABAGED zařazen do této vrstvy 6.10, ale který je de facto klasickým strukturně homogenním listnatým porostem a z části smíšeným porostem. Východiskem by tedy mohla být neřízená klasifikace pouze pod maskou této vrstvy a na jejím základě odhalení výskytu těchto jevů. V případě liniové vegetace se jedná o rozdíly mezi liniovými porosty keřů na loukách a polích či mezi liniovou vegetací kolem vodních toků a stromořadím podél komunikací, které je taktéž zahrnuto v liniové vrstvě ZABAGED 6.12 Liniová vegetace. I mezi těmito dvěma typy liniové vegetace bude pravděpodobně rozdílná hustota výskytu druhu *Ixodes Ricinus*, ale oddělení těchto dvou jevů je z dat Landsat o prostorovém rozlišení 30 m nemožné. Riziko nákazy však v těchto obou případech liniové vegetace bude zajisté nižší než riziko kategorie III nacházející se na lesních okrajích či na plochách v lese s velmi heterogenní nízkou vegetací, tudíž by mohlo být přínosné liniovou vegetaci taktéž z klasifikačního procesu vyloučit a její výskyt a rizikovost nákazy klíšťovou encefalitidou hodnotit pouze z dat ZABAGED.

Legenda vhodná pro hodnocení rizika nákazy klíšťovou encefalitidou by se tak skládala z pěti kategorií daných legendou v této diplomové práci, která vznikla sloučením kategorií

legendy používané v pracích Daniela, Koláře a Zemana (1995) a Daniela, Koláře, Beneše (1999), které se vzájemně překrývaly a v terénu je nebylo možné od sebe rozeznat. Z kategorie III by však jako další třída měla být vydělena veškerá liniová vegetace, pro kterou by teprve riziko nákazy klíšťovou encefalitidou muselo být určeno, stejně tak jako pro nově vytvořenou kategorii vegetace v zástavbě, která v původní klasifikační legendě dle Daniela, Koláře, Zemana (1995) a Daniela, Koláře, Beneše (1999) spadala do třídy 4. Tyto dvě kategorie by byly určovány pouze na základě polohopisných dat ZABAGED a nikoli klasifikacemi družicových snímků Landsat. Upřesněna musí být také kategorie V – zda má stejnou strukturu ve svazích jako na rovinách, případně je-li riziko nákazy klíšťovou encefalitidou v těchto dvou případech shodně velmi nízké a může být definice samotné třídy rozšířena o listnaté porosty bez porostních mezer nacházejících se však ve skloněném terénu. Problémem jsou také listnaté tyčoviny, dle rizika nákazy klíšťovou encefalitidou na základě Daniela, Koláře a Zemana (1995) a Daniela, Koláře, Beneše (1999) spadající do kategorie IV (strukturně homogenní listnaté porosty), ale dle spektrálních vlastností klasifikovanou v podstatě ve všech případech jako kategorie III – strukturně silně heterogenní mladé listnaté porosty a porostní rozhraní. Celkově je pak potřeba počítat s prostorovou rozlišovací schopností Landsatu 30 m. Rozlohou malé plochy lesních porostů či jejich úzké pruhy (cca 2 pixely Landsatu, záleží však, jak je plocha pixelu v daném místě vymezena na zemi, zda se hranice pixelů shoduje s hranicí porostu či nikoliv) mohou být klasifikovány mylně, neboť obsahují spektrální informaci i z okolního odlišného porostu. Nejčastějším takovýmto příkladem jsou na sebe těsně navazující úzké plochy různých druhů stromů (např. borovice – duby – modřiny – buky) nebo malé plochy jehličnatých hustníků uprostřed listnatého porostu. Tyto plochy, přestože svojí strukturou neodpovídají definici typických smíšených porostů, jsou takto klasifikovány. V poměrně heterogenní české krajině tak i prostorová rozlišovací schopnost Landsatu může být nedostatečná, pokud by tyto malé plochy měly hrát významnou roli v určování ohnisek výskytu klíšťové encefalidity.

Porovnáním výsledků nejlepších klasifikací obou horizontů bylo zjištěno, že výsledky se shodují v 50,8 %. Zbýlých skoro 50 % však nereprezentuje pouze změny v území, ale především chyby v klasifikacích. Je totiž nemožné, aby se během deseti let změnil například jehličnatý porost na porost listnatý. Tyto chyby byly tedy odfiltrovány a posuzovány byly pouze změny mezi kategoriemi III a VI a ostatními, mezi nimiž je změna reálně možná. I tak však tyto rozdíly reprezentují 28,59 % změn v lesních kategoriích a přesto, že bylo pozorováno, že se území výrazně měnilo, je pravděpodobně i toto číslo ovlivněno ne zcela přesnými výsledky klasifikací, především horizontu 1998 – 2002. Nejvíce změn pak proběhlo mezi kategoriemi III a II, ke kterým reálně alespoň na některých místech opravdu došlo – dokazují to například vykáčené a nově osazené části smíšeného lesa nedaleko Horního Bezděkova, které byly v horizontu 2006 – 2010 použity jako trénovací plochy pro kategorii III.

Na závěr této kapitoly ještě pár slov o dalších možných datových podkladech týkajících se lesů. Největší datovou základnu má pravděpodobně Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem (ÚHÚL), část dat je veřejnosti přístupná na mapovém serveru <http://geoportal2.uhul.cz/>. Jedná se především o mapu lesních typů, charakterizovaných půdními

a klimatickými vlastnostmi, kombinací druhů příslušné fytoocenosa a potenciální bonitou dřevin. Tato mapa charakterizuje růstové podmínky daných oblastí. (ÚHÚL, 2003). Nelze z ní však hodnotit skutečný porost. To nelze ani z ostatních zde dostupných map, např. lesních vegetačních stupňů, deklarovaných funkcí lesa apod. Pro využití ke klasifikacím na mapovém serveru ÚHÚL tedy nebyla nalezena žádná vhodná mapová vrstva. Kromě Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem se lesní problematice v České republice věnují: státní podnik Lesy České republiky, veřejná výzkumná instituce Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti (VÚLHM) a nezávislá soukromá výzkumná organizace IFER - Ústav pro výzkum lesních ekosystémů, s. r. o.

6 ZÁVĚR

Z této diplomové práce plyne několik dílčích závěrů a doporučení, která budou moci být využita pro projekt „Mapování přírodních ohnisek zoonóz přenosných na člověka v ČR a jejich změny ovlivněné modifikacemi klimatu“.

Prvním ze závěrů je zjištění, že převzorkování scén Landsat kubickou konvolucí nemá závažný dopad na výsledky klasifikací různých typů lesních porostů, a tudíž je možné pro účely klasifikací celé České republiky používat scény Landsat volně dostupné v archivu USGS.

Dále byla definována legenda pěti tříd lesních porostů s ohledem na jejich rizikovitost z hlediska nákazy klíšťovou encefalitidou, která byla určena v projektech Daniela, Koláře, Zemana (1995) a Daniela, Koláře, Beneše (1999). Navrhovaná legenda oproti té původní ve zmiňovaných projektech je jednodušší a jednotlivé kategorie se zde nepřekrývají. Dodatečným návrhem k legendě je pak využití dat polohopisu ZABAGED k definici nových tříd liniová vegetace (na základě vrstvy ZABAGED 6.12 Liniová vegetace) a vegetace v zástavbě (na základě vrstvy 6.10 Okrasná zahrada, park, případně 6.04 Ovocný sad, zahrada). Ostatních pět kategorií (I. jehličnaté porosty, II. smíšené porosty, III. strukturně silně heterogenní mladé listnaté porosty a porostní rozhraní, IV. strukturně homogenní listnaté porosty, V. strukturně heterogenní listnaté porosty) je nejlepší klasifikovat pod maskou lesa vytvořenou taktéž z dat polohopisu ZABAGED – vrstev 6.07 Lesní půda se stromy, 6.08 Lesní půda s křovinatým porostem a pravděpodobně vrstvou chatových kolonií obsažených v celku 1.27 Areál účelové zástavby, která nebyla v diplomové práci zahrnuta.

Pro zpřesnění výsledků klasifikací je nápomocná kombinace snímků Landsat pořízených na jaře, v létě a na podzim. Zjištěno však také bylo, že je naopak potřeba počítat i s určitými novými chybami, které mohou vzniknout na základě nedokonalého odmaskování oblačnosti a jí vrhajících stínů na zemský povrch, a vlivem členitosti terénu v kombinaci s nižší výškou Slunce nad obzorem v neletním období, kdy jsou odkloněné svahy ve stínu. Jako nejlepší se pak jeví klasifikace na základě hlavních komponent s obsahem původní informace nad 1 %, spočítaných na základě snímků z různých ročních období, s pomocí klasifikátoru maximální pravděpodobnosti. Velmi dobré výsledky pak dává také klasifikace pásem korigovaných pomocí atmosférické a topografické korekce ATCOR 3, jejíž výsledky by mohly být ještě lepší, pokud by byly pro každou ze scén nalezeny ideální parametry zadávané do korekčního algoritmu.

Nevýhodou tohoto multitemporálního přístupu ke klasifikaci lesních tříd je fakt, že nebude možné nalézt mimovegetační scény pořízené v sobě si odpovídajících datech, a tudíž nebude možné přenesení klasifikátoru mezi scénami Landsat nad celým územím České republiky. Nutný bude tedy pravděpodobně rozsáhlý terénní průzkum. Jako doplňující zdroj informací se osvědčila interpretace ortofotomap, především pokud byly nasnímány v podzimním období, a interpretace snímků Landsat z mimovegetačních období v RGB syntéze pásem 5-4-3.

POUŽITÉ ZDROJE INFORMACÍ

ARCDATA PRAHA, s. r. o. [2011]. *Klíšťová encefalitida v ČR* [online]. [2011], poslední revize 12. 7. 2011 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z URL <<http://klistata.arcdata.cz/>>.

BALTHAZAR, V.; VANACKER, V.; LAMBIN, E. F. Evaluation and parameterization of ATCOR3 topographic correction method for forest cover mapping in mountain areas. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* [online]. August 2012 (online available 27 April 2012), vol. 18 [cit. 2012-07-14], p. 436 – 450. ISSN 0303-2434. Dostupné z URL <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243412000542>>.

CENIA. 2012. *Národní geoportál INSPIRE* [online]. 2010 – 2012 [cit. 2012-07-15]. Dostupné z URL: <<http://geoportal.gov.cz>>.

CORTINAS, M. R. ... [et al.]. 2002. Detection, characterization, and prediction of tick-borne disease foci. *International Journal of Medical Microbiology* [online]. June 2002, vol. 291, suppl. 33 [cit. 2012-03-23], p. 11 – 20. ISSN 1438-4221. Dostupné z URL <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1438422102800030>>.

CROMLEY, E. K. 2003. GIS and Disease. *Annual Review Of Public Health* [online]. 2003, vol. 24 issue 1 [cit. 2012-03-23], p. 7 – 24. ISSN 0163-7525. Dostupné z URL <<http://ehis.ebscohost.com/eds/detail?sid=0cbdb840-ffd3-4fee-bf6f-5fcfa68d98da%40sessionmgr10&vid=1&hid=4&bdata=Jmxhbm9Y3Mmc2l0ZT1lZHMtOGI2ZQ%3d%3d#db=a9h&AN=9688358>>

DANIEL, M.; KOLÁŘ, J. 1990. Using satellite data to forecast the occurrence of the common tick *Ixodes ricinus* (L.). *Journal of hygiene, epidemiology, microbiology, and immunology*. 1990, vol. 34, issue 3, p. 243 -252. ISSN 0022-1732.

DANIEL, M.; KOLÁŘ, J.; BENEŠ, Č. 1999. *Predikce míst zvýšeného rizika napadení klíštětem *Ixodes Ricinus* a nákazy klíšťovou encefalitidou na území Čech. Závěrečná zpráva o řešení grantu Interní grantové agentury Ministerstva zdravotnictví ČR.* 30 s.

DANIEL, M.; KOLÁŘ, J.; ZEMAN, P. 1995. *Využití družicových dat pro prognózu výskytu klíštěte *Ixodes Ricinus* jako základ prevence jím přenášených chorob. Závěrečná zpráva o řešení grantu Interní grantové agentury Ministerstva zdravotnictví ČR.* 32 s.

DANIEL, M.; ... [et al.]. 1998. Predictive map of Ixodes Ricinus high-incidence habitats and tick-borne encephalitis risk assessment using satellite data. *Experimental and Applied Acarology*. July 1998, vol. 22, issue 7, p. 417 – 433. ISSN 0168-816.

DANIEL, M., KRÍŽ, B. 2002. *Klíšťová encefalitida v České republice*. Praha : Státní zdravotní ústav, 2002.

DLR. 2008. *Atmospheric & Topographic Correction: The ATCOR Models* [online]. 2008, poslední revize 23. 1. 2008 [cit. 2012-07-14]. Dostupné z URL <<http://www.op.dlr.de/atcor/>>.

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

DOBROVOLNÝ, P. 2002. *Výuka krajinné ekologie a DPZ* [online]. 2002, poslední revize 4. 2. 2002 [cit. 2012-07-30]. Dostupné z URL <<http://www.sci.muni.cz/~dobro/intro.html>>.

EISEN, R. J.; EISEN, L.; LANE, R. S. 2005. Remote Sensing (Normalized Difference Vegetation Index) Classification of Risk Versus Minimal Risk Habitats for Human Exposure to Ixodes pacificus (Acari: Ixodidae) Nymphs in Mendocino County, California. *Journal of Medical Entomology*. January 2005, vol. 42, no. 1 [cit. 2012-03-15], p. 75-81. Online ISSN: 1938-2928. Dostupné z URL <<http://www.ingentaconnect.com/content/esa/jme/2005/00000042/00000001/art00011?token=004f134a6457e2a46762c6b415d36766a255c2a566d53673f7b2f27375f2a72752d70bbce23899>>

EISEN, R. J.; EISEN, L.; LANE, R. S. 2006. Predicting density of Ixodes Pacificus nymphs in dense woodlands in Mendocino county, California, based on geographic information systems and remote sensing versus field-derived data. *The American Society of Tropical Medicine and Hygiene* [online]. April 2006, vol. 74, no. 4 [cit. 2011-10-20], p. 632–640. ISSN: 0002-9637. Dostupné z URL <<http://www.ajtmh.org/content/74/4/632.full.pdf+html>>.

ESTRADA-PEÑA, A. 1999. Geostatistics and remote sensing using NOAA-AVHRR satellite imagery as predictive tools in tick distribution and habitat suitability estimations for Boophilus microplus (Acari: Ixodidae) in South America. *Veterinary Parasitology* [online]. February 1999, vol. 81, issue 1 [cit. 2012-03-23], p. 73 – 82. ISSN 0304-4017. Dostupné z URL <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304401798002386>>.

ESTRADA-PEÑA, A. 2001. Forecasting habitat suitability for ticks and prevention of tick-borne diseases. *Veterinary Parasitology* [online]. July 2001, vol. 98, issues 1–3

[cit. 2012-03-23], p. 111 – 132. ISSN 0304-4017. Dostupné z URL <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304401701004265>>.

FAHSI, A. ... [et al.]. 2000. Incorporation of digital elevation models with Landsat-TM data to improve land cover classification accuracy. *Forest Ecology and Management* [online]. March 2000, vol. 128, issues 1-2 [cit. 2012-07-02], p. 57 – 64. ISSN 0378-1127. Dostupné z URL <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112799002728>>.

GISAT. 2012. *Přehled družicových systémů – Landsat* [online]. 2012 [cit. 2012-05-10]. Dostupné z URL: <<http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/prehled-druzicovych-systemu/landsat>>.

HANTSON, S; CHUVIECO, E. 2011. Evaluation of different topographic correction methods for Landsat imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* [online]. October 2011, vol. 13, issue 5 [cit. 2012-07-02], p. 691 – 700. ISSN 0303-2434. Dostupné z URL <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243411000584>>.

HERBRETEAU, V. ... [et al.]. 2007. Thirty years of use and improvement of remote sensing, applied to epidemiology: From early promises to lasting frustration. *Health & Place* [online]. June 2007, vol. 13, no. 2 [cit. 2012-03-21], p. 400 – 403. ISSN 1353-8292. Dostupné z URL <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1353829206000244>>.

HÖNIG, V. ... [et al.]. 2011. Tick-borne diseases risk model for South Bohemia (Czech Republic). In RŮŽIČKA, J.; PEŠKOVÁ, K. *Sborník – Sympozium GIS Ostrava 2011* [online]. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2011 [cit. 2012-06-01]. ISBN 978-80-248-2366-9. Dostupné z URL <http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2011/sbornik/papers/Svec.pdf>.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; BARSİ, J. A. 2007. Revised Landsat-5 Thematic Mapper Radiometric Calibration. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* [online]. July 2007, vol. 4, no. 3 [cit. 2012-07-15], p. 490 – 494. ISSN 1545-598X. Dostupné z URL <http://landsat.usgs.gov/documents/L5TM_postcal.pdf>.

IOANNIS, M., MELIADIS, M. 2011. Multi-temporal Landsat image classification and change analysis of land cover/use in the Prefecture of Thessaloiniki, Greece. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences* [online]. 2011, vol. 1, no. 1, p. 15 – 25. ISSN 2220-8860. Dostupné z URL <<http://www.iaees.org/publications/journals/piaees/articles/2011-1%281%29/Multi-temporal-landsat-image.pdf>>.

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH; LUDWIG-MAXIMILIAN UNIVERSITÄT. 2012. *Klíšťata a jimi přenášená infekční onemocnění v podmínkách Jihočeského kraje a Bavorska* [online]. 2012, poslední revize 26. 1. 2012 [cit. 2012-06-01]. Dostupné z URL <http://tickborne.prf.jcu.cz/Tickborne_CZ/Domu.html>.

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

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ. 2011. *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2010*. 2011 [cit. 2012-07-25]. 130 s. ISBN 978-80-7084-995-8. Dostupné jako PDF soubor z URL <<http://www.uhul.cz/zelenazprava/2010/zz2010.pdf>>.

PCI GEOMATICS. 2007. *Geomatica Version 10.1 – help*. 2007.

PATZELT, Z. ... [et al.]. 2008. *Ochrana přírody a krajiny v České republice* [multimediální aplikace online]. 1. vyd. Praha : Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2008. Dostupné z URL <<http://www.cittadella.cz/europarc>>.

PRESSOVÁ, J. 2012. *Katalog objektů ZABAGED* [online]. Verze 2.4, Praha : Zeměměřický úřad, 2012 [cit. 2012-07-25]. 142 s. Dostupné jako PDF soubor z URL <http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/KATALOG_OBJEKTU_ZABAGED_2012.pdf>.

RANDOLPH, S. E. ... [et al.]. 2000. Seasonal synchrony: the key to tick-borne encephalitis foci identified by satellite data. *Parasitology* [online]. July 2000, vol. 121, issue 1 [cit. 2012-03-28], p. 15 – 23. ISSN: 0031-1820. Dostupné z URL <http://journals.cambridge.org/download.php?file=%2FFPAR%2FFPAR121_01%2FS0031182099006083a.pdf&code=6d14a794905ae0afa52396b9fb4b0cce>

SONG, C. ... [et al.]. 2001. Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects?. *Remote Sensing of Environment* [online]. February 2001, vol. 75, issue 2 [cit. 2012-07-01], p. 230 – 244. ISSN 0034-4257. Dostupné z URL <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425700001693>>.

SCHOWENGERDT, R. A. 2007. *Remote Sensing, Models and Methods for Image Processing*. 3rd Edition. USA : Elsevier (Academic Press), 2007. 515 p. ISBN 10: 0-12-369407-8.

SCHWARZ, A. ... [et al.]. 2009. Analysis of the distribution of the tick *Ixodes ricinus* L. (Acari: Ixodidae) in a nature reserve of western Germany using Geographic Information

Systems. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* [online]. January 2009, vol. 212, issue 1 [cit. 2012-07-01], p. 87 – 96. ISSN 1438-4639. Dostupné z URL <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1438463907001897>>.

TUCKER, C., DENELLE, M., DYKSTRA, D. 2004. NASA's Global Orthorectified Landsat Data Set. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* [online]. March 2004, vol. 70, no. 3 [cit. 2012-30-04], p. 313–322. Dostupné z URL <http://glcf.umiacs.umd.edu/library/pdf/PERSMarch_04_313-322.pdf>.

ŠVEC, P. ...[et al.]. 2009. Využití gis pro mapování klíšťat a klíšťaty přenášených patogenů v Jihočeském kraji. *Geografie – Sborník české geografické společnosti* [online]. 2009, ročník 114, číslo 3 [cit. 2012-06-01], s. 157 – 168. Dostupné z URL <<http://geography.cz/sbornik/wp-content/uploads/2010/01/g09-3-1svec.pdf>>.

ŠVEC, P.; HÖNIG, V.; POLÁČEK, J. 2012. *Klíšťata a jimi přenášená onemocnění v Jihočeském kraji a regionech Bavorska* [online]. 2012, poslední revize 1. 7. 2012 [cit. 2012-06-01]. Dostupné z URL <<http://gis.vsb.cz/klistata/>>.

ÚHÚL. 2003. *Typologie lesů* [online]. 2003, poslední revize 21. 8. 2012 [cit. 22. 8. 2012]. Dostupné z URL <<http://www.uhul.cz/lestypol/>>.

USGS. 2011. *Landsat Data Dictionary* [online]. 2011 [cit. 2012-06-10]. Dostupné z URL <http://edcsns17.cr.usgs.gov/helpdocs/dict/landsat_dictionary.html>

USGS. 2009. *Landsat Product Type Descriptions* [online]. 2012 [cit. 2012-05-10]. Dostupné z URL: <http://edcsns17.cr.usgs.gov/helpdocs/landsat/product_descriptions.html>

University of Maryland. 2010. *GLCF: Global Land Survey (GLS) DEM* [online]. 2010 [cit. 2012-05-10]. Dostupné z URL: <<http://www.glcf.umd.edu/data/glsdem/>>

WOLTER, P. T. ... [et al.]. 1995. Improved Forest classification in the Northern Lake states using multi-temporal Landsat imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* [online]. 1995, vol. 61, no. 9 [cit. 2012-04-16], p. 1129 – 1143. ISSN 0099-1112. Dostupné z URL <http://ncrs.fs.fed.us/4153/publications/Wolter_etal1995_PERS.pdf>

ZHANG, Y. 2004. Understanding Image Fusion. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* [online]. 2004, vol. 70, no. 6 [cit. 2012-08-03], p. 657-661. Dostupné z URL <http://studio.gge.unb.ca/unb/zoomview/PERS_Vol70_No6_paper.pdf>.

POUŽITÉ DATOVÉ ZDROJE

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

Mapový server Mapy.cz [online] © 1996 - 2012 Seznam.cz, a.s. Dostupné z WWW: <<http://mapy.cz/>>. Citováno dne 25. července 2012.

Národní geoportál INSPIRE [online] © 2010-2012 CENIA. Dostupné z WWW: <<http://geoportal.gov.cz>>. Citováno dne 30. května 2012.

LS05_TM_GEO_1P_20090824T094622_20090824T094651_MTI_135532_0000.tiff.tar (Multispektrální snímek Landsat 5 TM z 24. 8. 2009, GEOREFERENCED) [online]. European Space Agency. Staženo přes SW EOLi dne 19. 4. 2012.

LT51920252009236KIS00.tar (Multispektrální snímek Landsat 5 TM z 24. 8. 2009) [online]. U. S. Geological Survey. Staženo dne 30. září 2011 z webových stránek <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>.

LT51920252010303KIS00.tar (Multispektrální snímek Landsat 5 TM z 30. 10. 2010) [online]. U. S. Geological Survey. Staženo dne 1. května 2012 z webových stránek <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>.

LT51920252007119MOR00.tar (Multispektrální snímek Landsat 5 TM z 29. 4. 2007) [online]. U. S. Geological Survey. Staženo dne 1. května 2012 z webových stránek <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>.

LE71920252000124EDC00.tar (Multispektrální snímek Landsat 7 ETM+ ze 3. 5. 2000) [online]. U. S. Geological Survey. Staženo dne 10. června 2012 z webových stránek <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>.

LE71920252002065EDC00.tar (Multispektrální snímek Landsat 7 ETM+ ze 6. 3. 2002) [online]. U. S. Geological Survey. Staženo dne 10. června 2012 z webových stránek <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>.

LE71920252002209EDC00.tar (Multispektrální snímek Landsat 7 ETM+ z 28. 7. 2002) [online]. U. S. Geological Survey. Staženo dne 10. června 2012 z webových stránek <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>.

Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®) – polohopis, vrstva 6. Vegetace a povrch v rozsahu modelového území (49 mapových listů ZM 10). Poslední aktualizace v roce 2010. Data byla zapůjčena © Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním.

Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®) – výškopis. © Český úřad zeměměřický a katastrální, 2011.

SEZNAM PŘÍLOH

1. CD s elektronickou verzí diplomové práce
2. Charakteristika devíti lesních tříd dle Daniela et al. (1995, 1999)
3. Typické fotografie klasifikovaných lesních kategorií
4. Rozmístění kontrolních bodů a trénovacích ploch v časových horizontech 1998 – 2002 a 2006 – 2010
5. Chybové matice klasifikací trénovacích ploch časového horizontu 2006 – 2010 s pomocí různých multitemporálních přístupů
6. Chybové matice klasifikací trénovacích ploch časového horizontu 1998 – 2002 s pomocí různých multitemporálních přístupů
7. Uživatelské a zpracovatelské přesnosti jednotlivých tříd pro různé klasifikační metody na základě kontrolních bodů pro horizonty 2006 – 2010 a 1998 – 2002
8. Výsledek klasifikace lesních porostů na základě šesti hlavních komponent spočítaných ze snímků z 29. 4. 2007, 24. 8. 2009 a 30. 10. 2010
9. Výsledek klasifikace lesních porostů na základě snímku z 24. 8. 2009 získaného z archivu USGS
10. Výsledná mapa lesních porostů pro časový horizont 2006 – 2010 (výsledky klasifikace na základě hlavních komponent doplněné v místech výskytu oblačnosti o výsledky klasifikace pouze srpnového snímku)
11. Výsledek klasifikace lesních porostů na základě snímků z 3. 5. 2000 a 28. 7. 2002 zaostřených algoritmem PANSHARP
12. Výsledek klasifikace lesních porostů na základě šesti hlavních komponent spočítaných ze snímků z 6. 3. 2002, 3. 5. 2000 a 28. 7. 2002
13. Výsledek klasifikace lesních porostů na základě snímků z 3. 5. 2000 a 28. 7. 2002
14. Výsledek klasifikace lesních porostů na základě snímků z 6. 3. 2002, 3. 5. 2000 a 28. 7. 2002 korigovaných algoritmem ATCOR 3
15. Výsledek klasifikace lesních porostů na základě snímků z 29. 4. 2007, 24. 8. 2009 a 30. 10. 2010 korigovaných algoritmem ATCOR 3
16. Výsledek klasifikace lesních porostů na základě vegetačních indexů NDVI a Tasseled Cap spočítaných ze snímků z 29. 4. 2007, 24. 8. 2009 a 30. 10. 2010 korigovaných algoritmem ATCOR 3