

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
Přírodovědecká fakulta
katedra aplikované geoinformatiky a kartografie



**VYUŽITÍ DRUŽICOVÝCH DAT VYSOKÉHO ČASOVÉHO
ROZLIŠENÍ K URČENÍ SPEKTRÁLNÍCH
VLASTNOSTÍ VEGETACE**

Diplomová práce

Lucie Malíková

Květen 2010

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

Vysoká škola: Univerzita Karlova v Praze

Fakulta: Přírodovědecká

Katedra: Aplikované geoinformatiky a kartografie

Školní rok: 2009/2010

Zadání diplomové práce

pro Lucii Malíkovou

obor Kartografie a geoinformatika

Název tématu: Využití družicových dat vysokého časového rozlišení k určení spektrálních vlastností vegetace

Zásady pro vypracování

Důležitým předpokladem pro pochopení přírodních dějů v krajině jsou přesné a aktuální informace o stavu a vývoji vegetace. Tyto požadavky splňuje sledování pomocí metod dálkového průzkumu Země s využitím družicových dat vysokého temporálního a spektrálního rozlišení. Od roku 2008 je na katedře KAGIK instalována přijímací stanice dat MERIS, které můžeme zařadit do skupiny dat vysokého časového rozlišení.

Cílem diplomní práce je analyzovat spektrální křivky vybraných typů vegetace pro data pořízená senzorem MERIS. Na vybraných lokalitách v ČR budou sledovány spektrální vlastnosti vegetace. Na podkladě této analýzy bude vytvořena spektrální knihovna. Na základě těchto získaných informací budou zkoumány možnosti klasifikace dynamicky měnících se složek v krajině, jako např. zemědělských plodin.

Nedílnou součástí diplomové práce bude literární rešerše a přehled řešených projektů s daty vysokého časového rozlišení (MERIS, MODIS, NOAA,...). Dále bude vytvořena databáze řady bezoblačných snímků pro rok 2009 a 2010. U vybraných snímků bude provedeno předzpracování obrazu, výpočet vegetačních indexů a bude vykonána klasifikace vegetačního povrchu. Detailně budou popsány spektrální křivky sledovaných typů vegetace a jejich změny v čase. U zkoumaných klasifikačních metod bude provedena analýza přesnosti a srovnání s jinými databázemi (jako např. GLOBCOVER). Práce bude řešena jak pomocí komerčních programů např. PCI Geomatica, tak i volně stažitelných SW BEAM.

Přínos práce lze spatřovat ve výzkumu spektrálních vlastností vegetace v průběhu roku na podkladě multispektrálních dat MERIS (15 kanálů) a ve stanovení nové metodiky v určování land cover dynamicky měnících se složek krajiny (např. zemědělská půda-řepka olejka, kukuřice a obiloviny...). Tato metodika by měla umožnit odhad rozsahu a rozmístění jednotlivých vegetačních tříd zemědělské půdy pro oblasti malých měřítek na úrovni regionů a států, kde je použití družicových dat vysokého a velmi vysokého prostorového rozlišení časově, finančně i technicky

náročné. Použité metody by měly být také přínosné k odhadu zemědělské produkce na úrovni státu.

Konkrétními výstupy budou:

1. spektrální knihovna sledovaných druhů vegetace z dat MERIS
2. databáze družicových dat bezoblačných snímků
3. metodika klasifikace sledovaných složek vegetace
4. mapové výstupy

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 50 – 70 stran

Seznam odborné literatury:

Revers, J.G.P.W et al. (2007): *Using MERIS on Envisat for land cover mapping in the Netherlands. International Journal of Remote Sensing, Vol. 28, Nos. 3–4, 637–652.*

Dash, J. et al. (2007): *Land cover classification using multi-temporal MERIS vegetation indices. International Journal of Remote Sensing Vol. 28, No. 6, 1137–1159.*

Guanter, L. et al. (2007): *A method for the atmospheric correction of ENVISAT/MERIS data over land targets. International Journal of Remote Sensing, Vol. 28, Nos. 3–4, 709–728.*

Berberoglu, S. et al. (2007): *Modeling Forest Productivity Using Envisat MERIS Data. Sensors 2007, No. 7, 2115-2127*

Raúl Zurita-Milla (2008): *Mapping and monitoring heterogenous landscapes: spatial, spectral and temporal unmixing of MERIS data, PhD Thesis, Wageningen University, Wageningen, The NeNetherlands. 149 p.*

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

Konzultant diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: 2. 11. 2009

Termín odevzdání diplomové práce: léto 2010

Platnost tohoto zadání je po dobu jednoho akademického roku.

.....
Vedoucí diplomové práce

RNDr. Přemysl Štych, Ph.D.

V Praze dne 2.11.2009

.....
Vedoucí katedry

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 Praze dne

Lucie Malíková

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce RNDr. Přemyslu Štychovi, Ph.D. za pomoc a užitečné rady při vedení mé diplomové práce, Ing. Lukáši Brodskému za cenné poznatky z praxe, katedře aplikované geoinformatiky a kartografie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze, Ministerstvu zemědělství a firmám SZIF a Gisat za poskytnutá data. Zároveň bych chtěla poděkovat své rodině, která mi vytvořila optimální podmínky pro práci, a také mému příteli a kamarádům, kteří mě podporovali a dopomohli tak ke vzniku této práce.

Využití družicových dat vysokého časového rozlišení k určení spektrálních vlastností vegetace

Abstrakt

V této práci jsou zkoumány možnosti využití multitemporálních dat MERIS pro průběžné sledování spektrálních vlastností vegetace. Současně je navržen metodický postup pro zpracování těchto dat a pro kontinuální sledování spektrálních vlastností krajinných prvků. Z výsledků dílčích analýz je v závěru práce vytvořena databáze vegetačního pokryvu ČR pro rok 2009.

V práci je využito klasifikace LSU (Linear spectral unmixing) i prahování histogramu vegetačních indexů. Je vytvořen obecný rozhodovací algoritmus pro klasifikaci vegetační složky krajiny a stanoveny konkrétní prahové hodnoty vegetačních indexů pro rok 2009.

Výsledkem práce je databáze vegetačního pokryvu ČR za rok 2009 s celkovou přesností 63,35 %. Přesnost klasifikace lesních ploch dosahuje dokonce přes 80 %.

Klíčová slova: DPZ, MERIS, vegetace, spektrální odrazivost, LSU, BEAM

The application of high temporal satellite image data for designation of the spectral characteristic of vegetation

Abstract

The objective of this paper is to evaluate possibilities of high temporal satellite data assimilation for continuous monitoring of the spectral characteristic of vegetation. There is also given the suggestion of methodology for processing MERIS data and for continuous monitoring of spectral characteristic of landscape objects. Finally, vegetation cover database for the Czech Republic in the year 2009 is created from sectorial analysis.

In the paper there is used the LSU classification and thresholding of vegetation indices histograms. The universal decision algorithm for classification of vegetation landscape component are described and particular thresholding values for the year 2009 given.

The finally product of this paper is Czech vegetation cover database for the year 2009 with overall accuracy of 63,35 %. Accuracy for forest is even over 80 %.

Keywords: remote sensing, MERIS, vegetation, spectral reflectance, LSU, BEAM

OBSAH

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK.....	8
SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, GRAFŮ A MAP V TEXTU.....	10
1 Úvod	12
1.1. Cíle práce.....	12
2 Mapování vegetace z družicových dat	14
2.1 Družicová „high-temporal“ data pro mapování vegetace.....	18
2.2 Projekty a produkty mapující vegetaci	21
3 Spektrální vlastnosti vegetace	24
3.1 Vegetační indexy	27
4 Data a metodika.....	30
4.1 Data.....	30
4.1.1 MERIS	30
4.1.2 GlobCover.....	32
4.1.3 CLC06 (Corine Land Cover 2006).....	33
4.1.4 LPIS (Land Parcel Identification System).....	33
4.1.5 SZIF (Státní zemědělský a intervenční fond)	35
4.2 Software.....	35
4.2.1 EOLi-SA	35
4.2.2 BEAM.....	36
4.3 Metodika	37
4.3.1 Výběr dat	38
4.3.2 Předzpracování dat.....	38
4.3.3 Analýza spektrálního chování vegetace.....	42
4.3.4 Klasifikace	44
4.3.5 Postklasifikační úpravy.....	50
5 Výsledky práce	51
6 Diskuze k výsledkům práce	62
7 Závěr	64
SEZNAM ZDROJŮ INFORMACÍ	66
SEZNAM PŘÍLOH.....	72

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

AERONET	A erosol R obotic N ETwork
AVHRR	A dvanced V ery H igh R esolution R adiometer
AOD	A erosol O ptical D epth
BAER	B remen A erosol R etrieval
BEAM	B asic E NVISAT T oolbox for (A)ATSR and MERIS
CEOS	C ommittee on E arth O bservation S atellites
CSIRO	T he C ommonwealth S cientific and I ndustrial R esearch O rganisation
CSO	C zech S pace O ffice
ČHMÚ	Č eský h ydrometeorologický ústav
DL	D imensionless = bezrozměrný (z ENVISAT terminologie)
EAFRD	E uropean A gricultural F und for R ural D evelopment
EAGF	E uropean A gricultural G uarantee F und
ECMWF	E uropean C entre for M edium- R ange W eather F orecasts
EEA	E uropean E nvironment A gency
EFF	E uropean F isheries F und
ENVISAT	E nvironment S atellite
EOLi-SA	E arth O bservation L ink S tand A lone
ESA	E uropean S pace A gency
ESRIN	E uropean S pace R esearch I nstitute
FAO	F ood and A griculture O rganization
FR	F ull R esolution
GMES	G lobal M onitoring for E nvironment and S ecurity
GOFC-GOLD	G lobal O bservation for F orest and L and C over D ynamics
IGBP	I nternational G eosphere B iosphere P rogram
IR	I nfrared
JRC	J oint R esearch C entre
KAGIK	K atedra aplikované g eoinformatiky a k artografie P řf U K v P raze
LAI	L eaf A rea I ndex
LCCS	L and C over C lassification S ystem
LPIS	L and P arcel I dentification S ystem

LSU	Linear Spectral Unmixing
MERIS	Medium Resolution Imaging Spectrometer
MGVI	MERIS Global Vegetation Index
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MTCI	MERIS Terrestrial Chlorophyll Index
NDVI	Normalised Diferential Vegetation Index
NGA	National Geospatial-intelligence Agency
NIR	Near Infrared
PCA	Principal component analysis
PECS	Plan for European Cooperating States
RR	Reduce Resolution
RMSE	Root Mean Square Error
SCAPE-M	Self-Contained Atmospheric Parameters Estimation from MERIS data
SMAC	Simplified Method for Atmospheric Correction
SMUS	SOSI MERIS User Service
SOSI	Spatial Observation Services and Infrastructure
SSE	Service Support Environment
STS	Spectral Temporal Signature
SZIF	Státní zemědělský a intervenční fond
TOA	Top of Atmosphere
TOC	Top of Canopy
UCL	Université catholique de Louvain
UTC	Coordinated Universal Time
UTM	Universal Transverse Mercator
UNEP	United Nations Environment Programme
USGS	The United States Geological Survey
VI	Vegetační index
WGS	World Geodetic System

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, GRAFŮ A MAP V TEXTU

Obr. 1: Výhody pásma Red Edge.....	20
Obr. 2: GlobCover.....	22
Obr. 3: Růstové fáze vegetace na příkladu brambor	25
Obr. 4: Křivka spektrální odrazivosti listu charakteristická pro vegetaci	26
Obr. 5: Vliv stáří listu na odrazivost	26
Obr. 6: Vliv obsahu vody a vícečetného odrazu v listu na odrazivost	27
Obr. 7: Vybrané vegetační indexy v SV Čechách z 22. června 2008	29
Obr. 8: Odvozené radiační spektrum vegetace na horní hranici atmosféry	32
Obr. 9: Uživatelské prostředí aplikace EOLi-SA.....	36
Obr. 10: Uživatelské prostředí SW BEAM.....	37
Obr. 11: Vliv atmosférické korekce SMAC na spektrální křivku odrazivosti	40
Obr. 12: Hodnoty spektrální odrazivosti v. n. Lipno a Starého Města v Praze po korekci SMAC.....	41
Obr. 13: Klimatické oblasti ČR podle Moravce a Votýpky (1998)	43
Obr. 14: Ukázka masek v SW BEAM 4.7	43
Obr. 15: Výběr endmembers	45
Obr. 16: Nová pásma z LSU na snímku z 20. srpna 2009	46
Obr. 17: Barevná kombinace pásem LSU na snímku z 2. dubna 2009.....	47
Obr. 18: Ukázka histogramu hodnot LAI	47
Obr. 19: Klasifikační schéma.....	49
Obr. 20: Časová řada snímků MERIS v nepravých barvách (RGB - 13,9,7) - detail	48
Obr. 21: Referenční bodová vrstva pro hodnocení přesnosti klasifikací	50
Obr. 22: Vliv klimatické oblasti na spektrální křivku odrazivosti vegetace	51
Obr. 23: Vliv klimatické oblasti na hodnoty vegetačních ukazatelů.....	52
Obr. 24: Časový průběh spektrální odrazivosti lesních ploch.....	53
Obr. 25: Časový průběh spektrální odrazivosti zemědělských ploch	54
Obr. 26: Časový průběh vegetačního ukazatele LAIxCab.....	55
Obr. 27: Časový průběh vegetačního ukazatele LAIxCab a fenologické fáze vývoje	55
Obr. 28: Vývoj hodnot vegetačních indexů	56
Obr. 29: Klasifikace vegetačního pokryvu - pro jednotlivé měsíce	59

Tab. 1: Přehled družicových dat vysokého časového rozlišení.....	18
Tab. 2: Spektrální pásma MERIS a jejich využití.....	31
Tab. 3: Zpracované snímky ze senzoru MERIS.....	32
Tab. 4: Prahové hodnoty pro klasifikaci	49
Tab. 5: Chybové matice a přesnost použitých klasifikačních metod	57
Tab. 6: Chybové matice a přesnost klasifikace GlobCover a LSU+VI.....	58
Tab. 7: Chybové matice a přesnost dílčích klasifikací.....	60
Tab. 8: Chybová matice a přesnost výsledné klasifikace.....	60
Graf 1: Podíl klasifikovaných kategorií na rozloze ČR v roce 2009.....	59
Mapa 1: Vegetační pokryv ČR v roce 2009.....	60

KAPITOLA 1

Úvod

Mapování vegetace patří již od počátků satelitního dálkového průzkumu k jedné ze stěžejních oblastí výzkumu a stále si zachovává svou aktuálnost především díky poskytování cenných informací o rozsahu, rozmístění, stavu a vývoji vegetace. Informace získané z vegetačních map mají široké uplatnění např. v ekologii (vliv lidské činnosti), hydrologii (vstupy pro hydrologickou analýzu), zemědělství (efektivní management, precizní zemědělství, dotace), lesnictví (napadení škůdci) i pro územní plánování a další aplikace.

V současné době se často hovoří o ničení přirozené krajinné struktury člověkem (rozorání mezí, kácení větrolamů, pěstování širokořádkových plodin na svazích, úpravy vodních toků) a o vlivu těchto antropogenních změn na funkci krajiny. Důsledkem tohoto nešetrného zacházení s krajinou může být narušení její základní retenční funkce a může docházet k častěji se vyskytujícím přírodním katastrofám. V posledních dvou dekadách se jednalo např. o povodně v červenci 1997, srpnu 2002, březnu a dubnu 2006 a sérii bleskových povodní na severní Moravě v roce 2009.

Jedním z informačních zdrojů pro sledování změn struktury krajiny je terénní mapování, které je ale časově velmi náročné a při mapování rozsáhlých oblastí postrádá aktuálnost. Z tohoto důvodu se úspěšně využívají metody dálkového průzkumu Země, kdy např. multitemporální družicové snímkování poskytuje přesné a aktuální mapy jednotlivých složek vegetačního krytu.

V této práci je zkoumán potenciál multitemporálních dat středního prostorového rozlišení pro identifikaci jednotlivých vegetačních typů především v zemědělské krajině a pro vytvoření jejich mapy na území České republiky.

1.1. Cíle práce

Cílem diplomové práce je analyzovat spektrální vlastnosti vybraných typů vegetace z dat pořízených senzorem MERIS ve vybraných lokalitách v ČR. Na podkladě této analýzy bude vytvořena spektrální knihovna (informační báze), na základě které bude zkoumána možnost provedení klasifikace dynamicky měnících se složek v krajině, jako např. zemědělských plodin.

Dílčím cílem je vytvoření databáze bezoblačných dat MERIS pro rok 2009, která jsou archivována na Katedře aplikované geoinformatiky a kartografie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze (KAGIK), kde je od roku 2008 instalována přijímací stanice pro tato data.

Konkrétními výstupy budou:

1. spektrální knihovna sledovaných druhů vegetace z dat MERIS
2. databáze družicových dat bezoblačných snímků
3. metodika sledování spektrálních vlastností a klasifikace sledovaných složek vegetace
4. databáze klasifikace land cover a mapové výstupy
5. diskuze dosažených výsledků

KAPITOLA 2

Mapování vegetace z družicových dat

Éra družic poskytujících data pro výzkum přírodních zdrojů Země započala vypuštěním Earth Resources Technology Satellite (později přejmenován na Landsat 1) v roce 1972 (ZURITA-MILLA, 2008). V této době byly za strategickou komoditu považovány zemědělské plodiny a předpověď úrody a sklizně prostřednictvím satelitů se rychle stala politickou a finanční prioritou (SCHUTZ, 2000, CIT. IN BROM, 2010). Od té doby bylo na oběžnou dráhu vyneseno mnoho dalších senzorů s různými rozlišovacími schopnostmi, které se využívají pro pozorování vegetačního krytu Země. Nejčastěji se využívají optická data pořízená skenerem Thematic Mapper (TM) družice Landsat, která rozsahem spektrálních pásem pokrývá a rozlišuje půdu, vodu a biomasu. Dalšími senzory využívanými se pro mapování vegetace jsou např. SPOT VEGETATION, IKONOS, NOAA a z novějších pak např. MODIS, MERIS, RapidEye a WorldView-2.

Literatura o mapování vegetace – obecně

Obecný pohled na mapování vegetace a celkově na obor DPZ, interpretaci a zpracování dat DPZ nabízí odborné publikace, jako jsou např. INTRODUCTION TO REMOTE SENSING (CAMPBELL, 2002), REMOTE SENSING AND IMAGE INTERPRETATION (LILLESAND, KIEFER, CHIPMAN, 2004) a REMOTE SENSING OF THE ENVIRONMENT: AN EARTH RESOURCE PERSPECTIVE (JENSEN, 2000).

Pro mapování vegetace se využívá mnoho různých technik – od digitalizace starých map, přes terénní průzkumy a letecké snímkování, až po laserové skenování a vyhodnocování družicových dat s rozličnými rozlišovacími schopnostmi. Volba techniky mapování a dále pak rozlišovací schopnosti při využívání dat z DPZ závisí na oblasti použití (zemědělství, lesnictví, krajinná ekologie). Pro každou tuto oblast výzkumu se z dat DPZ zjišťují specifické informace. Stejně tak v literatuře týkající se mapování vegetace lze vyčlenit několik typických okruhů zájmu.

Jedná se především o literaturu zaměřenou na tyto oblasti:

- mapování prostorové struktury krajiny - land cover (ZURITA-MILLA, 2008)
- zjišťování kvalitativních a kvantitativních charakteristik vegetace - zdravotní stav

- vegetace (PAVELKA, 1999), teplota, vlhkost, evapotranspirace, rozsah deforestrace
- monitorování časových změn vegetace - změna rozlohy jednotlivých krajinných typů (GREEN ... [ET AL.], 1993; KUČERA, 1999)
 - odhad výnosů zemědělských plodin (DENTE ... [ET AL.], 2006)

Literatura o spektrálních vlastnostech vegetace

Rozdílné spektrální chování pozorovaných objektů je podstatou DPZ. Každá látka na zemském povrchu se vyznačuje svojí vlastní spektrální charakteristikou. Pro daný objekt lze sestavit závislost mezi jeho odrazivostí a vlnovou délkou a průběh této závislosti bude pro objekt víceméně typický. Tato charakteristika se obvykle označuje jako spektrální křivka odrazivosti a je projevem tzv. spektrálního chování objektů (DOBROVOLNÝ, 1998). Spektrální křivka odrazivosti má pro stejnou třídu objektů vždy typický průběh.

Pro interpretaci objektů podle spektrálních křivek bylo vytvořeno velké množství spektrálních knihoven. Tyto knihovny jsou většinou připojeny jako databáze ke komerčním programům a obsahují křivky minerálů, hornin a některých vegetačních druhů, jako jsou druhy lesních porostů, ale neobsahují zemědělské plodiny (RAMA-RAO, 2006).

Na internetu můžeme najít několik volně dostupných knihoven, např.:

<http://speclib.jpl.nasa.gov>

http://specchio.ch/spectral_db_links.php

<http://www.hyperspectral.info/>

http://cocoon.caf.dlr.de/intro_en.html

RAJAPAKSE, TRIPATHI, HONDA (2001) zkoumají spektrální chování čaje na plantážích Srí Lanky s využitím pozemních měření spektrometrem a pixelovým měřením ze senzoru LISS-III. Senzor LISS-III není pro toto použití příliš vhodný, jelikož provádí měření pouze na 4 spektrálních pásmech a nezachycuje tedy tak jednoznačně rozdíly při porovnávání spektrálních křivek jednotlivých zkoumaných druhů čaje. V literatuře jsou, i přes použití nevhodného senzoru, dobře zachyceny souvislosti řešeného problému a mnoho odkazů na relevantní literaturu (např. AASE, 1981, GATES, 1965).

Literatura o využití dat s vysokým časovým rozlišením pro mapování vegetace

V závislosti na časovém rozlišení série snímků lze postihnout jevy s různou dynamikou. Snímky s vysokým časovým rozlišením se primárně využívají pro meteorologické aplikace, jelikož jejich vysoké temporální rozlišení je kompenzováno nižším rozlišením prostorovým, které není vhodné pro potřeby mapování podrobné a značně heterogenní krajinné struktury.

Družicové systémy lze podle temporálního rozlišení rozdělit na:

Vysokého temporálního rozlišení: < 24 hodin - 3 dny

Středního temporálního rozlišení: 4 - 16 dnů

Nízkého temporálního rozlišení: > 16 dnů

(<http://www.satimagingcorp.com>)

Ve svých pracích využívají multitemporální data např. AURDAL, VIKHAMAR, SOLBERG, (2005), kteří shledávají použití pouze jednoho časového horizontu pro klasifikaci vegetace jako zcela nevyhovující a velmi odvážné. Jednotlivé vegetační kategorie zde oddělují na základě znalosti fenologických fází s využitím skrytých Markovových Modelů (blíže o Hidden Markovových Modelech RABINER, 1989).

JUNXIANG ... [ET AL.], (2006) zpracovávají data ze senzoru AVHRR na družici NOAA za použití analýzy hlavních komponent (PCA) a neřízené klasifikace metodou ISODATA, kterou aplikují na kompozity vegetačního indexu NDVI vytvořené z 10denních měření snímaných po dobu 7 měsíců v období únor – srpen 2006 na území subtropických lesů východní Asie. Výsledkem jejich práce je 6 kategorií vegetačního krytu, které odpovídají čínskému taxonomickému vegetačnímu systému s přesností cca 80 %.

LICHVAR, FINNEGAN (2004) zaměřují svůj výzkum na mapování vegetace s využitím STS (Spectral Temporal Signature) analýzy, při které hledají vegetační příznaky v 3D prostoru. V trojrozměrném grafu se na jedné ose nacházejí vlnová délka, na druhé odrazivost a na třetí ose čas.

V posledních letech se vyvíjejí nové družicové systémy s vysokým temporálním i vyšším prostorovým rozlišením (např. WorldView-2) a vznikají tak četné práce zkoumající možnosti jejich použití. BENHADJ ... [ET AL.], (2007) využívají pro mapování krajinného pokryvu data z družice FORMOSAT-2, která snímá data jak s vysokou temporální rozlišovací schopností, tak i ve vysokém prostorovém rozlišení.

Literatura o mapování zemědělských plodin

Vzrůstající zájem o metody klasifikace zemědělských plodin byl zaznamenán až v posledních pár letech s rozvojem precizního zemědělství a s vylepšenými prostorovými a spektrálními rozlišovacími schopnostmi nových senzorů (RAMA-RAO, 2008).

RAMA-RAO (2006) ve své studii porovnává dva typy automatické klasifikace zemědělských plodin (rýže, chilli, cukrová třtina, bavlna) v Indii. Zmiňuje složitost a různorodost zemědělské krajiny v závislosti na geografické poloze, čase, nadmořské výšce, sklonu a vlhkostních podmínkách, kterou řeší výběrem tří nejdůležitějších zemědělských typů pro každou plodinu. Klasifikaci provádí na základě spektrálních křivek ze spektrální knihovny vytvořené z pozemních měření („in situ hyperspectral measurement“) a ze spektrální knihovny vytvořené na pixelové úrovni (Hyperion data). Při použití obou metod dosahuje přesnosti klasifikace přes 80 %, v případě použití spektrálních křivek získaných na pixelové úrovni z dat

Hyperion dokonce 88,8 %. V této práci je využito pouze jednoho časového horizontu (28. září 2003), kdy rýže a cukrová třtina mají podobný průběh spektrální křivky odrazivosti a dochází tak při klasifikaci k občasné záměně těchto plodin.

V České republice zkoumá detailnější kategorie vegetačního krytu ve své diplomové práci např. BLAŽEK (2008), který se zaměřuje na klasifikaci zemědělských plodin z družicových dat senzoru Landsat (TM) a na změnu v rozmístění a rozloze jednotlivých plodin mezi roky 1986 a 2001 v Jihomoravském kraji.

Literatura o využití dat ze senzoru MERIS

Detailní informace o datech ze senzoru MERIS, o jeho charakteristikách, kalibraci a možnostech využití těchto dat jsou k dispozici na internetových stránkách <http://envisat.esa.int/instruments/meris/>, odkud lze i některá data a produkty stahovat.

Mnoho prací využívajících data MERIS se zaměřuje na mapování chlorofylu a určování charakteristik oceánů, případně jiných vodních ploch na kontinentech. Využití těchto dat pro mapování pevniny není tak časté, ale i přesto existují kvalitní a obsáhlé práce o mapování vegetace z družicových dat senzoru MERIS.

Lze jmenovat například práce ZURITA-MILLA (2008), který zkoumá možnosti použití dat MERIS pro klasifikaci heterogenních složek krajiny pomocí zaostření těchto multitemporálních dat s nižší prostorovou rozlišovací schopností s daty Landsat (TM), kdy využívá jak výhody vysokého spektrálního a temporálního rozlišení MERIS, tak vysoké prostorové rozlišení Landsat. V této literatuře je také využita metoda „fully linear unmixing“, při které dochází k „odmixování“ jednotlivých klasifikovaných kategorií v rámci jednoho pixelu.

Dalšími autory, kteří mapují vegetaci ze snímků MERIS jsou kupříkladu DASH ... [ET AL.] (2005), kteří dosahují lepších výsledků klasifikace za použití vegetačních indexů MGVI a MTCI. Tyto dva indexy byly speciálně vytvořeny pro data MERIS a podle autorů umožňují lepší rozlišení jednotlivých vegetačních tříd než data naměřená v původních 15 spektrálních pásmech MERIS.

Literatura o předzpracování dat MERIS

Pro tuto práci bylo potřeba nastudovat i literaturu nejen o mapování vegetace, ale i o předzpracování a radiometrických korekcích prováděných na datech MERIS. Jelikož je MERIS senzor navržený původně pro měření charakteristik oceánů (<http://envisat.esa.int>), četné práce se týkají atmosférických korekcí a jejich validace prováděných pouze nad oceány. Stejně tak produkty MERIS Level 2 (L2) dodávané Evropskou kosmickou agenturou (ESA) jsou po atmosférických korekcích, ale tyto korekce jsou provedeny pouze nad oceány a kontinentální oblasti jsou bez korekcí. Z tohoto důvodu byly pro potřeby atmosférické korekce nad pevninou vytvořeny doplňující algoritmy BAER pro produkty L2 a SMAC pro produkty Level 1 (L1) – oba tyto algoritmy jsou implementovány v SW BEAM. Podrobněji o atmosférických korekcích nad pevninou pojednává např. SANTER ... [ET AL.] (1996), který popisuje atmosférické korekce

prováděné na datech MERIS ve třech úrovních. Prvními korekcemi jsou korekce atmosférických plynů (ozón, vodní pára), druhé eliminují Rayleighův rozptyl a třetí jsou korekce aerosolů.

Dalšími autory zabývajícími se atmosférickými korekcemi nad pevninou jsou GUANTER, GÓMEZ-CHOVA, MOREN (2008), kteří navrhli algoritmus na výpočet atmosférických charakteristik (množství aerosolů a vodní páry) a spektrální odrazivosti povrchu SCAPE-M. Oproti algoritmu BAER má tento algoritmus tu výhodu, že zahrnuje i pixely pod maskou vody a pobřežní oblasti, které jsou při použití BAER vynechány. Další nespornou výhodou SCAPE-M jsou i korekce topografických efektů. Při porovnání vypočtených hodnot pro množství aerosolů (AOD - Aerosol optical depth) s daty naměřenými na pozemních stanicích AERONET (Aerosol robotic network) vychází odchylka (Root Mean Square Error - RMSE) 0,05 a průměrný korelační koeficient okolo 0,8 – 0,9.

2.1 Družicová „high-temporal“ data pro mapování vegetace

Družicová data mají vysoké temporální rozlišení většinou na úkor prostorové rozlišovací schopnosti, ale spektrální rozlišení zůstává u většiny družicových systémů poměrně dobré. Předpokládá se, že čím více úzeji zaměřených spektrálních pásem data obsahují, tím detailnější informace lze z dat získat. K rozlišení vegetační složky krajiny a ostatních typů zemského povrchu se nejčastěji využívají vegetační indexy, které vycházejí ze znalosti spektrální křivky vegetace. Z této křivky jsou patrná klíčová spektrální pásma pro určení vegetace – je zde charakteristický nárůst odrazivosti mezi červenou (RED) a blízkou infračervenou (NIR) částí spektra. Družicová data pro mapování vegetace (Tab. 1) musí být tedy nezbytně pořízena primárně v těchto dvou intervalech spektra.

Tab. 1: Přehled družicových dat vysokého časového rozlišení

prostorové rozlišení	družice	senzor	provozovatel	prostorové rozlišení [m]	spektrální rozsah [μm]	perioda snímkování [dny]	záběr senzoru [km]	počet pásem	start
nízké a střední	NOAA	AVHRR	USA	1000	0,580 - 12,50	0,07	2900	6	1998
	TERRA	MODIS	NASA	250	0,620 - 14,38	1	2330	36	1999
	Spot 5	VEGETATION 2	SPOTIMAGE (Francie)	1000	0,450 - 1,750	1	2250	4	2002
	Envisat	MERIS	ESA	300	0,408 - 0,905	1	1150	15	2002
vysoké	FORMOSAT 2	MS	NSPO (Taiwan)	8	0,450 - 0,900	1	24	4	2004
	RapidEye	MS	RapidEye AG	6,5	0,440 - 0,850	1	77	5	2008
velmi vysoké	IKONOS	MS	SpacelImaging (USA)	4	0,450 - 0,880	3	11	4	1999
	QuickBird	MS	DigitalGlobe (USA)	2,4	0,450 - 0,900	3	16	4	2001
	GeoEye-1	MS	GeoEye (USA)	2	0,450 - 0,920	3	16,5	4	2008
	WorldView-2	MS	DigitalGlobe (USA)	0,46	0,450 - 1,040	1	16,4	8	2009
	OrbView-3	MS	GeoEye (USA)	4	0,450 - 0,900	3	8	4	2003

Zdroj: vlastní souhrn z <http://www.gisat.cz>, <http://www.arct.cam.ac.uk>, <http://www.digitalglobe.com>

V následující části textu jsou příklady využití dat z nejčastěji používaných senzorů a odkazy na jejich detailnější popis.

NOAA/AVHRR (<http://noaasis.noaa.gov/>)

- v současné době v provozu AVHRR/3
- kromě pásem RED, NIR, IR i 2 tepelná pásma
- mapa krajinného pokryvu USA 1 : 10 mil. (LOVELAND ... [ET AL.], 1991)
- sledování kontinentálních změn (Evropa) pomocí vegetačního indexu NDVI v letech 1985 – 1994 (GUTMAN, IGNATOV, 1995)

MODIS (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>)

- hlavním přístrojem pro sledování změn v globálním měřítku
- se svými 36 spektrálními kanály se blíží kvalitám hyperspektrálního skeneru
- monitorování fenologie rostlin (ZHANG ... [ET AL.], 2002)
- mapování rýžových polí v jižní Číně (XIAO ... [ET AL.], 2004)

VEGETATION (<http://www.spot-vegetation.com/>)

- dva identické senzory VEGETATION-1 na družici SPOT-4 a VEGETATION-2 na družici SPOT-5
- mapování plodin z 10denních kompozit NDVI v Belgii (VERBEIREN ... [ET AL.], 2007)
- databáze GLC2000 (MUCHER, BADTS, 2002)

IKONOS (<http://www.geoeye.com/>)

- první z generace družic s velmi vysokým prostorovým rozlišením
- označení Ikonos-2, ale číslo se nepoužívá, jelikož družice Ikonos-1 se na oběžnou dráhu nikdy nedostala
- mapování vegetace v urbanizovaných oblastech (MATHIEU, ARYAL, 2005)

QuickBird (<http://www.digitalglobe.com/>)

- možnost vychýlení senzoru až o 25°
- nabízí stereoskopické snímky jak v panchromatickém pásmu, tak i v multispektrálním módu
- identifikace zemědělských plodin a určení jejich rozlohy (YANG ... [ET AL.], 2006)

GeoEye-1 (<http://www.geoeye.com/>)

- postavena jako součást koncepce „Příští pohled“ (NextView) americké agentury NGA (National Geospatial Agency). V rámci této koncepce se Agentura podílí na nákladech na vývoj, konstrukci i vypuštění družic nové generace s cílem podporovat rozvoj komerčního dálkového průzkumu Země.
- využití v aplikacích GoogleEarth a Google Maps

OrbView-3 (<http://www.orbital.com/>)

- třetí družice společnosti OrbImage
- panchromatické pásmo - 1 m prostorové rozlišení
- r. 2006 - vlastníkem GeoEye (vznikla sloučením OrbImage a Space Imaging)
- odhady zemědělské produkce a zjišťování základních informací pro precizní zemědělství v jižní a západní Austrálii (METTERNICHT, HALLORAN, BALDACCHINO, 2007)

V posledních letech se mnohé výzkumy na téma vegetační mapování zaměřují na spektrální pásmo nazývané „red edge“. Jedná se o část spektra v intervalu 680 až 730 nm, kde odrazivost vegetace značně narůstá – tato změna se pohybuje od 5 do 50 %.

Pásmo red-edge obsahují tato družicová data:

MERIS (<http://envisat.esa.int/>)

- viz kapitola 4.1.1

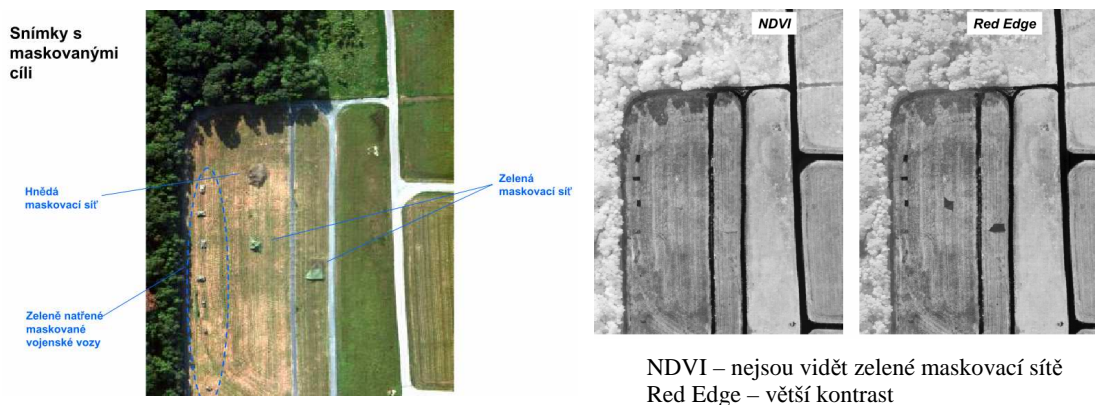
RapidEye (<http://www.rapideye.de/>)

- sestava pěti identických družic
- pokrytí 4 mil. km² denně
- multitemporální klasifikace plodin v Saxonie-Anhalt (SCHULTESS, 2006)

WorldView-2 (<http://www.digitalglobe.com/>)

- obsahuje nová pásma: Red Edge (705 - 745 nm), pobřežní (400 - 450 nm), žluté pásmo (585 - 625 nm) a druhé blízké infračervené pásmo (860 - 1040 nm, které bude doplňovat klasické infračervené pásmo 770 - 895 nm)

Obr. 1: Výhody pásma Red Edge



„Není bez zajímavosti, že pokud budou v budoucnu dostupné senzory s dostatečnou rozlišovací schopností, spektrální oblast „rudého okraje“ je považována za perspektivní i z hlediska pokusů o detekci případné vegetace na vzdálených planetách.“ (<http://www.gisat.cz>)

2.2 Projekty a produkty mapující vegetaci

Projektů zaměřujících se na mapování vegetace v globálním či regionálním měřítku existuje celá řada. V následující části textu je vybráno a stručně popsáno pouze pár nejvýznamnějších projektů. Výsledkem těchto projektů jsou mapy krajinného pokryvu a rozličných vegetačních indexů, které umožňují lepší sledování životního prostředí a tím pádem napomáhají ke studiu ekosystémů, biodiverzity, klimatických změn a k prevenci přírodních, ale i člověkem způsobených katastrof.

Global Land 1-KM AVHRR Project

Tento projekt představuje mezinárodní snahy zabývající se získáváním, archivováním, zpracováním a distribucí dat ze senzoru AVHRR. Na projektu se podílejí CEOS, NASA, NOAA, USGS, ESA a CSIRO. Od roku 1992 je archivováno přes 40 tisíc snímků. V roce 1992 byl pod vedením IGBP prezentován prototyp pro globální 10denní kompozity NDVI. Z původního záměru vytvořit kompozity NDVI od dubna 1992 do září 1993 nakonec vznikl archiv dat až do září 2006. Více informací o projektu je k dispozici na <http://edc2.usgs.gov/1KM/1kmhomepage.php>, odkud lze stáhnout zmiňované kompozity NDVI i kompozity globálního krajinného pokryvu s velikostí pixelu 1 km.

GLC2000

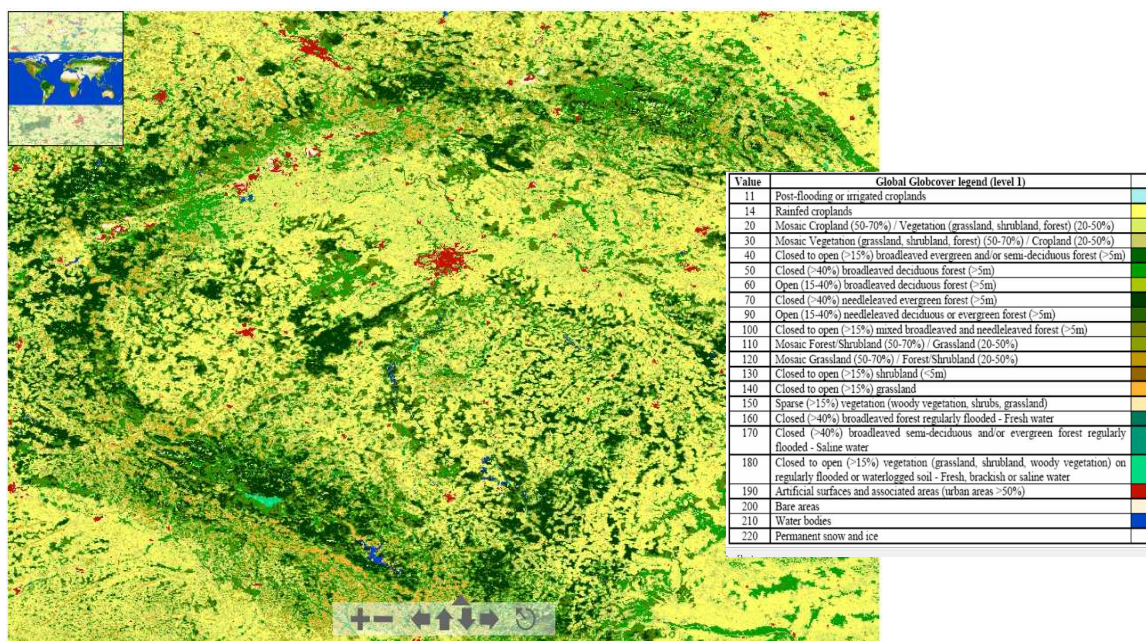
Jedná se projekt pod vedením JRC, na kterém spolupracovalo více než 30 výzkumných ústavů. Výsledkem projektu je celosvětová mapa krajinného pokryvu pro rok 2000 vytvořená klasifikací snímků ze senzoru VEGETATION. Mapy obsahují 22 detailních typů zemského povrchu podle systému LCCS, který je vyvinutý FAO a UNEP. Tento systém zajišťuje porovnatelnost s regionálními databázemi. Velikost pixelu vytvořených map globálního krajinného pokryvu je 1 km. Na stránkách projektu (<http://bioval.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/glc2000.php>) lze stáhnout globální i detailnější regionální databázi.

GlobCOVER

Projekt ESA, na kterém spolupracuje řada dalších organizací, jako např. FAO, UNEP, JRC, EEA, IGBP či GOFC-GOLD, využívá data z evropské družice ENVISAT MERIS Full Resolution a vytváří tak doposud nejdetailnější celosvětovou databázi krajinného pokryvu

s velikostí pixelu 300 m. Stejně tak jako GLC2000 obsahuje 22 krajinných typů podle systému LCCS (Obr. 2) a 63 kategorií pro produkt regionálního GlobCoveru. Tato databáze je výsledkem klasifikace kompozit z období prosinec 2004 – červen 2006 a je k dispozici na stránkách <http://ionia1.esrin.esa.int/>.

Obr. 2: GlobCover



Zdroj: <http://postel.mediasfrance.org>

GlobCORINE

Po úspěchu projektu GlobCover odstartovala ESA ve spolupráci s EEA a UCL projekt GlobCorine, který také využívá časové řady snímků MERIS s plným 300m prostorovým rozlišením. Tento projekt se na rozdíl od GlobCover zaměřuje pouze na oblast Evropy, pro kterou je pokrytí daty MERIS lepší než pro jiné oblasti světa (BONTEMPS ... [ET AL.], 2009). Cílem projektu je vytvořit automatickou službu ke generování map krajinného pokryvu, využití a změn. Tyto mapy by mohly sloužit jako podklad pro určení tzv. „hot spots“, které budou poté detailně zmapovány v rámci projektu CORINE s využitím dat vysokého prostorového rozlišení. GlobCorine by byl generován každoročně, kdežto CORINE je aktualizována až po pěti letech (<http://dup.esrin.esa.it/>).

MARS

Jedná se o projekt JRC, který funguje od roku 1988 a zaměřuje se na sběr údajů potřebných pro provádění a monitorování společné zemědělské politiky Evropské unie (EU). Jedná se hlavně o aktivity zajišťující kvantitativní odhady výměry ploch zemědělských plodin v jednotlivých regionech či státech; monitorování aktuálního stavu vegetace a zemědělských

plodin; modely předpovědi výnosu vybraných zemědělských plodin a na odhady celkové produkce vybraných zemědělských plodin. Využívá jak data s vysokým a velmi vysokým prostorovým rozlišením (Landsat, SPOT, Ikonos), tak i data s vysokým časovým rozlišením (NOAA) (<http://mars.jrc.it/>).

FLOREO

Celým názvem "Demonstration of ESA Environments in support to Flood Risk Earth Observation monitoring". Projekt je zaměřen na vybudování systému včasné předpovědi rizika vzniku povodňového jevu na regionální a národní úrovni ČR a vizuální prezentaci výsledků pomocí webového portálu a mapového serveru. Tento projekt je řešen v rámci programu PECS pro podporu zapojení českých firem a institucí do programů ESA a spolupracujících na něm ČHMÚ, CSO a společností Sprinx Systems a Gisat za podpory Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze. Projekt využívá data MODIS pro zajištění každodenních měření a data ASAR, která nejsou ovlivněna oblačností (<http://www.floreo.cz>).

Na území ČR se řeší i další projekty zaměřující se na mapování krajiny z dat DPZ. Jsou to např. CORINE Land Cover a GSE Land. Tyto projekty ovšem nevyužívají data vysokého časového rozlišení, ale využívají primárně data ze senzorů Landsat, SPOT či IRS. Z tohoto důvodu nebudou v této práci detailněji popisovány.

KAPITOLA 3

Spektrální vlastnosti vegetace

V dálkovém průzkumu Země je nositelem informace elektromagnetické záření (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 1997) vyzařované nebo odražené zkoumaným objektem. Intenzita odraženého záření závisí na řadě faktorů a lze ji charakterizovat tzv. spektrální odrazivostí (DOBROVOLNÝ, 1998). Rozdílné spektrální chování pozorovaných objektů hraje klíčovou roli pro obor DPZ, jelikož každá látka na zemském povrchu se vyznačuje svojí vlastní spektrální charakteristikou a lze ji díky tomu rozpoznat. Závislost mezi odrazivostí objektu a vlnovou délkou a průběh této závislosti bude pro objekt typický. Tato závislost je projevem spektrálního chování objektů a označuje se jako spektrální křivka odrazivosti (DOBROVOLNÝ, 1998). Tvar křivky má velký vliv na výběr vlnové délky, ve které je vhodné data o objektu získávat - dva objekty mohou v jedné vlnové délce odrazit podobné množství záření, ale v jiné mohou mít naprosto odlišné vlastnosti. Studium množství odraženého či emitovaného záření v určitých vlnových délkách tedy umožňuje poznat spektrální chování objektů, z něhož lze určit spektrální příznaky a rozpoznat tak jednotlivé objekty (druhovité parametry) a charakterizovat jejich specifické vlastnosti (stavové parametry). Každé konkrétní kombinaci druhových a stavových parametrů odpovídá jedna určitá spektrální charakteristika.

Spektrální chování je ovlivňováno třemi vlastnostmi:

- druhem látky - jejím chemickým složením (jiné např. pro vodu a jiné pro vegetaci)
- fyzikálním stavem daného objektu – dynamicky se mění (dešťová voda apod.)
- stavem okolí (např. atmosféry)

Spektrální charakteristiky jsou i časově proměnné. Tak, jak se mění v čase hodnoty stavových parametrů, mění se i spektrální vlastnosti. V případě vegetace, lze průběh časové změny spektrálního chování považovat za charakteristický a využitelný jako rozpoznávací příznak (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 1997).

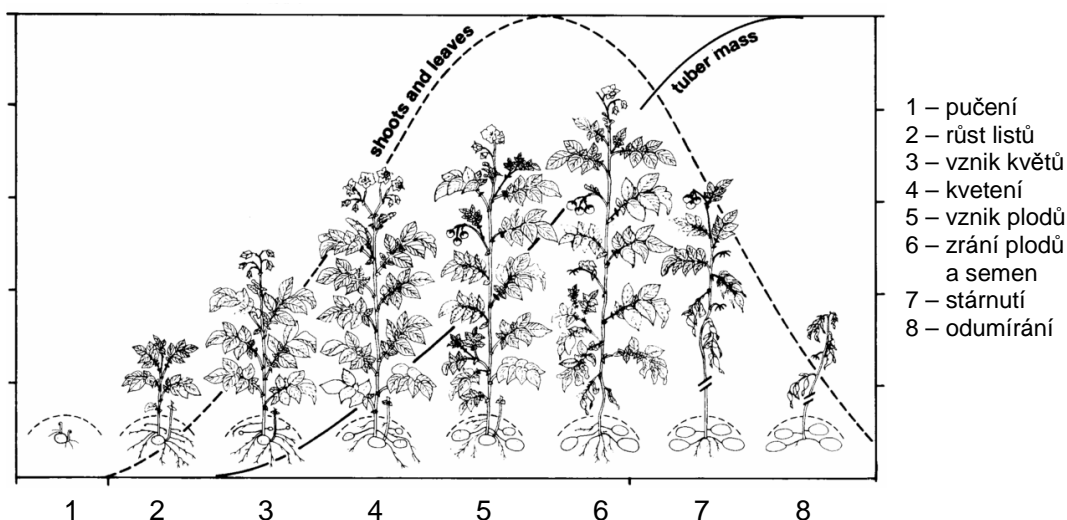
Spektrální vlastnosti vegetačního krytu jsou ovlivňovány např.:

- vnějším uspořádáním vegetačního krytu

- vnitřní strukturou jednotlivých částí rostlin
- obsahem chlorofylu
- vodním obsahem
- zdravotním stavem
- vlastnostmi půdního substrátu

Spektrální projev každého rostlinného druhu vykazuje však značnou variabilitu v závislosti na obrovském počtu stavových parametrů. Největší vliv na charakteristiku daného druhu mají nicméně obvykle listy, které mají největší plochu z rostliny. Díky měnící se velikosti listů s vývojovými fázemi rostlin (Obr. 3) lze sledovat jednotlivé druhy rostlin v průběhu růstu a určit tak nejvhodnější období pro jejich klasifikaci.

Obr. 3: Růstové fáze vegetace na příkladu brambor



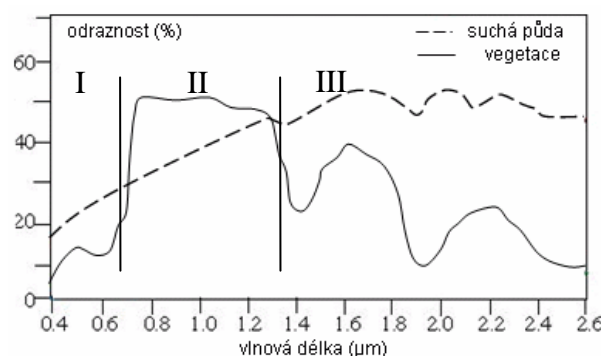
Zdroj: BBCH Monograph

Zdravý list je značně heterogenním útvarům, na jehož spektrálních vlastnostech se podílí kromě pigmentů i buněčné tekutiny, celulóza, tuky, proteiny a další stavební látky. Přestože dostatečně přesný model spektrálních vlastností listu zatím nebyl vytvořen, má jejich spektrální křivka odrazivosti určité univerzální rysy (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 1997). Jelikož se kvantitativně spektrální průběhy jednotlivých rostlin od sebe liší, je na Obr. 4 experimentálně určený spektrální projev „průměrného“ listu.

Na Obr. 4 je znázorněna spektrální křivka odrazivosti listu. Tuto křivku odrazivosti lze rozdělit na tři hlavní oblasti. Jedná se o oblast pigmentační absorpce (0,4 – 0,7 μm), buněčné struktury (0,7 – 1,3 μm) a oblast vodní absorpce (1,3 – 3 μm). V **oblasti pigmentační absorpce** mají převládající vliv na odrazivost pigmentační látky chlorofyl, karoten, xanthofyl a anthokyan. Nejrozšířenějším pigmentem je u většiny rostlin chlorofyl, který tvoří až 65 % listového pigmentu a pohlcuje většinu zářivé energie v modré (0,45 μm) a červené (0,65 μm)

části spektra. Na křivce odrazivosti tak vznikají dva charakteristické absorpční pásy chlorofylu a mezi nimi pás zvýšené odrazivosti v okolí vlnové délky 0,54 μm (zelená oblast). Vyšší obsah chlorofylu se projevuje hlubším absorpčním pásmem na vlnové délce okolo 0,68 μm , jeho mírným posunem do větších vlnových délek a snižováním maxima odrazivosti v zelené barvě. Právě z důvodu maximální odrazivosti v zelené části spektra vnímá lidské oko vegetaci jako zelenou. V **oblasti buněčné struktury** dochází k charakteristickému nárůstu odrazivosti vlivem morfologické struktury listu a vícečetného odrazu na buňkách. V této oblasti je zároveň velmi nízká pohltivost buněk. **Oblast vodní absorpce** má typické absorpční pásy na vlnových délkách 1,4 μm , 1,9 μm a 2,7 μm . Z nich je největší pás na 2,7 μm označovaný jako hlavní vibrační pás vody.

Obr. 4: Křivka spektrální odrazivosti listu charakteristická pro vegetaci



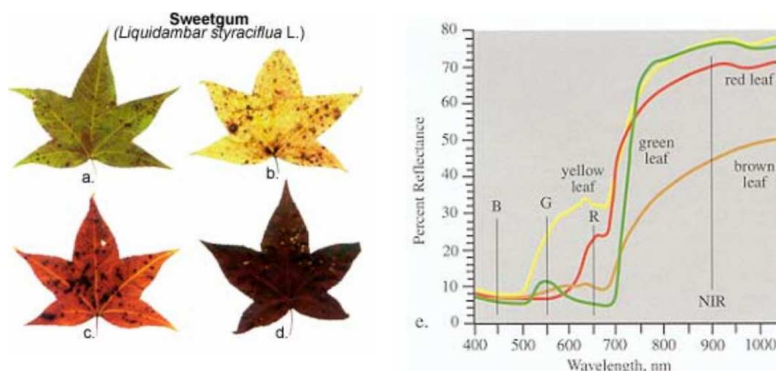
Oblast:

- I – pigmentační absorpce
- II – buněčné struktury
- III – vodní absorpce

Zdroj: (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 1997)

Výše prezentovaná křivka je vytvořena pro zdravou a vitální vegetaci, avšak tato křivka se v závislosti na množství stavových parametrů rapidně mění. Se stářím listu se mění například i jeho barva (obsah chlorofylu) a průběh spektrální křivky (viz Obr. 5) zaznamenává postupně nárůst odrazivosti v oblasti pigmentační absorpce a pokles odrazivosti v oblasti buněčné struktury. Se stářím listu ubývá chlorofylu a v oblasti pigmentační absorpce se zvyšuje vliv karotenu a xantofylu (žluté pigmenty), což vede k žlutému zbarvení listu. U mladého zeleného listu není tento vliv patrný, jelikož chlorofyl i žluté pigmenty absorbují záření na stejné vlnové délce (0,45 μm). Pokud je převládajícím pigmentem anthokyan, jsou listy zbarveny do červena.

Obr. 5: Vliv stáří listu na odrazivost

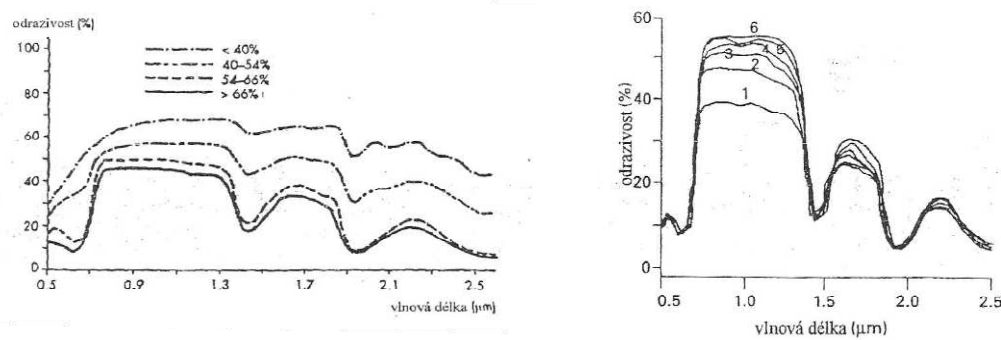


Zdroj:

<http://rangeview.arizona.edu>

Dalším významným parametrem ovlivňujícím odrazivost vegetace je i obsah vody v rostlině. Vliv vody je zvlášť patrný na vlnových délkách absorpčních pásů vody, ale je zřetelný i na ostatních vlnových délkách (viz Obr. 6). Z tohoto obrázku je patrné, že s poklesem obsahu vody v listech se jejich spektrální odrazivost zvyšuje.

Obr. 6: Vliv obsahu vody a vícečetného odrazu v listu na odrazivost



Zdroj: (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 1997)

Výše zmíněné parametry jsou na sobě značně závislé. Při vlhkosti listu menší než 55 % již rostlina ztrácí značnou část chlorofylu, což vede k zvýšení odrazivost na vlnových délkách 0,66 μm a tudíž k změně zbarvení listu. Dále také při poklesu obsahu vody dochází k výrazným změnám ve vnitřní struktuře listu a zmenšení vícečetného odrazu na buňkách.

3.1 Vegetační indexy

Vegetační indexy jsou robustními empirickými mírami, které nejen mapují výskyt vegetace v jednotlivých pixelech, ale také její množství a stav. Během posledních třiceti let bylo definováno více než 40 indexů (BANNARI ... [ET AL.], 1995). Tyto indexy vznikají spektrální transformací nejméně dvou spektrálních pásem, která jsou vybrána tak, aby vhodným způsobem zvýraznila vysokou odrazivost v blízké infračervené části spektra a nízkou odrazivost v červené viditelné části.

Jelikož v této práci využívám data ze senzoru MERIS, bude v následující části textu podrobně popsáno pouze pár vybraných indexů, které jsou pro tato data definovány a pro jejichž výpočet lze v SW BEAM využít implementované procesory NDVI Processor, FAPAR Processor a Vegetation Processor. Vegetation Processor využívá pro určování indexů neuronových sítí a zpracovává 11 spektrálních pásem MERIS (bez 1, 2, 11 a 15 pásma) plus doplňková data z produktu MERIS 1P (L1b Flags, Solar and satellite zenith angle, Solar and satellite azimuth angles, Geographical coordinates). Blíže o algoritmu pro výpočet indexů pojednává BARET, F. ... [ET AL.] (2006). Výstupem jsou LAI, fAPAR, fCover a LAI.Cab.

Bezesporu nejčastěji využívaným vegetačním indexem zjišťovaným pro mnoho různých senzorů a aplikací je **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)**. Tento ukazatel prezentuje sílu a vitalitu vegetace na zemském povrchu. Ve výpočtu využívá pro vegetaci typickou změnu spektrálních charakteristik na přechodu mezi oblastí pigmentační absorpce a oblastí vysoké odrazivosti.

Obecný vzorec pro výpočet na datech MERIS:

$$NDVI = \frac{[(IR_factor * near_IR) - (RED_factor * RED)]}{[(IR_factor * near_IR) + (RED_factor * RED)]} \quad (3.1)$$

Vzorec po dosažení jednotlivých proměnných:

$$NDVI = \frac{[(2 * radiance_10) - (1 * radiance_6)]}{[(2 * radiance_10) + (1 * radiance_6)]} \quad (3.2)$$

Tento index nabývá hodnot -1 až +1, přičemž pro zelenou vegetaci není nikdy menší než 0. Hodnota 0 znamená, že daný pixel neobsahuje žádnou vegetaci, naopak hodnoty blíží se 1 představují velmi hustou vegetaci.

Avšak, podle DASH ... [ET AL.] (2005) má použití NDVI pro klasifikaci vegetace některá podstatná omezení, jako jsou zanedbání struktury povrchu, odrazivosti půdy a částečně i obsahu chlorofylu. Přitom obsah chlorofylu patří mezi základní faktory ovlivňující spektrální vlastnosti vegetace. Množství chlorofylu je různé pro jednotlivé vegetační typy i pro jednotlivá vegetační stádia, což může sloužit jako vhodný rozpoznávací příznak při tvorbě přesné mapy vegetačního pokryvu. Existuje mnoho metod pro odhad obsahu listového chlorofylu. DASH ... [ET AL.] (2005) ve své práci sledují závislost mezi jednotlivými vegetačními indexy a množstvím chlorofylu a prezentují rovnici pro jeho výpočet, kde obsah chlorofylu je přibližně rovný podílu vegetačních indexů MTCI a MGVI odvozených z dat MERIS.

MGVI (MERIS Global Vegetation Index)

Tento index využívá informace z modré, červené a blízké infračervené části spektra, kde informace z modré části spektra minimalizují vliv atmosférických efektů. Hodnoty MGVI korelují s hodnotami fAPAR a pohybují se v rozmezí 0 až 1.

MTCI (MERIS Terrestrial Chlorophyll Index)

Jedná se o index prezentující vlastnosti pixelu na vlnových délkách 0,6 – 0,7 μm (poměr mezi rozdíly pásem 10 - 9 a 9 - 8; viz vzorec 3.3), ve kterých je pro spektrální křivku vegetace charakteristický prudký nárůst odrazivosti na přechodu mezi oblastí pigmentační absorpce a oblastí vysoké odrazivosti. Pixely s vegetací mají hodnoty MTCI > 1.

$$MTCI = \frac{R_{Band10} - R_{Band9}}{R_{Band9} - R_{Band8}} = \frac{R_{753.75} - R_{708.75}}{R_{708.75} - R_{681.25}}, \text{ kde } R \text{ je odrazivost} \quad (3.3)$$

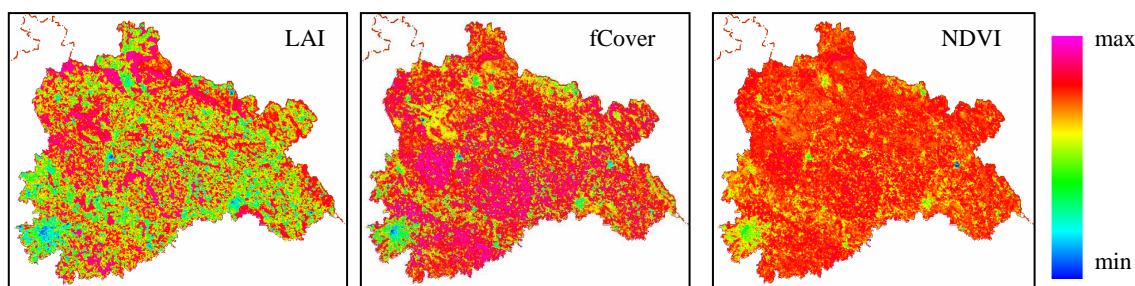
fCover (Fraction of green vegetation coverage)

Skutečnost, že fCover nezávisí na listových a půdních optických vlastnostech a na úhlu dopadajícího záření, jako je tomu v případě indexu fAPAR, činí tento index velmi vhodným pro nahrazení klasických vegetačních indexů při monitoringu zelené vegetace. Nabývá hodnot od 0 (holá půda) do 1 (plně pokryté vegetací).

fAPAR (Fraction of absorbed photosynthetically active radiation)

Jedná se o podíl fotosynteticky aktivního záření pohlceného vegetací. Tento index udává množství radiace absorbované povrchem na vlnových délkách 0,4 – 0,7 μm a závisí na struktuře povrchu a úhlu dopadu slunečního záření. Nabývá hodnot od 0 do 1, kde 1 prezentuje vysokou absorpci vodních ploch. Je vhodný ke sledování sezónních a meziročních změn vegetace.

Obr. 7: Vybrané vegetační indexy v SV Čechách z 22. června 2008



Zdroj: Vlastní výstup z prostředí PCI

Vegetační indexy jsou bezrozměrné míry, které jsou počítány přímo z hodnot odrazivosti (reflektance) či zářivosti (radiance) v určitých intervalech vlnových délek. Z těchto indexů lze pak pomocí dalších empirických vztahů určit nové ukazatele (viz dále). Tyto míry jsou, na rozdíl od vegetačních indexů, udávány v konkrétních jednotkách.

LAI (Leaf Area Index)

LAI je definován jako polovina celkové plochy listů na plošnou jednotku povrchu půdy v listnatých porostech a jako plocha jehlic promítnutá na jednotku půdy pro jehličnaté porosty. Je tedy kvantitativní mírou hustoty listů, která odráží stav vegetace. Hodnoty listového indexu se pohybují mezi 0 a 6 m^2/m^2 . Nejvyšší hodnoty vykazují jehličnaté lesy, střední hodnoty odpovídají listnatým stromům a nejnižší jednorocným zemědělským plodinám. LAI je často odvozován např. z NDVI či ze Simple Ratio (CHEN, CIHLAR, 2004, CIT. IN HONKOVÁ, 2008).

LAI.Cab (LAI of canopy)

Obsah chlorofylu může být počítán jak na listové, tak na povrchové úrovni. Hodnoty LAI.Cab dostáváme vynásobením listového indexu (LAI) obsahem listového chlorofylu (C_{ab}) a pohybují se v rozmezí od 0 do 300 g/m^2 .

KAPITOLA 4

Data a metodika

4.1 Data

Pro pozorování vývoje a charakteristik dynamicky se měnící vegetační složky krajiny je vhodné použít data ze senzorů s vysokým časovým rozlišením, které poskytují data s minimálně 3denním opakováním. V průběhu vegetačního období máme tak dostatek bezoblačných dat k provedení potřebných analýz. Hlavními vstupními daty byla časová řada snímků z období duben až září 2009 senzoru MERIS. Ostatní data prezentována v této části textu sloužila ke kontrole přesnosti klasifikace a pro určení referenční polohy jednotlivých sledovaných vegetačních typů povrchu.

4.1.1 MERIS

MERIS je speciální spektrometr, který byl vynesena na oběžnou dráhu 1. 3. 2002 na palubě družice Envisat, jejíž provoz zajišťuje ESA. Tento spektrometr měří sluneční záření odražené od Země ve viditelné a blízké infračervené části spektra v rozsahu vlnových délek 390 a 1040 nm v 15-ti spektrálních pásmech (viz Tab. 2, Obr. 8). Jedná se o skener typu „push-broom“ neboli stírací skener, což zajišťuje návaznost pixelů v řádkách i sloupcích. Instrument je složen z 5 kamer z čehož každá kamera snímá úhel 14°. Celkový zorný úhel záběru je 68,5°, což odpovídá šířce záběru 1150 km na povrchu Země. Měření nad celou zeměkouli uskuteční během tří dnů.

Data ze senzoru jsou poskytována ve dvou prostorových rozlišeních. Jedná se o data v plném prostorovém rozlišení FR (Full Resolution) s prostorovým rozlišením 300 m a data se sníženým prostorovým rozlišením RR (Reduced Resolution) s velikostí pixelu 1200 m (ESA, 2006, MERIS PRODUCT HANDBOOK).

Obecně existují data MERIS ve čtyřech úrovních zpracování L0, L1, L2 a L3.

L0 – surová data, která nejsou k dispozici koncovým uživatelům

L1 – snímky jsou převzorkované do gridové mřížky orientované podle dráhy družice s kalibrovanými hodnotami záření na horní hranici atmosféry

- L2 – snímky odvozené z předchozí úrovně, hodnoty odrazivosti po atmosférické korekci, geofyzikální a biofyzikální produkty
- L3 – kombinace dvou nebo více MERIS produktů (případně externích dat) zobrazující geofyzikální měření během časové periody

(ESA, 2006, MERIS Product Handbook)

Díky původnímu zaměření na oblasti vodních ploch se jedná o radiometricky nejpřesnější zobrazující spektrometr ve vesmíru (CURRAN, STEELE, 2004). Z údajů o barevnosti vod se dají odvodit informace o koncentracích chlorofylu, suspendovaných sedimentů a aerosolů. Mapování distribuce fytoplanktonu je důležité pro studium globálního oteplování, neboť fytoplankton pohlcuje asi polovinu skleníkového plynu oxidu uhličitého. Kromě příspěvku k poznání uhlíkového cyklu data MERIS také napomohou sledování teplotního režimu svrchních vod oceánu a při plánování tras rybářských lodí. Díky úzce zaměřeným 15 spektrálním kanálům a vysokému temporálnímu rozlišení lze vhodně pozorovat dynamiku vývoje vegetace a vegetační indexy. Z atmosférických aplikací se data MERIS zaměřují hlavně na detekci mraků a zjišťování jejich typu a na stanovení atmosférických aerosolů. Příklady využití jednotlivých pásem jsou prezentovány v Tab. 2.

Tab. 2: Spektrální pásma MERIS a jejich využití

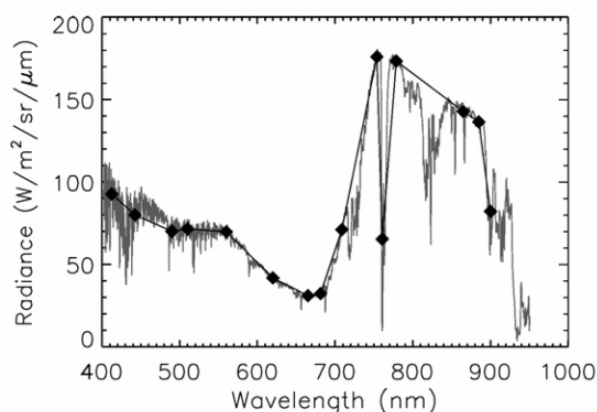
	Pásmo	Rozsah od (nm)	Střed pásma (nm)	Rozsah do (nm)	Kódování	Použití
VIDITELNÉ	1	408	412,5	418	BLUE	Žluté substance a detritální pigmenty
	2	438	442,5	448	BLUE	Maximum absorpce chlorofylu
	3	485	490	495	BLUE	Chlorofyl a jiné pigmenty
	4	505	510	515	BLUE	Suspendované sedimenty, červené řasy
	5	555	560	565	GREEN	Minimum absorpce chlorofylu
	6	615	620	625	RED	Suspendované sedimenty
	7	660	665	670	RED	Absorpce chlorofylu a fluorescence
	8	678	681,25	685	RED	Maximum fluorescence chlorofylu
	9	704	708,75	714	RED	Fluorescence, atmosférické korekce
INFRAČERVENÉ	10	750	753,75	758	NIR	Vegetace, oblačnost
	11	759	760,625	763	NIR	Absorpční pás kyslíku
	12	771	778,75	786	NIR	Atmosférické korekce
	13	855	865	875	NIR	Atmosférické korekce
	14	880	885	890	NIR	Vegetace, vodní vláha
	15	895	900	905	NIR	Vodní vláha, půda

Zdroj: <http://envisat.esa.int/>

Původním posláním senzoru MERIS bylo měřit “barvu” oceánu a pobřežních oblastí v širokém vlnovém pásmu, a tak poskytovat přesné informace o mořské biologii, ale postupem času se našel velký potenciál i při využití těchto multispektrálních a multitemporálních dat pro pozemní studie a atmosférické aplikace.

Na Obr. 8 je znázorněna odvozená spektrální křivka vegetace s vyznačenými středy jednotlivých pásem senzoru MERIS. Lze zde vidět jejich vhodné umístění v oblastech s charakteristickým spektrálním chováním vegetace. Výhodou je i existence dalšího červeného pásma v oblasti nárůstu odrazivosti na vlnových délkách mezi 0,7 a 0,75 μm .

Obr. 8: Odvozené radiční spektrum vegetace na horní hranici atmosféry



*Pozn.:
body znázorňují pozice
jednotlivých pásem MERIS*

Zdroj: Guanter et al. (2008)

Pro potřeby této práce bylo zpracovááno 15 snímků v plném rozlišení a úrovni zpracování L1 (obecné značení MER_FRS_1P) s minimální oblačností z období duben až září 2009 (viz Tab. 3).

Tab. 3: Zpracované snímky ze senzoru MERIS

Datum pořízení snímku	Čas pořízení (UTC)	Číslo orbity	ID souboru
2. duben 2009	9:36:20	37064	9064
11. duben 2009	9:50:57	37193	0133
11. duben 2009	9:53:34	37193	0134
21. duben 2009	9:39:13	37336	3537
28. duben 2009	9:19:07	37436	3948
3. květen 2009	9:59:38	37508	9381
26. květen 2009	9:39:16	37837	2406
14. červen 2009	9:42:10	38109	8746
17. červenec 2009	9:04:47	38581	1422
22. červenec 2009	9:47:54	38653	8133
1. srpen 2009	9:33:32	38796	4166
16. srpen 2009	9:59:41	39011	3256
20. srpen 2009	9:36:24	39068	0321
1. září 2009	9:56:46	39240	6604
8. září 2009	9:39:15	39340	5727
27. září 2009	9:42:04	39612	2256

Zdroj: Vlastní výstup

4.1.2 GlobCover

O databázi GlobCover bylo psáno již v kapitole 2.2.

V této práci byla databáze použita pro tvorbu masek lesních ploch, které nevykazují tak

dynamický vývoj a změny jako plochy zemědělské a klasifikace z roku 2006 je tedy dostačující. Dále jsem pomocí této databáze provedla odmaskování zástavby a vodních ploch, se kterými v této práci nepracuji. Přesnost databáze GlobCover byla také porovnána s detailnější databází CLC06.

4.1.3 CLC06 (Corine Land Cover 2006)

Program CORINE byl založen EU v roce 1985 a jeho záměrem bylo vytvoření databáze krajinného pokryvu, biotopů, půdních map a kyselých dešťů pro Evropu. Od roku 2006 je tento program součástí GMES (Globální monitoring životního prostředí a bezpečnosti).

Od založení CORINE byly vytvořeny databáze pro rok 1990, 2000 a 2006 a změnové databáze, které vyjadřují přírůstky a úbytky ploch jednotlivých tříd mezi roky 1990 a 2000 a mezi lety 2000 a 2006. Data CLC06 jsou dostupná ve 100m prostorovém rozlišení a 3 úrovních zpracování (<http://www.eea.europa.eu/>).

V této práci byla databáze využita pro hodnocení přesnosti klasifikace lesních ploch.

4.1.4 LPIS (Land Parcel Identification System)

LPIS je geografický informační systém pro evidenci zemědělské půdy. Jeho cílem je poskytovat kvalitní data o užívání zemědělské půdy a jednoduchá administrace a kontrola žádostí o zemědělské dotace (<http://www.lpis.cz/>).

Historie českého systému evidence půdy sahá do roku 1999, kdy se Česká republika zavázala Evropské komisi k vytvoření jednotného registru zemědělské půdy založeného na uživatelských vztazích, který do té doby v Česku neexistoval. První verzi systému vytvořila společnost Ekotoxa Opava v letech 2000 - 2002. Jednalo se o offline registr, který ale brzy přestal vyhovovat požadavkům zákona o zemědělství, který byl v roce 2003 novelizován a změnila se tak pravidla pro aktualizaci LPIS. V roce 2004 přidělilo tedy Ministerstvo zemědělství (MZe) řešení českého LPIS firmě Sitewell. Český LPIS je nyní databáze založená v prostředí Oracle Spatial a umožňuje online aktualizace v reálném čase prostřednictvím virtuální privátní sítě, čímž se značně snížily náklady na aktualizaci. LPIS také umožňuje farmářům jednoduše získat informace o jimi využívané půdě a díky tomu spolehlivě vyplnit žádosti o dotace (<http://www.sitewell.cz/czlpis/>).

Aktualizace LPIS probíhá na podkladě nových ortofot či pomocí kontrolních zjištění Státního zemědělského a intervenčního fondu (viz níže kapitola 4.1.5), který má možnost v aplikaci Sitewell LPIS vytvořit rozpracovaný návrh změny hranic farmářského bloku a zeditovat k němu potřebné informace o provedené kontrole.

Pro potřeby této diplomové práce byla od MZe získána databáze (*.dbf) a vektorová vrstva (*.shp) „LPIS pro veřejnost“, která obsahuje množství údajů o jednotlivých půdních blocích. Půdní blok představuje základní jednotku evidence půdy o minimální výměře 0,1 ha, která se může dále dělit na půdní díly.

Podle Zákona č. 252/1997 Sb., o zemědělství § 3a

- půdní blok představuje:

a) souvislou plochu zemědělsky obhospodařované půdy zřetelně v terénu oddělenou zejména lesním porostem, zpevněnou cestou, vodním útvarem povrchových vod nebo zemědělsky neobdělávanou půdou, popřípadě obsahuje krajinný prvek podle § 3aa odst. 4, pokud se nachází uvnitř půdního bloku,

b) souvislou vodní plochu využívanou pro účely chovu ryb, vodních živočichů a pěstování rostlin ve vodním útvaru povrchových vod, pro účely provozování rybníkářství podle zvláštního právního předpisu, nebo

c) souvislou plochu zalesněné půdy, která byla v evidenci půdy vedena jako zemědělsky obhospodařovaná půda se zemědělskou kulturou podle § 3i písm. a) až g) nebo k).

- u půdního bloku, popřípadě dílu půdního bloku se eviduje

a) identifikační číslo půdního bloku, popřípadě dílu půdního bloku,

b) výměra,

c) uživatel,

d) druh zemědělské kultury podle kritérií uvedených v § 3i,

e) zařazení do ochranného pásma vodního zdroje

f) zařazení do zvláště chráněného území

g) existence závlahového systému,

h) existence odvodňovacího systému,

i) zařazení do katastrálního území,

j) obhospodařování v rámci ekologického zemědělství, nebo v etapě přechodného období v rámci ekologického zemědělství podle zvláštního právního předpisu,

k) zařazení do horské oblasti, oblasti s jinými znevýhodněními a oblasti Natura 2000,

l) obhospodařování půdního bloku, popřípadě dílu půdního bloku s kulturou ovocný sad v režimu intenzivního ovocnářství, jehož produkce slouží k podnikání a u jaderovin je většina plodů realizována jako stolní ovoce (dále jen "intenzivní ovocnářství") podle zvláštního právního předpisu,

m) další údaje stanovené nařízením vlády, popřípadě přímo použitelným předpisem Evropských společenství,

n) příslušnost krajinného prvku, který se nachází uvnitř půdního bloku, popřípadě dílu půdního bloku, nebo který s ním nejméně na části hranice sousedí.

(Zdroj: převzato z <http://eagri.cz/>)

Databáze LPIS pro veřejnost je jen výňatkem z obsáhlé databáze LPIS a půdní bloky obsahují pouze údaje zmíněné pod odstavci a), b), d), j), k), l) a m). Pro tuto práci byly konkrétně využity údaje o kultuře a výměře půdního bloku.

4.1.5 SZIF (Státní zemědělský a intervenční fond)

SZIF je akreditovaná platební agentura pro poskytování zemědělských dotací z finanční podpory EU a národních zdrojů, která pro tyto potřeby provádí fyzické kontroly na místě (<http://www.szif.cz/>). Dotace z EU jsou v rámci společné zemědělské politiky poskytovány z Evropského zemědělského záručního fondu (EAGF), Evropského zemědělského fondu pro rozvoj venkova (EAFRD) a z Evropského rybářského fondu (EFF).

Pro tuto práci byly ze SZIFu získány data z terénních kontrol za rok 2009, kdy byly do interní databáze firmy zaneseny údaje o konkrétních zjištěných plodinách na půdních blocích. Získaný report těchto dat obsahuje údaje o cca 3000 půdních blocích a je ve formátu *.xls, tudíž je třeba pro další práci v GIS propojit tato data podle primárních klíčů, kterými byly zvoleny: kód dílčího půdního bloku, kód mapového čtverce a výměra dílčího půdního bloku. Data byla podle těchto atributů propojena v SW Access 2007.

4.2 Software

Tato práce využívá družicová data středního prostorového rozlišení MERIS, tudíž jako software pro zpracování se nabízí primárně SW BEAM společnosti Brockmann Consult, který byl speciálně pro zpracování těchto (a AATSR) dat vytvořen. Pro výběr dat byla použita aplikace EOLi-SA. Pro přípravu referenčních vektorových dat a pro tvorbu výsledných layoutů map byl využit převážně SW ArcGIS 9.2. Přesnost klasifikace byla spočtena v SW PCI Geomatica. Pro některé databázové postupy byl užit SW Access 2007.

4.2.1 EOLi-SA

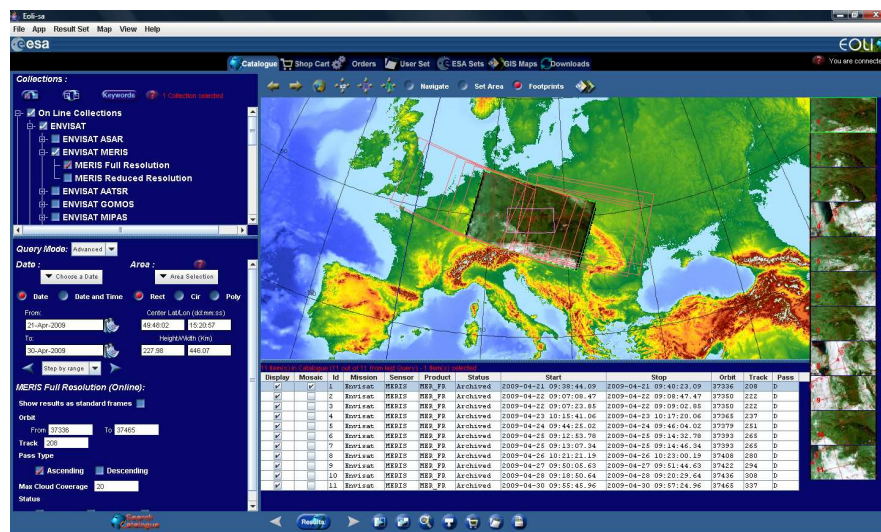
EOLi-SA (Earth Observation Link - Stand Alone) je aplikace vytvořená ESA, která nabízí nahlížení do množství katalogů družicových dat a po registraci i jejich objednávání. Lze zde prohlížet metadata i náhledy snímků získaných pozorování Země z družic ENVISAT, ERS, Landsat, IKONOS, DMC, ALOS, SPOT, Kompsat, Proba, JERS, IRS, Nimbus, NOAA, SCISAT, SeaStar a Terra/Aqua. Na Obr. 9 je znázorněno pro uživatele intuitivní prostředí aplikace EOLi-SA.

V současné době je k dispozici verze 7.0.3 softwaru, která je volně ke stažení na webových stránkách <http://earth.esa.int/EOLi/EOLi.html>. EOLi-SA je java aplikace, která je podporována běžně užívanými platformami (Windows, MacOS X, Linux) a ke správnému chodu vyžaduje instalaci Java 1.5 či novější verze (<http://earth.esa.int/>).

Výhodou aplikace je možnost vyhledávání interferometrických dvojic pro ERS a vyhledávání se zadáním kritéria oblačnosti.

V této práci byla aplikace využita k vyhledání bezoblačných dat ze senzoru MERIS (případně dat s nízkým procentem oblačnosti) za vegetační období duben – září 2009 pro území České republiky.

Obr. 9: Uživatelské prostředí aplikace EOli-SA



Zdroj: Vlastní výstup

4.2.2 BEAM

BEAM (Basic ENVISAT Toolbox for (A)ATSR and MERIS) je software, který usnadňuje využití, prohlížení a zpracování družicových rastrových dat. Tento software byl vytvořen společností Brockmann Consult a jeho tvorba byla financována ESA. Původně byl software zaměřen pouze na práci s daty MERIS a AATSR z družice Envisat, ale v současné době je jeho záběr podstatně širší. V nejnovější verzi 4.7, která byla uvolněna pro uživatele v lednu 2010 lze pracovat i s daty z jiných senzorů, jako např. MODIS, AVHRR, AVNIR, PRISM a CHRIS/Proba. Kromě formátů Envisat *.N1 a formátů ostatních dat zmíněných senzorů jsou v SW podporovány i formáty GeoTiff, NetCDF a *.shp. Software je k dispozici jako open source zdarma na stránkách <http://www.brockmann-consult.de/beam/> a do jeho vývoje se mohou zapojit všichni uživatelé.

Díky tomu, že je vytvořen v programovacím jazyku Java, je dostupný pro Windows, Linux, MAS OS X, Solaris a další operační systémy tento jazyk podporující. První verze (BEAM 1.0) byla uvolněna v prosinci 2002 a od té doby prošel software mnohými zlepšeními a nyní je využíván nejen specialisty, ale běžně i koncovými uživateli dat MERIS, AATSR, ASAR, MODIS a mnoha dalších. Do širšího povědomí uživatelů vstoupil tento software při prvním MERIS User Workshop pořádaném ESRIN v listopadu 2003 a při Envisat Symposiumu v Salzburgu v říjnu 2004 (<http://envisat.esa.int/>).

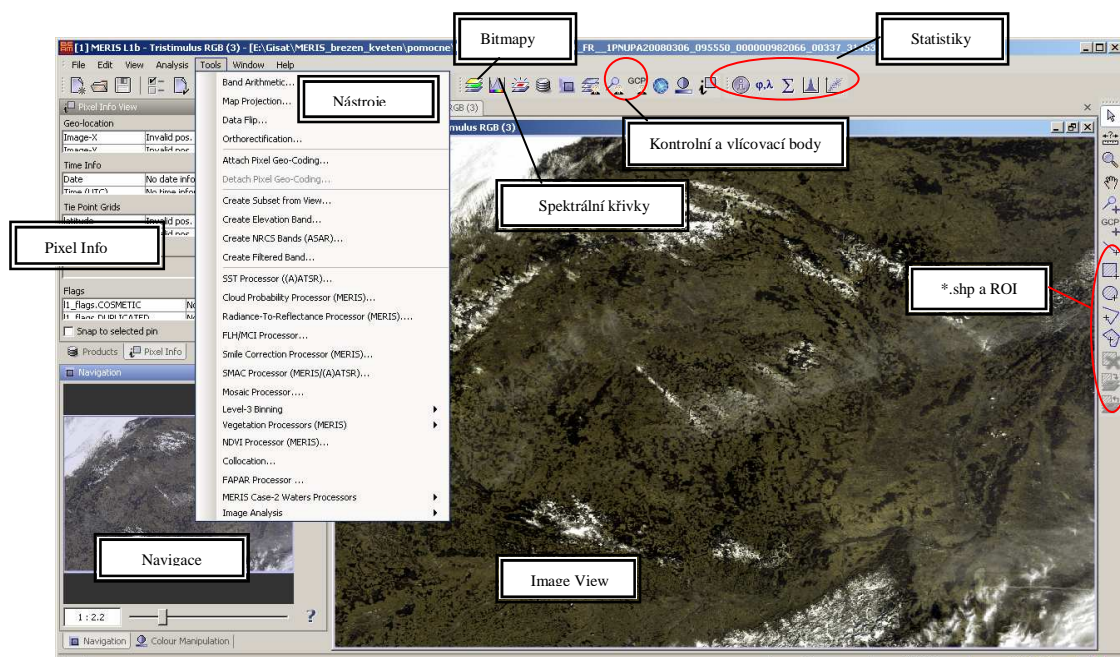
Tento program zdarma nabízí rychlé načtení, zobrazení a navigaci pro obsáhlá družicová data, možnost překryvu těchto dat s vektorovými daty (shapefile) a jejich použití jako masku, rozsáhlé statistické výpočty a grafy a samozřejmě kompletní předzpracování a zpracování družicových rastrových dat. Některé nástroje (např. NDVI Processor, FAPAR Processor, Vegetation Processor atd.) pro zpracování dat ovšem nemusí být součástí základní nainstalované verze softwaru BEAM, ale je potřeba je jako „plug-ins“ stáhnout a doinstalovat

ze stránek <http://www.brockmann-consult.de/beam-wiki/display/BEAM/Plug-ins> nebo pomocí MODULE MANAGERU v nabídce HELP podle konkrétních požadavků každého uživatele.

Software, i přes značná zlepšení, která přináší v každé nové verzi, má několik málo nedostatků. Jako příklad lze uvést především práce při postklasifikačních úpravách, které zde jako nástroj nabízeny vůbec nejsou, či zpracování výsledného layoutu (není k dispozici měřítko, legenda...). Uživatel tak musí využít i jiných softwarů. Nutno ovšem podotknout, že na tyto operace jsou specializovány jiné (především komerční) programy a vytvořit open-source program s kompletní funkcí jiných komerčních GIS softwarů nebylo ani záměrem tvůrců.

Na Obr. 10 je zobrazeno uživatelské prostředí SW BEAM, které lze při prostudování podrobné nápovědy programu snadno pochopit a ovládnout.

Obr. 10: Uživatelské prostředí SW BEAM



Zdroj: vlastní výstup

4.3 Metodika

Využití dat MERIS pro sledování charakteristik vegetace není v České republice zatím tak časté, jako využití dat z jiných senzorů. V následující části textu budou proto jednotlivé kroky při výběru, předzpracování i zpracování dat detailně popsány včetně teoretických základů použitých operací a metod. V této části práce je prezentováno i množství odkazů na zahraniční portály, které obsahují užitečné doplňující informace pro zpracování těchto multispektrálních a multitemporálních dat.

4.3.1 Výběr dat

Nejprve byla provedena volba vhodných snímků, tzn. snímků s minimální oblačností, které pokrývají co možná největší část ČR. Pro vyhledání snímku podle konkrétních parametrů (datum, čas, území...) byla použita aplikace EOLi-SA (blíže viz 4.2.1). Po vyhledání vhodného snímku lze tato data pomocí EOLi-SA také objednat u ESA. ESA provozuje současně portál MIRAVI (<http://miravi.eo.esa.int/en/>), avšak zde lze prohlížet data pouze z družice ENVISAT. Jelikož byla v roce 2008 na KAGIK instalována přijímací stanice pro data MERIS, využila jsem možnosti nahrání dat z archivu KAGIK případně snímky od společnosti Gisat. Z archivu společnosti Gisat lze po registraci data také stahovat a vyhledávat na portálu SSE (Service Support Environment), který je dostupný na stránkách <http://services.eoportal.org/>. Na tomto portálu je firmou Gisat vytvořena aplikace, která pracuje na podobném principu jako EOLi-SA a MIRAVI. Tato aplikace (SMUS neboli SOSI MERIS User Service) umožňuje po registraci bezplatné vyhledávání a nahrávání dat MERIS. Tato služba vznikla v rámci projektu SOSI (Spatial Observation Services and Infrastructure), na kterém se Gisat podílí. Blíže o projektu pojednává TRIEBNIG ET AL. (2009). Přehled vybraných snímků je prezentován v Tab. 1.

4.3.2 Předzpracování dat

Jelikož jsem porovnávala spektrální chování jednotlivých krajinných pokryvů ve více časových horizontech, bylo nutné na jednotlivých snímcích provést radiometrické a geometrické korekce, aby byla data ve všech časových horizontech srovnatelná. Pro předzpracování snímků jsem použila software BEAM, ve kterém jsem nejprve snímky ořízla kvůli rychlejšímu generování výsledků (celá scéna i 500MB). Poté byly provedeny **radiometrické korekce** SMILE a SMAC.

„Smile“ efekt

Jedná se o zkreslení naměřených radiometrických hodnot, které vzniká uvnitř jednotlivých kamer a je typické pro „push-broom“ senzory (neboli „stírací“ skenery). MERIS je složen z 5 kamer a každá z nich je vybavena vlastním CCD detektorem. Tyto detektory je třeba kalibrovat, jelikož jejich citlivost není nikdy stoprocentně stejná. Pokud by se tedy „smile“ efekt neodstranil, nacházely by se ve spektrálních hodnotách jednotlivých pixelů drobné posuny, což by mohlo snížit přesnost výsledné klasifikace. Na snímcích z MERIS je tento posun hodnot těžko rozeznatelný, poněvadž je velmi malý (v řádech 1 nm), ale i tak může zavést nepřesnosti při použití různých algoritmů, které mají velký nárok na kvalitu naměřených spektrálních hodnot (BEAM HELP).

Korekce SMILE se skládá ze dvou dílčích korekcí. Jedná se o korekci ozařování (irradiance) a o korekci odrazivosti (reflectance). První z nich odstraňuje vliv expozice Slunce na vlnových délkách měřeného pixelu podle vztahu (4.1):

$$L_{corr,irr}(\lambda_0) = L_{meas,pixel}(\lambda_0) * \frac{F_{0,ref}(\lambda_0)}{F_{0,pixel}(\lambda_0)} \quad (4.1)$$

Druhá korekce řeší rozdíly v úhlu odrazu záření interpolací se sousedními pixely a srovnáním s hodnotou referenčního pixelu podle vztahu (4.2):

$$L_{corr,refl}(\lambda_0) = \left[L_{meas,pixel}(\lambda_2) * \frac{F_{0,ref}(\lambda_0)}{F_{0,ref}(\lambda_2)} - L_{meas,pixel}(\lambda_1) * \frac{F_{0,ref}(\lambda_0)}{F_{0,ref}(\lambda_1)} \right] * \frac{(\lambda_{ref} - \lambda_1)}{(\lambda_2 - \lambda_1)} \quad (4.2)$$

Výsledná korekce SMILE je tedy součtem těchto dvou korekcí podle (4.3):

$$L_{corr}(\lambda_0) = L_{corr,irr}(\lambda_0) + L_{corr,refl}(\lambda_0) \quad (4.3)$$

Pro prezentované rovnice platí, že $L_{meas,pixel}$ je naměřená hodnota radiance pro vlnové délky λ_0 , $F_{0,ref}$ sluneční irradiance pro referenční vlnové délky a $F_{0,pixel}$ sluneční radiance na pixelových vlnových délkách (BEAM HELP).

V této práci je korekce „smile“ efektu provedena v SW BEAM, kde je vytvořen nástroj „SMILE Correction Processor“, který dodržuje výše prezentovaný postup. Stejně tak ESA při standardním zpracování dat MERIS L1 na úroveň MERIS L2 využívá stejného algoritmu jako je implementovaný v SW BEAM.

SMAC (Simplified Method for Atmospheric Correction)

Atmosférická korekce se provádí z důvodu eliminace vlivu rozptylu, pohlcování a vyzařování atmosféry a atmosférických aerosolů. Odstranění lze docílit monitorováním specifických pozemních útvarů s relativně konstantní odezvou – voda, led, sníh, poušť. Nejčastěji se používá porovnání odrazivosti pro čistou hlubší vodu, která má v blízkém infračerveném pásmu prakticky nulovou odrazivost. Cokoli tedy v takovém případě naměříme, můžeme odečíst jako příspěvek atmosféry (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 1997). Pro vyjádření vlivu atmosféry se využívá různých modelů.

V SW BEAM je implementována např. metoda SMAC. Algoritmus pro výpočet je popsán v RAHMAN, DIDIEU (1994) a v SW BEAM je tato metoda z velké části zautomatizovaná. Je nutné pouze dohledat hodnoty atmosférických aerosolů „Aerosol Optical Depth“ (AOD) pro konkrétní den, nastavit typ oblasti (kontinentální, pouštní), definovat masku pro výpočet a ostatní proměnné doplní software sám z dat ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecasting), která jsou součástí dat MERIS 1P. Procesor SMAC zároveň převede naměřené radiometrické hodnoty (TOA radiance) na odrazivost povrchu (TOC reflectance).

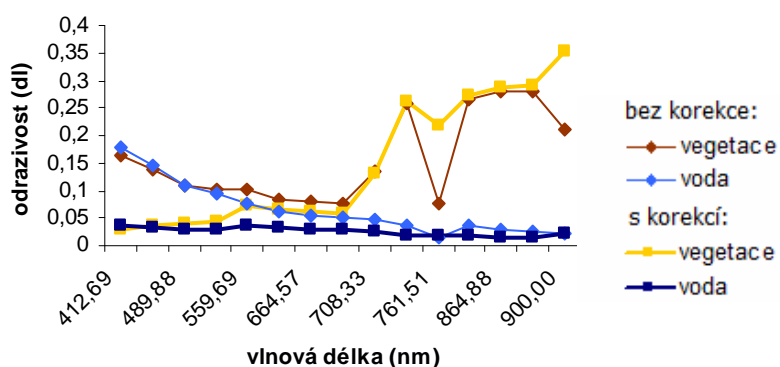
Pro zjištění hodnot AOD doporučují odborné práce (např. GUANTER ... [ET AL.], 2007, 2008) údaje ze stránek AERONET (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>). AERONET je síť pozemních stanic měřících atmosférické aerosoly, která byla založena NASA a PHOTONS a v současné době spolupracuje s řadou mezinárodních institucí, univerzit, vědeckých pracovišť a

společností. Díky programu AERONET je k dispozici množství databází s dlouhodobými souvislými měřeními atmosférických charakteristik (blíže o programu pojednává HOLBEN ... [ET AL.], 1998). Bohužel tato data nejsou dostupná pro každý den a v České republice není ani měřicí stanice a je tedy nutné využít data z nejbližší možné (např. Lipsko, Mnichov, Belsk), což může přesnost korekce značně snižovat. Z tohoto důvodu jsem využila data o množství aerosolů naměřená senzorem MODIS na portálu GIOVANNI (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni>). Zde lze definovat zájmové území i typ vizualizace dat (graf, animace, časová řada) a aplikace poté podle interních dat a modelů dopočte požadované hodnoty.

Podle RAHMAN, DIDIEU (1994) je hlavní výhodou metody SMAC její rychlost výpočtu, který je tisíckrát rychlejší než jiné detailnější radiační přenosové modely, jako jsou např. 5S, 6S, Lowtran 6 či Turner and Spencer's model. Tato metoda také nevyžaduje předdefinovanou look-up tabulku a je vhodná pro zpracování velkého množství dat naměřeného pro rozsáhlé oblasti s častým opakováním. SMAC může být použit přímo nebo inverzně, tzn. pro výpočet odrazivosti na horní hranici atmosféry při známé odrazivosti povrchu či opačně pro získání odrazivosti povrchu z naměřených hodnot odrazivosti na horní hranici atmosféry. Nevýhodou metody je nižší přesnost, pokud jsou zenitový úhel Slunce a úhel pohledu větší než 60° a 50° nebo pokud je horizontální dohlednost menší než 5 km, což odpovídá AOD větší jak 0,8 na vlnových délkách 550 nm. Tento nedostatek je shodný s modelem 5S, ze kterého metoda SMAC vychází. Na rozdíl od 5S pracuje i s vodní vláhou, která je brána v úvahu až v navazujícím modelu 6S.

Na Obr. 11 je ukázka vlivu atmosférické korekce SMAC na spektrální křivku odrazivosti pro vodu a vegetaci. Je zde patrný vliv korekce převážně v modré části spektra, kde snižuje rozptyl a eliminuje tak modrý nádech snímku. Pásmo 11 a 15 jsou absorpční pásma kyslíku a vodní vláhly a pro další analýzy a klasifikace nebyla tato pásma využita.

Obr. 11: Vliv atmosférické korekce SMAC na spektrální křivku odrazivosti

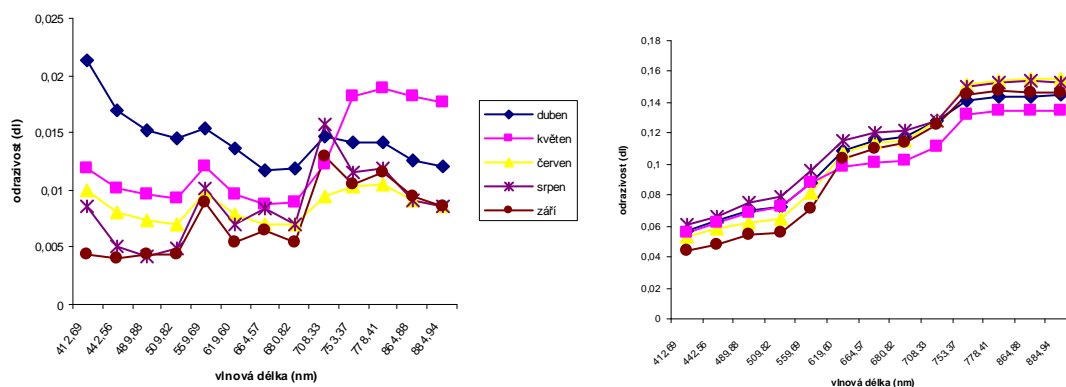


Zdroj: vlastní výstup

Hodnocení přesnosti provedené korekce, např. porovnáním hodnot odrazivosti vodních ploch jednotlivých snímků, je na území ČR dosti obtížné, jelikož zde neexistují dostatečně

velké a hluboké vodní plochy, které by typický průběh spektrální křivky vody kopírovaly. Navíc je na jaře a v létě většina těchto vodních ploch znečištěna různými příměsemi a sinicemi, které odrazivost také značně mění. Na Obr. 12 je názorně vidět, jak se s nástupem jara a léta na odrazivosti vodní nádrže Lipno začíná podílet značnou měrou vegetace a v květnu tato křivka zcela kopíruje trend odrazivosti vegetace - viz kapitola 3. Nicméně, i zde hodnoty kolísají v rozmezí cca 0,01 dl \approx 1 % odrazivosti, což je při mapování vegetace v této práci akceptovatelná odchylka. Stálejší průběh spektrální křivky odrazivosti v průběhu roku vykazují např. zastavěné plochy, kde však hodnoty také částečně kolísají, a to v rozmezí cca 0,02 dl \approx 2 %.

Obr. 12: Hodnoty spektrální odrazivosti v. n. Lipno a Starého Města v Praze po korekci SMAC voda: zástavba:



Zdroj: vlastní výstup

Výpočet vegetačních indexů

Princip výpočtu vegetačních indexů i jejich vlastnosti jsou prezentovány v kapitole 3.1. Veškeré výpočty byly provedeny v SW BEAM pomocí nástrojů VEGETATION PROCESSOR, NDVI PROCESSOR a FAPAR PROCESSOR, které pracují zcela automaticky a není potřeba zadávat jiné doplňující parametry než vstupní snímek, který musí být ve formátu *.N1. Algoritmus nástroje Vegetation Processor využívá pro určování indexů neuronových sítí a zpracovává 11 spektrálních pásem MERIS (bez 1., 2., 11. a 15. pásma) plus doplňková data z produktu MERIS 1P. Blíže o algoritmu pro výpočet indexů pojednává BARET, F. ... [ET AL.] (2006). Výstupem jsou LAI, fAPAR, fCover a LAI.Cab. NDVI Processor využívá informace z 6. a 10. spektrálního pásma MERIS a FAPAR Processor informace z 2., 8., a 13. pásma plus doplňková data MERIS 1P. Výstupem FAPAR Processoru je pásmo s hodnotami indexu MGVI.

Geometrické korekce

Finálním krokem při předzpracování dat MERIS bylo provedení geometrické korekce. Pro potřeby této práce byla geometrická korekce provedena metodou **orthorektifikace**, která v SW BEAM probíhá automaticky bez manuálního zadávání vlíčovacích bodů a dosahuje lepších

výsledků než metoda projekce, jelikož využívá digitálního modelu terénu. Orthorektifikace v SW BEAM využívá vlastních vlčovacích bodů „Tie points“, které jsou obsažené v produktu MERIS 1P, a digitální model terénu GETASSE30 (Global Earth Topography And Sea Surface Elevation at 30 arc second resolution). Z důvodu značné velikosti (2,3 GB) tohoto modelu není součástí SW BEAM, ale je nutné ho před prvním použitím stáhnout z webových stránek <http://envisat.esa.int/services/beam> a nainstalovat ručně. GETASSE30 vznikl za použití čtyř různých zdrojů dat. Jedná se o digitální modely terénu SRTM30 a ACE, dále data MSS (Mean Sea Surface) a elipsoid EGM96. Výsledný model je zpracovaný na elipsoidu WGS84.

SW BEAM nově nabízí i Křovákovo zobrazení, bohužel ale při exportu dat docházelo k vynulování hodnot obrazu, tudíž byla všechna zpracovávaná data transformována do zobrazení UTM. V tomto SW bylo současně s orthorektifikací provedeno **převzorkování** snímků na pixel o velikosti 300 x 300 metrů metodou nejbližšího souseda. Tato metoda se jeví pro klasifikaci jako vhodnější, jelikož na rozdíl od kubické konvoluce nemění původní naměřené radiometrické hodnoty pixelu. Při orthorektifikaci snímků je nutné dodržet návaznost polohy jednotlivých snímků pixel na pixel a volit stejnou referenční mřížku, tzn. stejnou polohu rohů pixelu. Přesnost orthorektifikace byla hodnocena vizuálně srovnáním s vektorovou vrstvou LPIS.

4.3.3 Analýza spektrálního chování vegetace

Před tvorbou výsledné mapy vegetačního pokryvu bylo nutné nejprve porozumět chování vegetace. Z tohoto důvodu byl zkoumán vliv klimatické oblasti na spektrální křivku odrazivosti a její změny v průběhu roku.

Analýza vlivu klimatické oblasti na spektrální chování vegetace

Jak již bylo řečeno v úvodních kapitolách, spektrální chování vegetace je značně proměnné vlivem mnoha faktorů. Spektrální odrazivost vegetace se s každou fenologickou fází vegetace zásadně mění. Nástup těchto fenofází se řídí především teplotou vzduchu a množstvím srážek. Z těchto dvou stěžejních faktorů vycházejí i známé klimatické regionalizace ČR (QUITT, 1971; MORAVEC, VOTÝPKA, 1998).

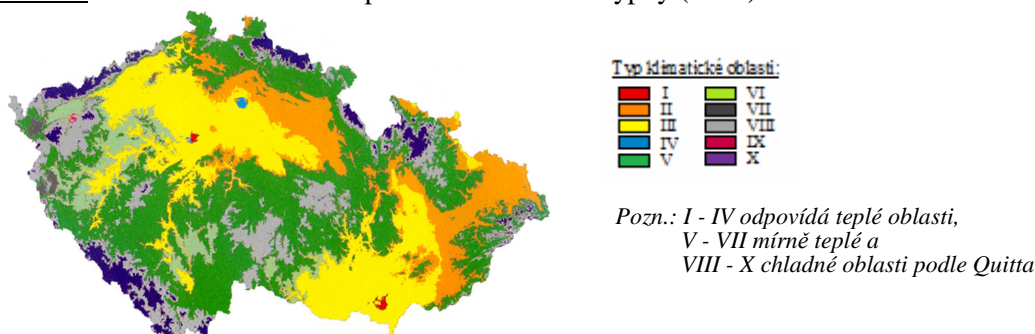
QUITT (1971) ve svém klimatologickém členění Československa, vychází z klimatologických dat z let 1901 – 1950. Z nich byla použita data průměrných teplot v lednu, dubnu, červenci a říjnu, počtu letních, mrazových a ledových dní a počtu dní s teplotou alespoň 10 °C. Srážkové charakteristiky zahrnují srážkový úhrn ve vegetačním a zimním období, počet dnů se srážkami alespoň 1 mm a počet dnů se sněhovou pokrývkou. Z ostatních charakteristik byly použity počty dnů jasných a zatažených.

Novější klimatické členění ČR podle MORAVCE A VOTÝPKY (1998) vzniklo digitálním modelováním z dat časové řady 1961 - 1990 naměřených na 85 klimatologických stanicích v ČR a na rozdíl od Quitta využívá tato regionalizace i digitálního modelu terénu a zahrnuje tak vliv morfometrických charakteristik sklonitosti, expozice, slunečního ozáření,

konvexity a konkavitu prostorových jednotek (PIVEC, 2006). Z tohoto důvodu byly v této práci využity klimatické oblasti podle MORAVCE A VOTÝPKY (Obr. 13).

Charakteristiky vegetace byly zkoumány na snímku z 3. května, kdy pro objektivní analýzu byly v každé klimatické oblasti vybrány tři pozice pixelu (PIN pozice), na kterých byly následně zkoumány spektrální křivky odrazivosti a vegetační indexy. Ze zemědělských plodin byly tyto charakteristiky zkoumány pouze pro brukev řepku olejku, jelikož jako pro jedinou z naměřených plodin byla referenční data pořízena ve všech klimatických oblastech.

Obr. 13: Klimatické oblasti ČR podle Moravce a Votýpky (1998)



Zdroj: <http://janpivec.wz.cz/>

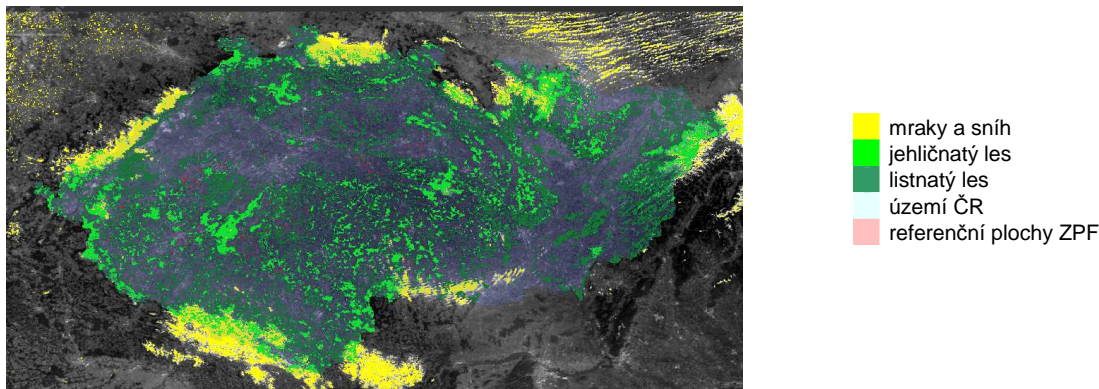
Tvorba masek pro temporální analýzu

Prvním krokem při určování klasifikačních pravidel byla tvorba masek (viz Obr. 14) pro analýzu histogramů a zjištění průměrných hodnot odrazivosti a vegetačních indexů sledovaných vegetačních kategorií. Tyto masky byly vytvořeny v SW BEAM v „MASK / ROI MANAGERU“ na základě referenčních dat GlobCover a terénního šetření SZIFu. Následně byly pomocí statistických funkcí v SW BEAM pod těmito maskami spočteny průměrné hodnoty odrazivosti a vegetačních indexů.

Pro práci s maskami musí být veškerá data, ze kterých chci masku vytvořit, načtena ve stejném produktu, tzn. do jednotlivých snímků MERIS bylo přidáno další pásmo s hodnotami GlobCover. Tento krok byl proveden pomocí nástroje COLLOCATE, který slouží ke spojení různorodých dat se stejnou projekcí. Z GlobCover byla vytvořena maska lesů a pro masky jednotlivých zemědělských plodin byla použita vektorová data vytvořená výběrem z dat LPIS v ArcGIS (tyto soubory lze v SW BEAM 4.7 nově načíst jako geometrii).

Vytvořené masky obsahují pouze platné pixely bez oblačnosti, která byla odstraněna pomocí nástroje CLOUD PROBABILITY. Tento nástroj vytvoří pásmo s hodnotami pravděpodobností, zda daný pixel je oblačnost. Vizualizací interpretací a prahováním vznikla maska oblačnosti a sněhu, která byla odečtena od masek ostatních kategorií na území ČR.

Obr. 14: Ukázka masek v SW BEAM 4.7



Zdroj: Vlastní výstup

4.3.4 Klasifikace

Proces klasifikace zahrnuje několik kroků. Prvním z nich je stanovení klasifikovaných kategorií objektů reálného světa a dalšími kroky jsou určení klasifikačních pravidel, výběr klasifikační metody a určení přesnosti klasifikace.

V této práci bylo zkoumáno spektrální chování jehličnatého, smíšeného a listnatého lesa a ze zemědělských plodin hlavně brukev řepka olejka, kukuřice, cukrová řepa a chmel, pro které byl k dispozici dostatek referenčních dat.

Výběr endmembers pro klasifikaci

Endmember je čisté spektrum odrazivosti určitého materiálu získané z plochy, která není mixována jinými materiály (GHAFOURI, 2006). Stanovení endmembers je klíčovým krokem každé klasifikace metodou Spectral Unmixing (viz dále) a může být chápáno jako stanovení trénovacích množin při řízené klasifikaci. Stejně jako nekvalitní určení trénovacích ploch i nevhodně vybrané endmembers zavádějí do výsledků klasifikace značné chyby.

Existují dva způsoby výběru endmembers. Prvním je výběr spektrálních křivek ze spektrálních knihoven. Avšak, tento způsob je pro tuto práci nevhodný, jelikož většina spektrálních knihoven je vytvořena převážně pro geologické aplikace a obsahuje velké množství hornin a minerálů, ale ostatní materiály tyto knihovny obsahují jen výjimečně. Druhým způsobem je výběr endmembers z vlastního snímku. V tomto případě je výhodou snadná dostupnost, jednoduchost a stejné jednotky a odpovídající vlnové délky jednotlivých pásem, jako má klasifikovaný snímek (GHAFOURI, 2007).

V této práci byly endmembers vybrány manuálně z vlastních snímků MERIS na podkladě referenčních dat LPIS, GlobCover a terénních dat SZIF. Referenční data LPIS (s informacemi o pěstovaných plodinách ze SZIFu, které byly k databázi LPIS připojeny pomocí SW Access podle tří atributů - mapový čtverec, kód půdního bloku a výměra) byla v SW BEAM nahrána do každého snímku jako geometrie a použita jako maska pro výběr pixelů reprezentujících

jednotlivé endmembers. Při výběru endmembers je důležité vybrat jednotné plochy vegetačního pokryvu, které nejsou mixovány jinými povrchy. V případě práce s 300m prostorovým rozlišením snímků MERIS jde tedy o plochy s minimální velikostí 9 ha. I přes poměrně přesnou „geolokaci“ snímků (maximální posuny do 1 px), kdy každý pixel snímků produktu L1 obsahuje údaj o geografické poloze, je vhodnější počítat s možnými polohovými nepřesnostmi a volit i plochy větší. Pro tuto práci byla zvolena minimální velikost jednotné plochy zhruba 3 x 3 pixely, kdy jako endmember byl poté vybrán středový pixel. Tzn. jako endmember byly vybrány pixely, které při překryvu snímků MERIS a dat LPIS náležely celé do jednoho půdního bloku a na odrazivosti se tedy podílela pouze jedna pěstovaná kultura.

V SW BEAM se spektrální křivky endmembers vytvoří pomocí dvou nástrojů - PIN MANAGER a SPECTRUM VIEW, kdy v PIN Manageru zadám polohy pixelů a v nástroji Spectrum View se pro tyto pixely vytvoří spektrální křivky odrazivosti, které poté vyexportuji do tabulky ve formátu *.csv, jenž je vstupem pro klasifikaci LSU (viz dále).

Na následujícím Obr. 15 je příklad PIN pozic, spektrálních křivek a tabulky endmembers získaných ze snímku z 21. dubna 2009. Hodnoty v tabulce endmembers odpovídají spektrálním odrazivostem zkoumaných povrchů.

Obr. 15: Výběr endmembers

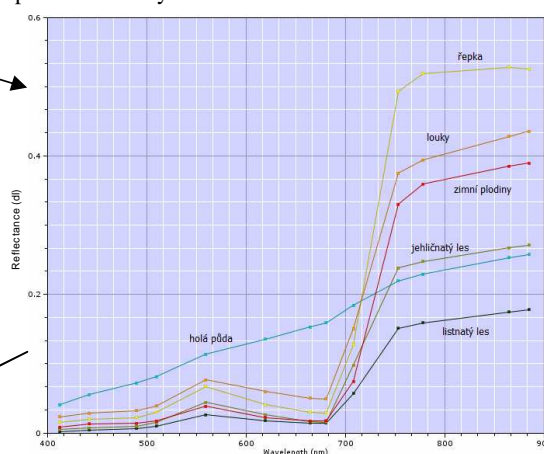
PIN pozice:

Name	X	Y	Lon	Lat	Label
pin_1	829.5	539.5	14.341517	49.668606	holá půda
pin_2	677.5	380.5	13.977869	50.167477	řepka
pin_3	389.5	497.5	12.844465	50.033726	louky
pin_4	840.5	184.5	14.763825	50.570778	jehličnatý les
pin_5	1602.5	572.5	16.963943	49.084026	listnatý les
pin_7	794.5	343.5	14.428713	50.191914	zimní plodiny

Tabulka endmembers:

Wavelength	holá půda	řepka	louky	jehličnatý les	listnatý les	zimní plodiny
412.69	0.0405	0.0152	0.0233	0.0012	0.0055	0.0083
442.56	0.0553	0.0200	0.0284	0.0040	0.0070	0.0130
489.88	0.0719	0.0221	0.0322	0.0063	0.0091	0.0137
509.82	0.0812	0.0303	0.0389	0.0097	0.0150	0.0172
559.69	0.1133	0.0673	0.0764	0.0260	0.0441	0.0382
619.60	0.1355	0.0407	0.0595	0.0177	0.0263	0.0223
664.57	0.1529	0.0299	0.0502	0.0142	0.0162	0.0173
680.82	0.1590	0.0286	0.0493	0.0141	0.0152	0.0174
708.33	0.1841	0.1277	0.1508	0.0571	0.0976	0.0742
753.37	0.2195	0.4930	0.3748	0.1510	0.2378	0.3299
778.41	0.2293	0.5187	0.3940	0.1591	0.2478	0.3591
864.88	0.2530	0.5282	0.4284	0.1745	0.2672	0.3852
884.94	0.2575	0.5253	0.4352	0.1780	0.2712	0.3892

Spektrální křivky:



Zdroj: Vlastní výstup

Ačkoli by se z nápovědy BEAM HELP mohlo zdát, že lze jednoduše v textových editorech vytvořit vlastní tabulku *.csv a použít ji pro klasifikaci, SW s vlastními soubory pracovat nedokáže a je tedy nutné použít tabulku vytvořenou přímo v SW BEAM výběrem 1 reprezentativního pixelu pro 1 endmember. Toto byl také jeden z hlavních důvodů k výběru pouze třech spektrálních chování značně odlišných endmembers v následující klasifikaci LSU.

Linear spectral unmixing (LSU)

Jelikož jednotlivé klasifikované kategorie vegetačního krytu svou rozlohou většinou nepřesahují 300m prostorové rozlišení MERIS, dochází v používaných datech k spektrálnímu mixování, kdy je více krajinných typů prezentováno v jednom pixelu. Před vlastní klasifikací bylo tedy vhodné provést spektrální odmixování („spectral unmixing“) jednotlivých složek.

Podstatou této metody je předpoklad, že měřený signál v pixelu je lineární kombinací signálů odpovídajících nesmíšeným plochám jednotlivých krajinných typů vážený jejich rozlohou v pixelu (ZURITA-MILLA, 2008). Tato vlastnost lze formulovat vztahem (4.4):

$$R_k = \sum_i^n a_i * E_{i,k} + \varepsilon_k \quad RMSE = \sqrt{\left(\sum_k^m \varepsilon_k^2\right)^{-m}}, \quad (4.4)$$

kde R_k je odrazivost pixelu na vlnové délce k ; $E_{i,k}$ odrazivost elementární plochy i na vlnové délce k ; a_i představuje množství („abundance“) dané elementární plochy v pixelu; ε_k je chyba na vlnové délce k , $RMSE$ chyba ε_k ; n počet elementárních ploch a m počet spektrálních pásem (BEAM HELP; ZURITA-MILLA, 2008).

V SW BEAM lze množství jednotlivých elementárních typů (endmembers abundance) v pixelu vypočítat pomocí tří různých algoritmů. Jedná se o Unconstrained LSU, Constrained LSU a Fully Constrained LSU.

Unconstrained LSU – hodnota abundance není omezena

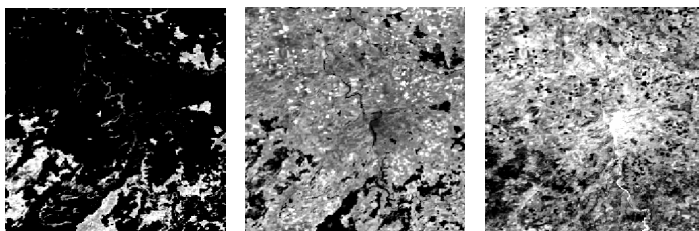
Constrained LSU – součet abundancí se rovná jedné

Fully Constrained LSU – součet abundancí se rovná 1 a abundance nemůže být menší než 0

Poslední zmíněná metoda se podle CHANG, HEINZ (2000, CIT. IN ZURITA-MILLA, 2008) jeví jako nejvhodnější a byla použita v této práci. Spectral unmixing lze považovat za obdobu řízené klasifikace či transformace TASSELED CAP, kdy definují spektrální křivky jednotlivých elementárních ploch (endmembers) a SW z původních pásem odrazivosti vytvoří nová pásma (abundance) obsahující množství každé jednotlivé složky obrazu v pixelu.

Z původních pásem odrazivosti jsou tedy vypočtena nová pásma, která zvýrazňují určité vlastnosti povrchů. Jelikož se v LSU provádí výpočet na základě uživatelem definovaných endmembers, lze tak vhodně zvýraznit jakékoli povrchy (viz Obr. 16). Na zmiňovaném obrázku je příklad nově vzniklých pásem z LSU - les, ostatní vegetace a holá půda. Světlé plochy představují maximum dané kategorie. Zastoupení jednotlivých kategorií v pixelu dává dohromady 1, což odpovídá 100 % plochy pixelu.

Obr. 16: Nová pásma z LSU na snímku z 20. srpna 2009

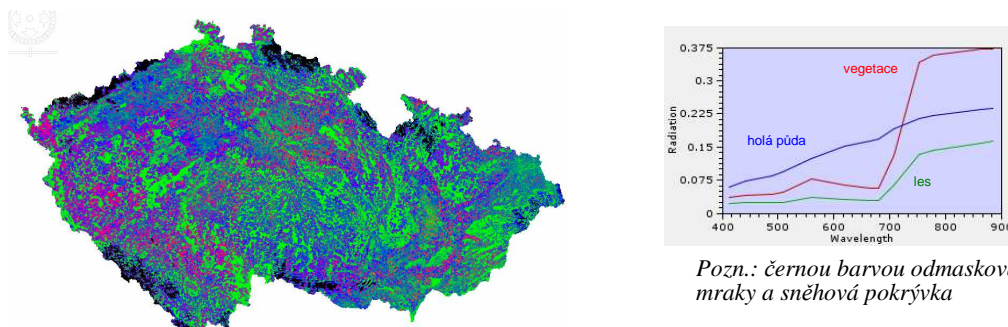


Pozn.:
na obrázku zachyceno okolí Prahy
(zleva - les, ostatní vegetace, holá
půda)

Zdroj: Vlastní výstup

Na Obr. 17 je znázorněna barevná kombinace RGB snímku, kdy R představuje ostatní vegetaci, G lesní plochy a B holou půdu podle klasifikace LSU provedené na základě spektrálních křivek vybraných endmembers získaných měřením ze snímku z 2. dubna 2009.

Obr. 17: Barevná kombinace pásem LSU na snímku z 2. dubna 2009



Zdroj: Vlastní výstup

Prahování histogramu

Prahování (neboli thresholding) je funkce, která převádí hodnoty obrazu do uživatelem definovaných množin podle předpisu (4.5):

$$f(c) = \begin{cases} A & \text{pokud } c < \text{práh} \\ B & \text{pokud } c \geq \text{práh} \end{cases}, \text{ kde } c \text{ je naměřená hodnota v obrazu a } A, B \text{ jsou nově určené hodnoty množin.} \quad (4.5)$$

Zpravidla se využívá množiny $\{0,1\}$, kdy prahování slouží např. pro oddělení objektů nebo pro tvorbu masky určitého typu nebo území. Na prahování lze také pohlížet jako na segmentaci nebo na nejjednodušší způsob klasifikace obrazu (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 1997).

Prahová hodnota se stanovuje nejčastěji empiricky zkusmým posunem hodnot prahu. Nejlépe však lze nalézt hodnotu prahu v případě bimodálního rozložení hodnot histogramu, tedy v případě, že hodnoty histogramu nabývají dvou lokálních maxim a jediného minima (viz Obr. 18).

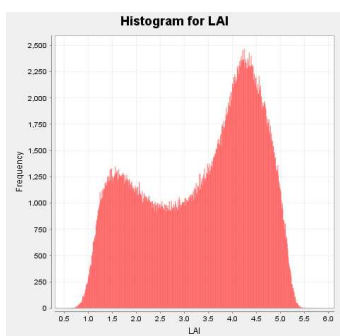
V práci bylo po prozkoumání všech vypočtených vegetačních indexů využito prahování histogramu pouze pro LAI, fCover a MTCI, které podávaly vizuálně nejjednotnější výsledky pro všechna časová období. Na Obr. 18 je příklad rozložení hodnot histogramu pro vegetační ukazatel LAI.

Na prvním grafu je histogram hodnot pod maskami vzniklými z klasifikace LSU pro les, na druhém pro ostatní vegetaci. V prvním případě se jedná o bimodální histogram (viz výše) a hodnoty $LAI < 2,7$ představují holou půdu a hodnoty $LAI \geq 2,7$ zastupují lesní plochy a vzrostlé zemědělské plodiny. V druhém případě $LAI < 3,5$ znázorňuje zemědělské plodiny a $LAI \geq 3,5$ prezentuje lesní plochy.

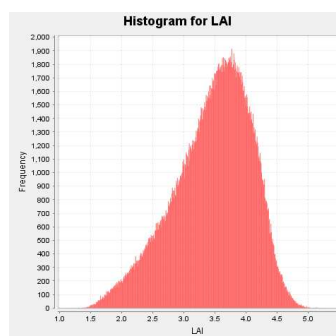
Při klasifikaci metodou prahování většinou nestačí použít pouze jednu podmínku, ale je nutné využít najednou více podmínek a kritérií využívajících prahování. Tyto podmínky se doplňují a jsou součástí náročnějšího rozhodovacího algoritmu (ZELENKOVÁ, 2009).

Obr. 18: Ukázka histogramu hodnot LAI

pod maskou lesa:



pod maskou ostatní vegetace:



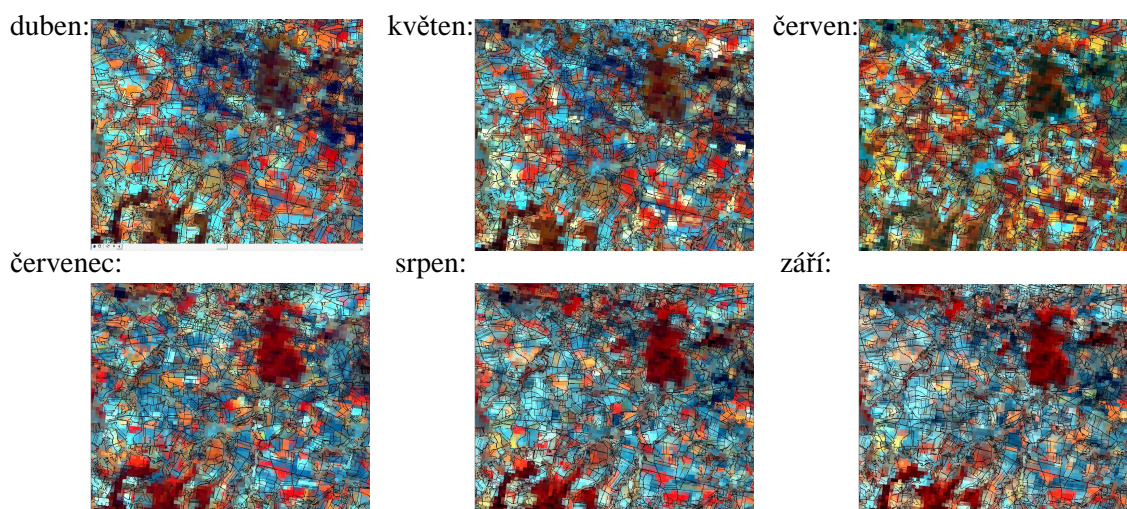
Zdroj: Vlastní výstup

Klasifikační pravidla

Po detailním prozkoumání spektrálních křivek a hodnot vegetačních indexů sledovaných povrchů byly stanoveny klasifikované kategorie a vlastní klasifikační schéma, které bylo použito pro všechny časové horizonty.

Jako základní kategorie byly pro každý časový horizont zvoleny les, ostatní vegetace a holá půda, které byly klasifikovány na základě spektrálních příznaků metodou LSU. Tyto kategorie se poté dále, podle hodnot vegetačních indexů, rozdělily na les jehličnatý a listnatý (zahrnuje i smíšený), travní porosty, plodiny 1 (na Obr. 19 - výrazně červená barva) a plodiny 2 (na Obr. 19 - žlutá barva) a na kategorii holá půda (na Obr. 19 - modře).

Obr. 19: Časová řada snímků MERIS v nepravých barvách (RGB - 13,9,7) - detail



Zdroj: Vlastní výstup

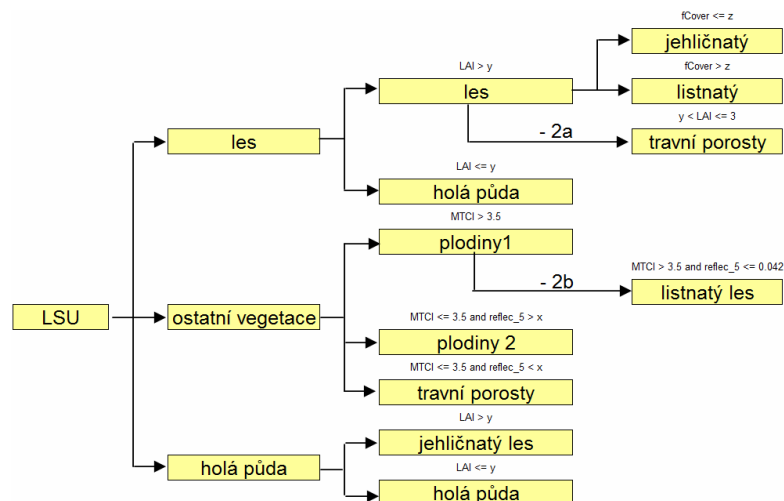
Na Obr. 20 je prezentováno vlastní klasifikační schéma, které lze vcelku univerzálně použít pro všechny klasifikované časové horizonty. I přes snahu vytvořit zcela univerzální postup, je při použití tohoto schématu nutná vizuální kontrola a případný posun hodnot x , y , z . Použité prahové hodnoty pro mnou klasifikované snímky jsou zaznamenány v Tab. 4, kde reflec_5 značí odrazivost v 5. spektrálním pásmu MERIS po radiometrických korekcích a sloupec označený jako „větev 2“ prezentuje použití či nepoužití doplňujících podmínek v klasifikačním schématu na Obr. 20 označených jako 2a a 2b. Např. koncem května a v červnu docházelo po klasifikaci LSU k časté záměně vzrostlých zemědělských plodin (plodiny1) s listnatým lesem a bylo tedy nutné z masky plodiny1 ještě vyčlenit kategorii jehličnatý les. Stejně tak v červenci, srpnu a září byla po vizuální kontrole zjištěna značná záměna lesních ploch a travních porostů, tudíž byly tyto porosty z lesních ploch vyčleněny podmínkou 2a.

Tab. 4: Prahové hodnoty pro klasifikaci

	x (reflec_5)	y (LAI)	z (fCover)	větev 2
duben	0,07	2	0,52	ne
začátek května	0,08	2	0,52	ne
konec května	0,08	3	0,6	2b
červen	0,08	3	0,6	2b
červenec	0,08	2	0,52	2a
srpen	0,08	2	0,52	2a
září	0,08	2	0,52	2a

Zdroj: Vlastní výstup

Obr. 20: Klasifikační schéma



Zdroj: Vlastní výstup

Poté, co byly pomocí výše prezentovaného klasifikačního schématu vytvořeny mapy pro jednotlivé měsíce a vypočtena jejich přesnost, byly zvoleny temporální příznaky pro vytvoření výsledné klasifikace vegetačního pokryvu ČR.

Na Obr. 19 je zobrazen výřez oblasti Polabí znázorňující dynamiku vegetačního pokryvu v nepravých barvách (RGB - 13,9,7). Vizuálním hodnocením a na základě dosažených

výsledků přesnosti jednotlivých klasifikací byly pro vytvoření výsledné mapy vegetačního pokryvu použity všechny dílčí klasifikace, kde kategorie „plodiny1“ byly z dubnového a květnového snímku klasifikovány jako kategorie zimní plodiny, z červnového snímku jako jarní plodiny a z července, srpna a září jako letní plodiny. Kategorie „plodiny2“ představuje ve všech časových obdobích brukev řepku olejku, pro klasifikaci bylo využito květnového snímku pro ozimou řepku a červnového snímku pro jarní řepku. Lesní plochy (jehličnaté a listnaté zvlášť) byly klasifikovány ze srpnového snímku, kde byla dosažena nejvyšší přesnost klasifikace a radiometrie snímku nebyla ovlivněna oblačností ani sněhovou pokrývkou v horských oblastech. Klasifikace travních porostů byla převzata z květnového snímku.

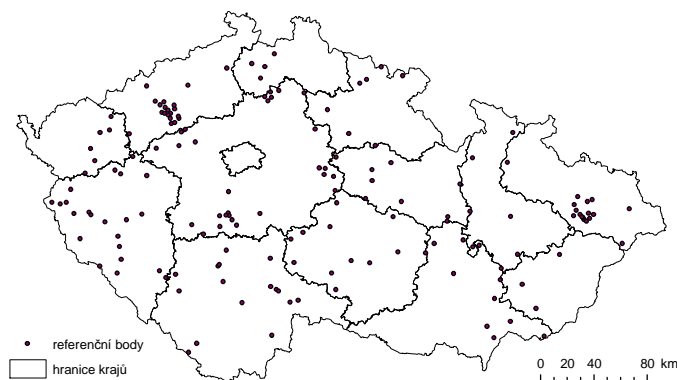
4.3.5 Postklasifikační úpravy

Mezi postklasifikační úpravy v této práci řadím filtraci obrazu, stanovení přesnosti klasifikace a následné prezentování výsledku ve formě přehledných map a tabulek.

Filtrace obrazu byla provedena v PCI Geomatica pomocí filtru SIEVE, který odfiltroval shluky menší jak 2 px. Tento filtr byl aplikován na klasifikace až pro potřeby výsledné vizualizace, aby mapa nepůsobila „rozsypaně“. Pro výpočet podílu jednotlivých kategorií na rozloze ČR (Graf 1) byla použita nefiltrovaná data, jelikož odstranění pixelu o velikosti 9 ha může v zemědělské krajině znamenat odstranění celého pole.

Přesnost klasifikace byla vypočtena za použití 200 bodů pro dílčí klasifikace a 161 bodů pro klasifikaci výslednou (Obr. 21). Tyto body byly získány vytvořením bodové vrstvy na podkladě referenčních dat LPIS, SZIF a CLC06 v ArcGIS 9.2 a následně nahrány jako vektorová vrstva do klasifikace v PCI Geomatica, kde byla přesnost vypočtena pomocí nástroje ACCURACY ASSESSMENT.

Obr. 21: Referenční bodová vrstva pro hodnocení přesnosti klasifikací



Zdroj: Vlastní výstup

KAPITOLA 5

Výsledky práce

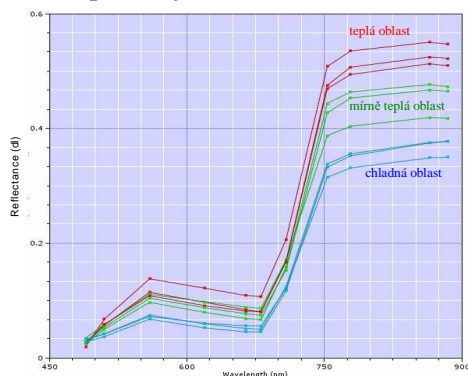
Nejdůležitějším výsledkem diplomové práce je mapa pokryvu ČR za rok 2009 vytvořená na podkladě detailní analýzy spektrálních křivek klasifikovaných typů krajinného pokryvu a vlastní klasifikační schéma pro tvorbu této databáze. V této části práce jsou vedle finálních map a hodnocení přesnosti klasifikace prezentovány také dosažené výsledky spektrálních odrazivostí sledovaných ploch.

Analýza vlivu klimatické oblasti na spektrální charakteristiky vegetace

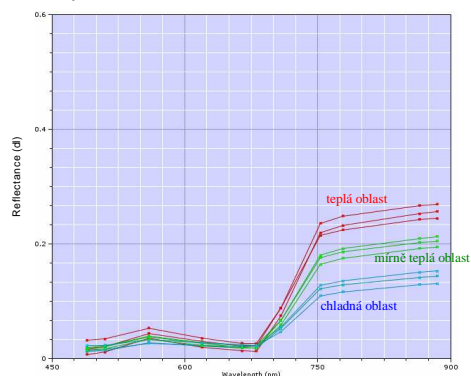
Při této analýze byly zkoumány změny spektrálních vlastností vegetace vlivem polohy v odlišné klimatické oblasti. Byly porovnávány tři klimatické regiony - teplá, mírná a chladná oblast, které vznikly sloučením 10 klimatických oblastí podle klimatické regionalizace MORAVCE A VOTÝPKY (1998). Pro každou oblast byly vybrány 3 stejné typy vegetace ve třech lokalitách. Porovnání spektrálních křivek je znázorněno na Obr. 22 a na Obr. 23 je znázorněn vliv klimatické oblasti na hodnoty vegetačních indexů a ukazatelů.

Obr. 22: Vliv klimatické oblasti na spektrální křivku odrazivosti vegetace 3. května 2009

brukev řepka olejka:



listnatý les:



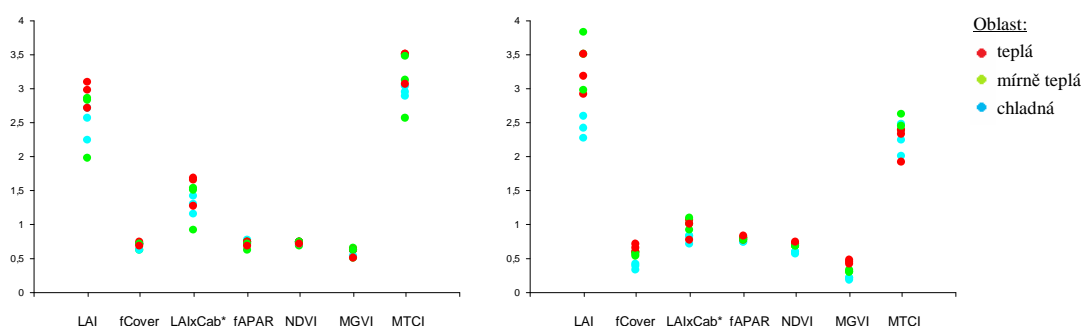
Zdroj: Vlastní výstup

Z prezentovaných křivek na Obr. 22 lze určitou závislost na klimatické oblasti vypočítat. U řepky olejky i u listnatého lesa je patrný větší nárůst odrazivosti

v NIR směrem k teplejší klimatické oblasti. Naopak v chladnějších oblastech je vývoj vegetace vlivem klimatu zbrzděn. V teplých oblastech dochází dříve k plnému olistění a k nástupu jednotlivých fenofází, tudíž je na křivce odrazivosti patrný větší vliv vícečetného buněčného odrazu. Žluté a zelené pigmenty v rostlině pohlcují záření na stejných vlnových délkách a zbarvení závisí na převládajícím pigmentu. Vyšší odrazivost, naměřenou mezi 5. a 8. spektrálním pásmem MERIS, v teplé klimatické oblasti způsobuje tedy pravděpodobně charakteristické žluté květenství řepky, jehož žluté pigmenty propouští záření na vlnových délkách 0,578 - 0,592 μm . Díky této vlastnosti jsou žlutá pole řepky olejky lehce identifikovatelná i na snímcích v pravých barvách. V chladné klimatické oblasti není květenství řepky na počátku května ještě plně vyvinuto, tudíž má na průběh křivky vliv stále pouze chlorofyl obsažený v listech rostliny a odrazivost mezi vlnovými délkami 0,555 a 0,685 μm je podstatně nižší než v teplé oblasti.

Na Obr. 23 jsou znázorněny hodnoty vegetačních indexů a ukazatelů pro jednotlivé klimatické oblasti. Jsou zde prezentovány hodnoty za stejné lokality jako v předešlé analýze spektrálních křivek. I zde lze částečně vypořádat závislost na klimatické oblasti, není ovšem již tak zřetelná a dochází k častějšímu prolínání a nezávislosti. Závislost hodnot vegetačních indexů na klimatické oblasti je zřetelnější pouze pro lesní plochy a chladnou oblast. Chladná oblast představuje převážně horské regiony s vyšší nadmořskou výškou, kde v první polovině května jsou tyto oblasti často ještě pokryty sněhem nebo je vegetace teprve na počátku svého vývoje, což se odráží např. v prokazatelně nižších hodnotách listového indexu LAI u listnatých lesů. Pro řepku olejku závislost prokazatelná není.

Obr. 23: Vliv klimatické oblasti na hodnoty vegetačních ukazatelů 3. května 2009
brukev řepka olejka: listnatý les:



Zdroj: Vlastní výstup

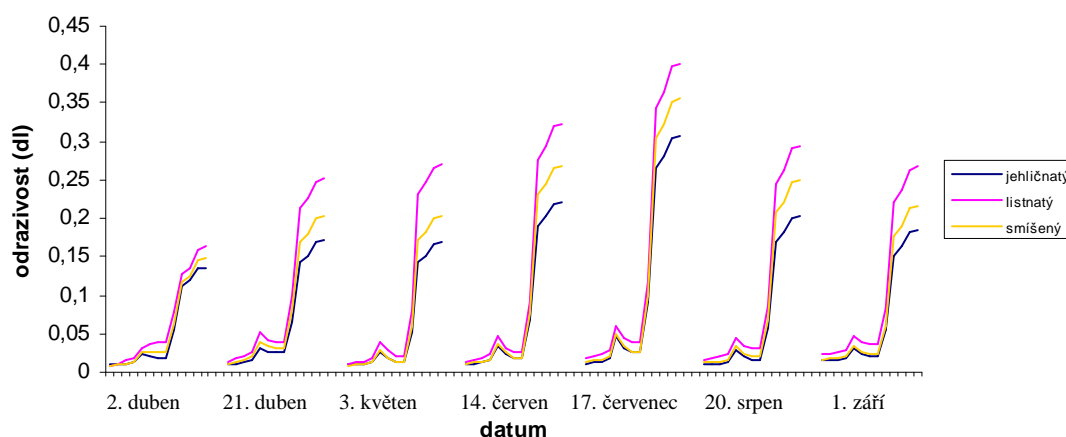
Díky nižší závislosti až nezávislosti hodnot vegetačních indexů a ukazatelů na klimatické oblasti je vhodné tyto indexy využít pro klasifikace vegetačního pokryvu větších územních celků, které jsou značně heterogenní a spektrální odrazivosti pro stejné vegetační typy vlivem klimatické oblasti značně kolísají.

Temporální analýza spektrálních křivek odrazivosti vegetace

V této části práce bylo hodnoceno spektrální chování vegetace (odrazivost) v průběhu roku na základě jejího spektrálního chování. Vstupem pro analýzy byly průměrné hodnoty odrazivosti zjišťované pod maskami jednotlivých sledovaných vegetačních povrchů.

Na Obr. 24 je znázorněn časový průběh spektrální křivky odrazivosti lesních ploch pro sedm časových horizontů a na Obr. 25 časový průběh spektrální křivky odrazivosti vybraných ploch zemědělského půdního fondu pro stejné časové horizonty.

Obr. 24: Časový průběh spektrální odrazivosti lesních ploch



Zdroj: Vlastní výstup

Průměrná odrazivost zde prezentovaná je brána jako modelová za celé území ČR a zachycuje obecné trendy ve vývoji vegetační složky krajiny. Pro klasifikaci na základě určení prahových hodnot ovšem nelze tyto křivky použít, jelikož pro každou klimatickou oblast v ČR křivky značně kolísají (viz Obr. 22) a je tedy nutné provést detailnější analýzy pro každou oblast zvlášť. Nicméně znalost průběhu těchto modelových křivek lze využít například pro klasifikaci základních kategorií: lesních ploch, vzrostlých zemědělských plodin a holou půdu.

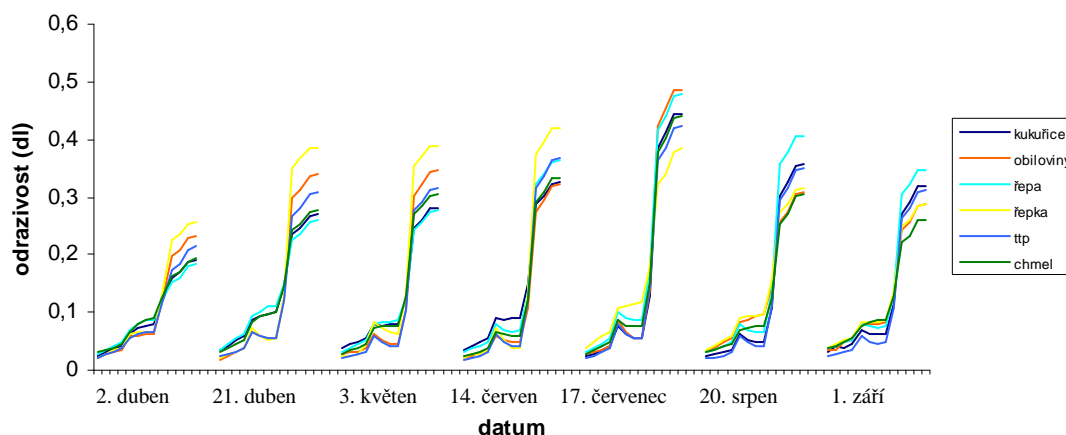
Lesní plochy

Pro lesní plochy je typická podstatně nižší odrazivost v blízké infračervené části spektra než u ostatní vegetace. Tento trend je patrný ve všech časových obdobích.

Na začátku dubna vykazují lesní plochy vcelku jednotnou odrazivost - rozdíly ve spektrální odrazivosti jehličnatého a listnatého lesa jsou více patrné pouze v červené části spektra, kde se u listnatých porostů na odrazivosti značnou měrou podílí i holá půda. Listnaté lesy v tomto období ještě nejsou olistěny a nedochází tak k pohlcování záření chlorofylem. Tento fakt potvrzuje i index LAIxCab (Obr. 26), který reflektuje množství chlorofylu v rostlině a v dubnu je u listnatých porostů téměř o polovinu menší než u jehličnatých porostů. Koncem dubna jsou již listnaté stromy více olistěny, což se projeví vyšším pohlcováním chlorofylu v červené

oblasti záření a nárůstem odrazivosti v blízké infračervené oblasti, kde dochází k vícečetnému odrazu na buňkách listu. U jehličnanů je vliv vícečetného odrazu menší z důvodu odlišné morfologické struktury jehlic.

Obr. 25: Časový průběh spektrální odrazivosti zemědělských ploch



Zdroj: Vlastní výstup

Zemědělský půdní fond

Z terénních šetření SZIF bylo pro rok 2009 získáno dostatek referenčních dat pouze pro kategorie kukuřice, obiloviny, řepu, řepku olejků, trvalé travní porosty a chmel. Vývoj jednotlivých plodin v průběhu roku je prezentován na Obr. 25 a detailněji v Příloze 1. V dubnu se na polích vyskytuje převážně ozimá řepka olejků a ozimé obiloviny, jejichž spektrální křivka odrazivosti vykazuje charakteristické rysy vegetace - pohlcování chlorofylem v R a vyšší odrazivost v NIR. Pole s jarními a letními plodinami (kukuřice a řepa) jsou v tomto období bez vegetace a spektrální křivka tedy prezentuje holou půdu. Časový průběh spektrální odrazivosti trvalých travních porostů nevykazuje významné rozdíly - je zde pouze nepatrný nárůst odrazivosti v NIR v letních měsících, kdy je vegetace celkově vitálnější. V červenci je z křivek odrazivosti patrná vegetace na polích s kukuřicí a řepou, naopak ozimá řepka se v tomto období již sklízí a na odrazivosti se tudíž podílí převážně holá půda.

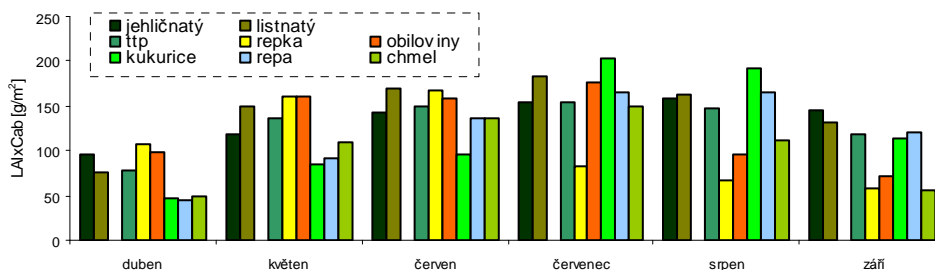
Temporální analýza chování vegetace pomocí vegetačních indexů

Stejně jako v předešlé analýze spektrálních křivek odrazivosti vegetace byla i pro tuto část práce využita data za celé území ČR a výsledky prezentují obecné trendy v chování vegetace.

Na Obr. 26 je znázorněn časový průběh vegetačního ukazatele LAIxCab, který koreluje s množstvím listové plochy a s chlorofylem a, b v rostlině. Z prezentovaného grafu lze stanovit fenologické fáze vývoje jednotlivých vegetačních povrchů (viz Obr. 27) a určit období zralosti (maturity) rostliny. Porovnáním s literaturou (AURDAL ... [ET AL.], 2005, ZHANG ... [ET AL.], 2002) bylo stanoveno období maturity pro kukuřici, cukrovou řepu, brkev řepku olejků,

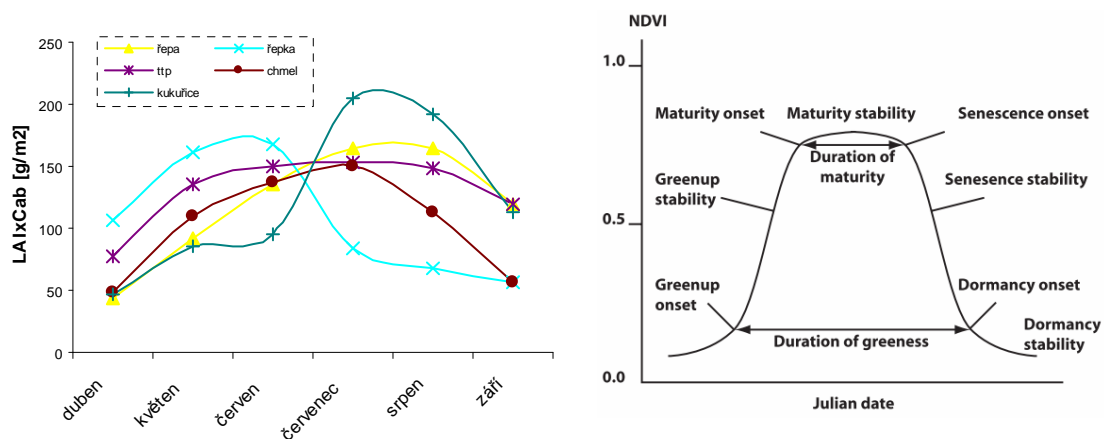
trvalé travní porosty a chmel. Autoři prezentují jednotlivé fenofáze na průběhu křivky indexu NDVI, nicméně tato obecná křivka je použitelná pro časový průběh všech vegetačních indexů.

Obr. 26: Časový průběh vegetačního ukazatele LAIxCab



Zdroj: Vlastní výstup

Obr. 27: Časový průběh vegetačního ukazatele LAIxCab a fenologické fáze vývoje



Zdroj: vlevo - vlastní výstup; vpravo - AURDAL, ... [ET AL.] (2005)

Křivka vývoje NDVI prezentující fenologické fáze vegetace na Obr. 27 vychází z práce ZHANG ... [ET AL.] (2002), který definuje jednotlivé fáze následovně:

- greenup - počátek fotosyntetické aktivity
- maturity - maximum listové plochy
- senescence - období, kdy fotosyntetická aktivita a listová plocha začínají prudce klesat
- dormancy - fotosyntetická aktivita se blíží nule

Pro tuto práci bylo stěžejní určit období maturity, kdy je rostlina ve vegetačním maximu a na družicových snímcích se jeví nejvýrazněji a její určení je tedy nejjednodušší.

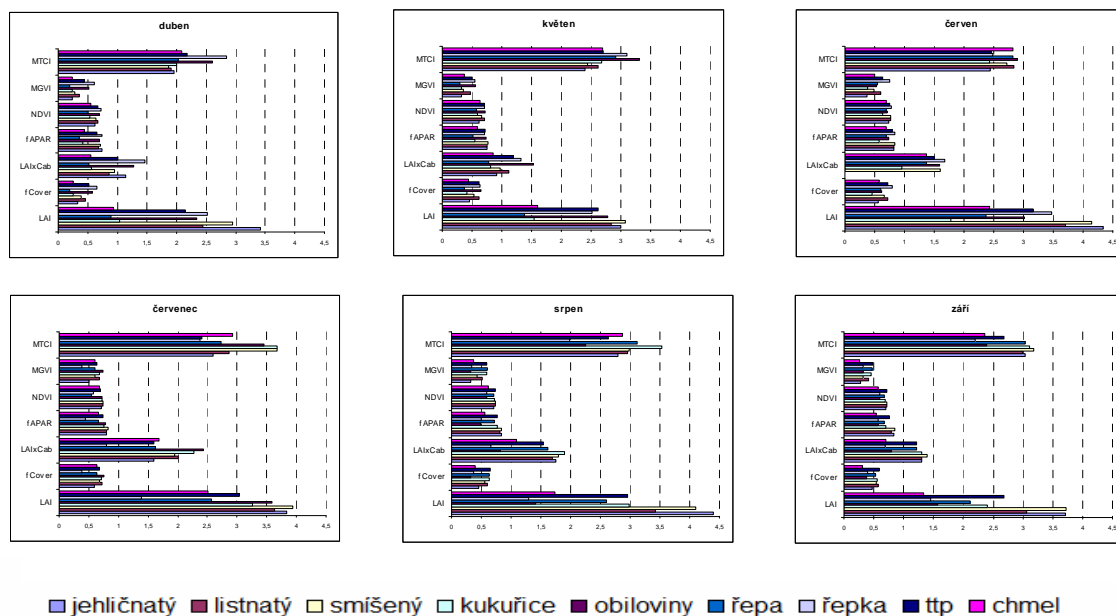
Z Obr. 27 je patrné, že plodina s nejvyšší hodnotou LAIxCab v dubnu je brukev řepka olejka. Tato plodina dosahuje podle časového vývoje ukazatele LAIxCab období maturity koncem května. Na květnových snímcích by tedy měla být řepka na zemědělské půdě výraznější, tedy lépe klasifikovatelná. Podobných hodnot LAIxCab dosahují v průběhu dubna a

května i zimní obiloviny (viz Obr. 26), které mají ale podstatně nižší odrazivost na vlnových délkách 0,7 - 0,9 μm (viz Obr. 25), tzn. v blízké infračervené části spektra, a tuto spektrální vlastnost lze tedy využít k rozlišení těchto dvou typů plodin.

Trvalé travní porosty mají podle LAIxCab poměrně stabilní vývoj bez výrazných maxim a minim, stejně tak cukrová řepa a chmel mají vcelku plynulý průběh (postupný nárůst a postupný pokles) jednotlivých fenologických fází. Chmel má období maturity v červenci, cukrová řepa počátkem srpna. Kukuřice má specifický fenologický vývoj. U kukuřice dochází během června a července k obrovskému nárůstu listové plochy a maxima dosahuje koncem července a začátkem srpna.

Na následujícím Obr. 28 (a detailněji v Příloze 2) je znázorněn kompletní přehled sledovaných vegetačních indexů v průběhu roku.

Obr. 28: Vývoj hodnot vegetačních indexů



Zdroj: Vlastní výstup

Z prezentovaných hodnot vegetačních indexů lze vysledovat důležité etapy ve vývoji vegetace. Z indexu MTCI je např. pro kukuřici patrný značný nárůst hodnot vlivem zvyšujícího se obsahu chlorofylu v rostlině od dubna až do maxima, které dosahuje v červenci. Poté již rostlina přechází do období senescence, kdy kukuřice dozrává a nevykazuje již tak značnou fotosyntetickou aktivitu. Nižší fotosyntetickou aktivitu lze vypočítat i z hodnot indexu fAPAR, které jsou v průběhu srpna a září již nižší než v červenci. Všechny vypočtené vegetační indexy spolu úzce korelují - i index fCover, který reflektuje množství zeleného pokryvu, vykazuje stejný průběh jako již zmíněné MTCI a fAPAR. Hodnoty indexů pro všechny sledované plodiny stále kopírují stejnou křivku (viz Obr. 27).

Klasifikace LSU a prahování histogramů vegetačních indexů

Klasifikace metodou LSU je značně závislá na počtu a typu vybraných endmembers. Při volbě většího množství endmembers s podobným spektrálním projevem dochází často k mixování a záměně jednotlivých kategorií. I přesto ale podává klasifikace metodou LSU pro některé kategorie poměrně dobré výsledky (viz Tab. 5) Přesnost klasifikace LSU lze výrazně zlepšit vstupem hodnot vegetačních indexů.

Tab. 5 zachycuje srovnání dvou metod klasifikací - klasifikace LSU s 6 zadanými endmembers, klasifikaci metodou prahování histogramů VI a klasifikace LSU se 3 endmembers a s využitím prahování histogramů VI. Pro hodnocení přesnosti bylo v této části práce využito snímku z 8. září 2009 a jako referenční data byla použita databáze GlobCover. Na tomto místě je ovšem nutné poznamenat, že podle studie GLOBCOVER: PRODUCTS DESCRIPTION AND VALIDATION REPORT (ESA, 2008a) vycházela přesnost klasifikace GlobCover při testování na pouhých 67,10 %. V případě srovnání vytvořených klasifikací s databází GlobCover se tento fakt musí brát v potaz.

Tab. 5: Chybové matice a přesnost použitých klasifikačních metod

referenční data klasifikace	Linear Spectral Unmixing						Vegetační indexy						LSU + VI					
	jehlíčný les	listnatý les	travní porosty	orná půda	celkem	uživatelská přesnost (%)	jehlíčný les	listnatý les	travní porosty	orná půda	celkem	uživatelská přesnost (%)	jehlíčný les	listnatý les	travní porosty	orná půda	celkem	přesnost (%)
jehlíčný les	11	6	2	5	24	45,83	16	3	0	2	21	76,19	18	0	0	2	20	90,00
listnatý les	0	12	7	4	23	52,17	2	13	0	0	15	86,67	0	16	0	0	16	100,00
travní porosty	0	1	5	4	10	50,00	0	3	17	23	43	39,53	0	4	19	27	50	38,00
orná půda	7	4	24	107	142	75,35	0	4	21	95	120	79,17	0	3	19	91	113	80,53
no data	0	0	0	1	1	-	0	0	0	1	1	-	0	0	0	1	1	-
celkem	18	23	38	121	200	-	18	23	38	121	200	-	18	23	38	121	200	-
produkční přesnost (%)	61,111	52,174	13,158	88,43	-	67,50 %	88,889	56,522	42,105	78,512	-	70,50 %	100	69,565	75,207	50	-	72,00 %

Pozn.: LSU - linear spectral unmixing, VI - vegetační indexy

Zdroj: Vlastní výstup

Z Tab. 5 je patrné, že samotná klasifikace LSU nepodává špatné výsledky (celková přesnost klasifikace při porovnání s daty GlobCover činí 67,5 %). Avšak, v porovnání s klasifikací vzniklou s využitím vegetačních indexů se jeví jako méně přesná. Při zapojení vegetačních indexů do klasifikace se přesnost vylepšuje na 70 %. V případě obou metod shledávám největší problém při klasifikaci travních porostů, kde dochází k časté záměně za jiné kategorie - především ornou půdu, jelikož travní porosty mají velmi podobný průběh spektrální křivky odrazivosti jako např. středně vzrostlé plodiny na orné půdě. Z toho důvodu také klasifikace LSU přiřadí většinu travních porostů do kategorie orné půdy a jako travní porosty je klasifikována jen malá plocha z ČR. Jako jedno z řešení pro zlepšení přesnosti klasifikace senabízí propojení těchto dvou metod (viz metoda LSU + VI). Při kombinaci metod LSU a metody prahování VI jsem použila LSU s 3 endmembers pro předklasifikaci a jednotlivé kategorie poté klasifikovala pomocí prahování VI podle vlastního klasifikačního schématu

(Obr. 20). Přesnost klasifikace se zvýšila na 72 %. Nicméně klasifikace travních porostů ani při této metodě stále nedosahuje uspokojivých výsledků. Pro zlepšení přesnosti využívám v další části práce temporálních příznaků (viz dále).

Jelikož je databáze GlobCover vytvořena také ze snímků MERIS, předpokládala jsem větší shodnost klasifikace LSU+VI než 70 % při porovnání s daty GlobCover. Z toho důvodu byla spolehlivost výsledků ověřena i porovnáním přesnosti klasifikace GlobCover s databází CLC06 (Tab. 6).

Tab. 6: Chybové matice a přesnost klasifikace GlobCover a LSU+VI

referenční data klasifikace	GlobCover					uživatelská přesnost (%)	LSU+VI					uživatelská přesnost (%)
	jehličnatý les	listnatý les	travní porosty	orná půda	celkem		jehličnatý les	listnatý les	travní porosty	orná půda	celkem	
jehličnatý les	15	1	2	0	18	83,33	15	1	2	2	20	75,00
listnatý les	0	16	3	6	25	64,00	0	16	0	0	16	100
travní porosty	0	0	25	13	38	65,79	0	0	26	24	50	52,00
orná půda	0	0	14	105	119	88,24	0	0	15	98	113	86,73
no data	0	0	0	0	0	-	0	0	1	0	1	-
celkem	15	17	44	124	200	-	15	17	44	124	200	-
produkční přesnost (%)	100	94,12	56,82	84,68	-	80,50 %	100	94,12	59,09	79,03	-	77,50 %

Zdroj: vlastní výstup

Při porovnání přesnosti databáze GlobCover s databází CLC06 vyšla přesnost klasifikace 80,5 %, jedná se tedy o vcelku kvalitní klasifikaci. Přesnost klasifikace LSU+VI při porovnání s daty CLC06 vyšla 77,50 %, což je také uspokojivá přesnost. Zásadní rozdíl se projevil v klasifikaci listnatých lesů, kde klasifikace LSU+VI dosahuje uživatelské přesnosti 100 % zatímco GlobCover pouze 64 %. Je tedy patrné, že zvolená klasifikace LSU+VI dokáže spolehlivěji odlišit lesní plochy od plodin na orné půdě než klasifikace GlobCover. Klasifikace jehličnatých lesů je poměrně přesná v obou případech.

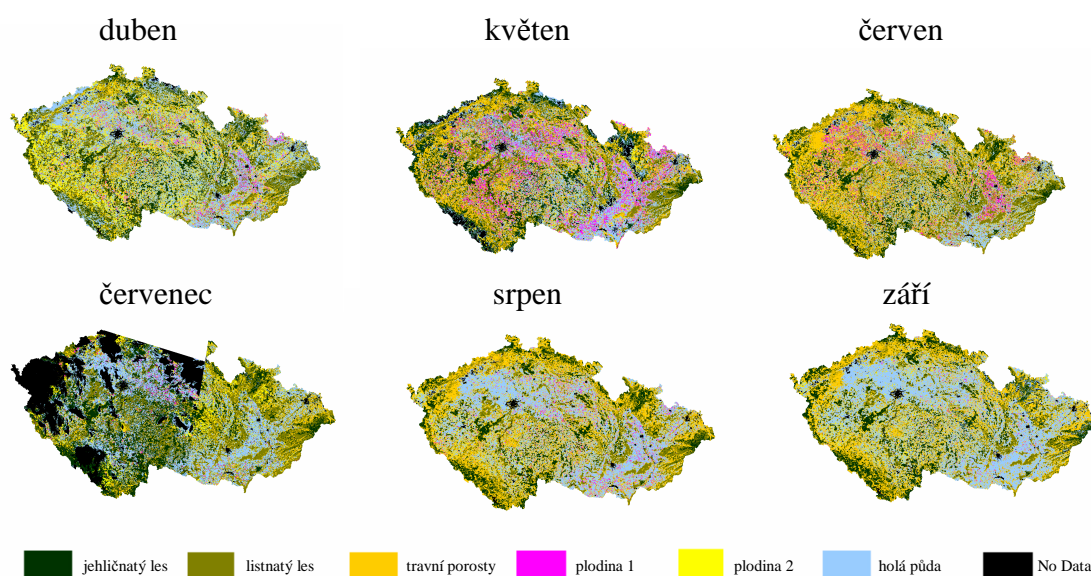
V této části práce byly hodnoceny pouze přesnosti pro 4 hlavní klasifikované kategorie, neboť detailnější členění ZPF databáze GlobCover ani databáze CLC06 neobsahují. Jelikož se nepředpokládá zásadní změna v rozlohách a rozmístěních těchto základních kategorií, volba referenčního roku 2006 by vypočtenou přesnost klasifikace LSU+VI neměla ovlivnit.

Poté byl vytvořen klasifikační postup (Obr. 20), který byl aplikován na všechny časové horizonty. Výsledkem jsou mapy vegetačního pokryvu za jednotlivé měsíce. V případě května a července byla vytvořena mozaika ze dvou časových horizontů, jelikož nebyl k dispozici bezoblačný snímek celé ČR. V případě července jsou na mapě zobrazena černá místa, která představují místa bez dat (No Data) - místa s oblačností. Bohužel, i přes vysoké časové rozlišení dat MERIS nebyl za červenec 2009 k dispozici lepší snímek. Zobrazené mapové výstupy jsou v menším měřítku, s legendou a s dalšími náležitostmi kartografického díla součástí příloh (Příloha 3). Na Obr. 29 jsou prezentovány pouze ilustrativní náhledy.

Při porovnání dílčích klasifikací (měsíčních klasifikací) je na první pohled patrné vyšší zastoupení vzrostlých zemědělských plodiny v měsíci květnu, kde kategorie plodiny 1 představuje zimní plodiny. Stejně tak v červnu je celá ČR pokryta hustou vegetací a podíl

holých ploch je poměrně nízký. Holá půda se v červnu vyskytuje pouze v oblasti Středolabské tabule a Dolnomoravského úvalu, v nichž se pěstuje převážně zelenina, která vzrůstá až v pozdějších měsících roku. V srpnu je v Polabí a na jižní Moravě zřetelný nárůst letních plodin, jako jsou např. kukuřice a cukrová řepa, zatímco zimní a jarní plodiny, které zde byly v květnu a červnu, jsou již sklizené a v prezentovaných mapách je vyšší zastoupení holé půdy. Listnaté i jehličnaté lesy jsou ve všech časových horizontech klasifikovány přibližně stejně. Vytvořené mapy tedy vhodně zachycují geografické rozmištnění jednotlivých klasifikovaných kategorií a v případě zemědělských ploch i jejich vývoj.

Obr. 29: Klasifikace vegetačního pokryvu - pro jednotlivé měsíce



Zdroj: Vlastní výstup

Dosažená celková přesnost měsíčních klasifikací je znázorněna v Tab. 7 a pohybuje se okolo 70 %. Nejpřesněji byly opět klasifikovány listnaté lesní porosty, které např. v srpnu a září dosahují uživatelské přesnosti 100 %. Jehličnaté lesy mají nejvyšší přesnost v dubnu, a to celých 90,91 %. V ostatních měsících je přesnost o něco nižší, nicméně stále dosahuje ve všech případech přes 75 %. Orná půda je klasifikována také spolehlivě s uživatelskou přesností přes 80 %.

Nejhoršího výsledku dosáhla klasifikace z července, která činí pouhých 53,50 %. V tomto případě výslednou přesnost značně snižuje množství neklasifikovaných pixelů - tzn. pixelů pod oblačností, které spadají do kategorie No Data. Pokud by ovšem do klasifikace body pod oblačností zahrnuté nebyly, výsledná přesnost by odpovídala 66,46 %. Všechny klasifikace tedy vykazují přibližně stejné přesnosti v jednotlivých měsících.

Nejnižší přesnost má opět ve všech sledovaných časových horizontech kategorie travní porosty, která je často zaměněna za kategorii orná půda. Nejvíce patrný je tento jev na klasifikaci z června, kdy bylo složité travní porosty a odrůstající zimní plodiny rozlišit.

Tab. 7: Chybové matice a přesnost dílčích klasifikací

referenční data klasifikace	duben						květen						červen					
	jehličnatý les	listnatý les	travní porosty	orná půda	celkem	uživatelská přesnost (%)	jehličnatý les	listnatý les	travní porosty	orná půda	celkem	uživatelská přesnost (%)	jehličnatý les	listnatý les	travní porosty	orná půda	celkem	přesnost (%)
jehličnatý les	10	0	1	0	11	90,91	12	1	1	2	16	75,00	14	1	2	0	17	82,35
listnatý les	5	16	3	5	29	55,17	0	13	1	7	21	61,90	1	16	1	11	29	55,17
travní porosty	0	1	18	18	37	48,65	0	2	30	19	51	58,82	0	0	27	47	74	36,49
orná půda	0	0	22	101	123	82,11	2	1	11	96	110	87,27	0	0	14	65	79	82,28
no data	0	0	0	0	0	-	1	0	1	0	2	-	0	0	0	1	1	-
celkem	15	17	44	124	200	-	15	17	44	124	200	-	15	17	44	124	200	-
produkční přesnost (%)	67,00	94,00	40,90	81,50	-	72,50 %	80,00	76,47	68,20	77,42	-	75,50 %	93,33	94,12	61,36	52,42	-	61,00 %

referenční data klasifikace	červenec						srpen						září					
	jehličnatý les	listnatý les	travní porosty	orná půda	celkem	uživatelská přesnost (%)	jehličnatý les	listnatý les	travní porosty	orná půda	celkem	uživatelská přesnost (%)	jehličnatý les	listnatý les	travní porosty	orná půda	celkem	přesnost (%)
jehličnatý les	13	2	2	14	31	41,94	15	1	2	1	19	78,95	15	1	2	2	20	75,00
listnatý les	0	14	6	5	25	56	0	16	0	0	16	100	0	16	0	0	16	100
travní porosty	0	0	9	10	19	47,37	0	0	32	24	56	57,14	0	0	26	24	50	52,00
orná půda	0	0	15	71	86	82,56	0	0	10	99	109	90,83	0	0	15	98	113	86,73
no data	2	1	12	24	39	-	0	0	0	0	0	-	0	0	1	0	1	-
celkem	15	17	44	124	200	-	15	17	44	124	200	-	15	17	44	124	200	-
produkční přesnost (%)	86,67	82,35	20,45	57,26	-	53,50 %	100	94,12	72,70	79,84	-	81,00 %	100	94,12	59,09	79,03	-	77,50 %

Zdroj: Vlastní výstup

Klasifikace s využitím temporálních příznaků

Pro vytvoření výsledné mapy vegetačního pokryvu ČR za rok 2009 bylo využito dílčích klasifikací vytvořených v předešlé části práce, ze kterých byla pomocí podmínek v EASI Modelingu v PCI Geomatica vytvořena finální klasifikace s celkovou přesností 63,35 %.

V Tab. 8 je vypočtena chybová matice a přesnost jednotlivých klasifikovaných kategorií podle referenčních dat LPIS, SZIF a CLC06.

Tab. 8: Chybová matice a přesnost výsledné klasifikace

referenční data klasifikace	jehličnatý les	listnatý les	travní porosty	řepka olejka	zimní plodiny	jarní plodiny	letní plodiny	ostatní plodiny	celkem	uživatelská přesnost (%)
jehličnatý les	21	1	0	0	0	0	0	0	22	94,45
listnatý les	4	22	1	0	0	0	1	1	29	75,86
travní porosty	0	1	22	1	3	0	0	1	28	78,57
řepka olejka	0	0	1	15	0	0	3	0	19	78,95
zimní plodiny	0	0	0	8	5	0	1	0	14	35,71
jarní plodiny	0	0	0	0	6	0	0	1	7	0,00
letní plodiny	0	0	0	0	0	1	11	0	12	91,67
ostatní plodiny	0	1	1	1	7	2	10	6	28	21,43
no data	0	0	0	0	1	0	1	0	2	-
celkem	25	25	25	25	22	3	27	9	161	-
produkční přesnost (%)	84,00	88,00	88,00	60,00	22,73	0,00	40,74	66,67	-	63,35 %

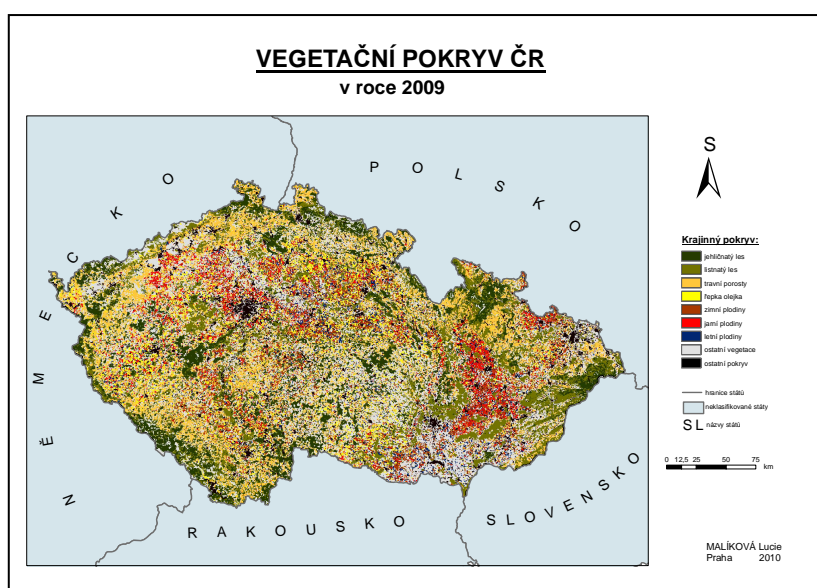
Zdroj: Vlastní výstup

Nejpřesněji byly klasifikovány kategorie jehličnatý les a jarní plodiny, které dosahují uživatelské přesnosti přes 90 %. Záměna těchto ploch za jiné kategorie je tedy ve vytvořené databázi minimální. Kategorie listnatý les, travní porosty a řepka olejka byly určeny také velmi

úspěšně a dosahují přesnosti přes 75 %. V těchto kategoriích je ovšem již větší pravděpodobnost záměny za jinou kategorii. V klasifikaci dochází k občasné záměně kategorie listnatý les místo jehličnatého, travní porosty místo zimních plodin a řepka olejka místo letních plodin.

Finálním výstupem této práce je databáze vegetačního pokryvu ČR ve formátu *.pix, která je součástí Příloh (Příloha 6). Tato databáze je zde prezentovaná ve formě mapového díla (Mapa 1, Příloha 5). Pro vizualizaci byla provedena filtrace obrazu v PCI Geomatica pomocí nástroje SIEVE, který odfiltroval shluky menší než 2 pixely.

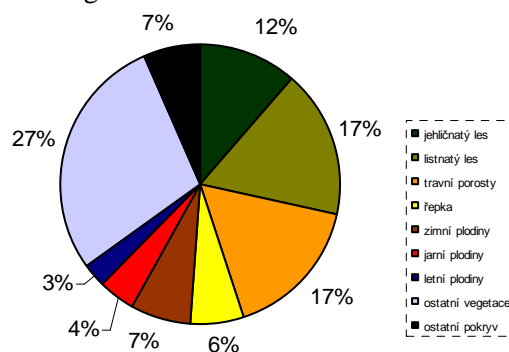
Mapa 1: Vegetační pokryv ČR v roce 2009



Zdroj: Vlastní výstup

Z vytvořené databáze lze vhodně provádět další analýzy - příkladem můžem být výpočet podílu jednotlivých kategorií (plodin) na rozloze ČR (viz Graf 1).

Graf 1: Podíl klasifikovaných kategorií na rozloze ČR v roce 2009



Zdroj: Vlastní výstup

KAPITOLA 6

Diskuze k výsledkům práce

V prezentované diplomové práci byly zkoumány možnosti využití multitemporálních dat MERIS pro sledování spektrálních vlastností vegetace. Současně byl navržen metodický postup pro zpracování těchto dat a pro průběžné sledování spektrálních vlastností krajinných prvků. Z výsledků dílčích analýz byla v závěru práce vytvořena databáze vegetačního pokryvu ČR pro rok 2009. V této kapitole jsou dosažené výsledky diskutovány a porovnány s dostupnou literaturou využívající družicových dat MERIS.

Při multitemporální analýze spektrálního chování a sledování změn průběhu spektrálních křivek hraje klíčovou roli přesnost provedené atmosférické korekce. Aby bylo možné stanovit obecné závěry chování vegetace, musí být z dat odstraněn vliv atmosféry, který je v čase značně proměnlivý. V této práci byl použit pro atmosférickou korekci model SMAC implementovaný v SW BEAM, který vyžaduje pouze zadání hodnot atmosférických aerosolů ze dne pořízení snímku. Hodnoty pro ozon, tlak a vodní vláhu dopočte SW z pomocných dat produktu MERIS 1P automaticky. Nicméně, zadání jedné průměrné hodnoty pro celé území ČR nemusí být zcela korektní. Hodnoty atmosférických aerosolů se v závislosti na geografické poloze také liší a tuto metodu je tedy vhodnější použít pro menší a homogennější území. Bohužel, lepší metoda korekce pro data MERIS prozatím nebyla nalezena, avšak již existují návrhy (např. GUANTER, GÓMEZ-CHOVA, MOREN, 2008) na výpočet atmosférických charakteristik a spektrální odrazivosti povrchu přímo z dat MERIS (SCAPE-M). Při zkoumání radiometricky upravených křivek odrazivosti nebyly nalezeny výraznější systematické posuny hodnot.

Optická data negativně ovlivňuje přítomnost oblačnosti. Výraznější oblačnost byla odstraněna za použití nástroje Cloud Probability v SW BEAM, ovšem řídká oblačnost se nepodařilo v datech jednoznačně identifikovat a odstranit. Bylo by tedy vhodné ozkoušet např. algoritmus prezentovaný v ZELENKOVÁ (2008), kde autorka předkládá, že s využitím kombinace dat MERIS a (A)ATSR lze různé druhy oblaků spolehlivě detekovat.

Dalším tématem k diskuzi je přesnost automatické geometrické korekce v SW BEAM. Mezi jednotlivými snímky po korekci je patrný občasný posun (max. 1 px), který ale není systematický a nelze jednoduše odstranit. Bylo testováno vlíčování snímku podle známých

referenčních bodů, nicméně v 300m prostorovém rozlišení dat MERIS lze tyto body přesně identifikovat jen velmi obtížně a geometricky zpracovaný snímek poté vykazuje někdy i horší kvalitu než při použití automatické korekce v SW BEAM.

Vysoké časové rozlišení dat MERIS nabízí možnost využití těchto dat pro mapování zemědělských ploch. Podle BRODSKÝ ... [ET AL.] (2008) mají pole v ČR průměrně 12 ha a maximálně až k 300 ha. Struktura krajiny v ČR by tedy měla umožňovat použití těchto dat s 300m prostorovým rozlišením. Při použití pixelové klasifikace dochází ovšem k častému „rozsypaní“ obrazu, jelikož hodnoty odrazivosti mohou značně kolísat i v rámci jednoho pole. Pro mapování zemědělských plodin neshledávám tedy pixelovou klasifikaci jako příliš vhodnou. Dosažení lepších výsledků předpokládám při využití objektové klasifikace, kde bych jednotlivá pole vymezila podle LPIS. Nicméně, i při použití pixelové klasifikace dat MERIS lze získat kvalitní informaci o prostorovém rozmístění klasifikovaných kategorií.

BRODSKÝ ... [ET AL.] (2008) využívají pro klasifikaci zemědělských plodin ANN model s 68,1% přesností pro klasifikaci pěti typů plodin. Dosahují ovšem až 80% přesnosti pro zimní plodiny, které jinak v mé práci vykazují velmi nízkou přesnost. Nicméně např. klasifikace řepky dosahuje v obou pracích přesnosti přes 70 %. Nižší přesnost mé klasifikace může být dána i menším množstvím referenčních dat pro zimní a jarní plodiny. Obtížně tak šlo prozkoumat spektrální chování v čase a určit nejvhodnější období pro klasifikaci těchto plodin. Přesnost výsledné klasifikace patrně také značně snižuje existence pouze jednoho bezoblačného snímku pro červen a v podstatě žádného pro červenec.

Využití dat LPIS, doplněných o informace ohledně pěstované kultury z terénních šetření SZIFu, jako dat referenčních považuji pro tuto práci za vhodné, snadno dostupné a inovativní řešení. Nicméně, z rozsáhlého souboru cca 3000 dílčích půdních bloků s informacemi o pěstované kultuře jich poměrně málo dosahovalo rozloh vhodných pro mapování z dat MERIS (tzn. rozloha přes 81 ha). Data LPIS jsou tedy vhodnější spíše pro obrazová data s vysokou a velmi vysokou prostorovou rozlišovací schopností. Při práci s daty MERIS by bylo pravděpodobně vhodnější podle LPIS pouze vytipovat vhodná (dostatečně velká) pole, která by pak byla průběžně sledována vlastním terénním průzkumem.

Součástí práce měla být i databáze dat MERIS na KAGIK. Tento dílčí cíl nebyl v průběhu práce detailněji rozebrán. Databáze byla vytvořena pouze pro vlastní použití, jelikož v letošním roce byla společností Gisat spuštěna aplikace SMUS, která zdarma nabízí prohlížení a nahrávání dat MERIS z katalogu firmy pro širokou veřejnost, tedy i pro KAGIK. Aplikace obsahuje množství metadat a možnost vyhledávání dat i podle atributu maximální oblačnosti nad ČR, což je oproti jiným online katalogům velká výhoda.

KAPITOLA 7

Závěr

V této práci byl zkoumán potenciál dat MERIS pro průběžné sledování spektrálního chování vegetace a pro tvorbu databáze krajinného pokryvu ČR. Výhodou dat z tohoto senzoru je jeho vysoké temporální a spektrální rozlišení, které nabízí snímky celé Země s 3denním opakováním a nové spektrální pásmo „red edge“, které představuje značný posun v mapování vegetace.

V první části práce byla zkoumána dostupnost dat a možnosti jejich zpracování. Pro data MERIS bylo pro vegetační období duben - září 2009 k dispozici zhruba 15 kvalitních snímků území ČR, které obsahovaly nízké procento oblačnosti a šly tedy vhodně zkombinovat pro pozorování vývoje vegetace a jejích spektrálních vlastností v každém měsíci. Díky tomuto rozsáhlému souboru dat je možné např. podle vegetačních indexů určovat jednotlivé fenologické fáze vegetace. V této práci byl pro určení fenofáze využit ukazatel LAIxCab, který reflektuje množství listové plochy a obsah chlorofylu v rostlině a s jeho využitím bylo vcelku vhodně určeno období maturity pro brukev řepku olejku, kukuřici a cukrovou řepu. Další sledované typy vegetace (chmel a travní porosty) se v krajině vyskytují po celé sledované období a mají tedy nevýrazný průběh hodnot LAIxCab v čase a určení fenofází této vegetace je nejednoznačné.

Zpracování dat probíhalo v SW BEAM, který nabízí kompletní předzpracování dat, rozsáhlé statistické výpočty i následné klasifikace. Pomocí statistických nástrojů SW BEAM a s využitím masek pro sledované vegetační povrchy byla pro každý měsíc a každý sledovaný vegetační povrch vytvořena charakteristická spektrální křivka odrazivosti, z jejíhož průběhu v čase lze vytipovat období vhodné pro mapování. Prakticky byla ozkoušena klasifikace LSU a klasifikace metodou prahování histogramů vegetačních indexů.

Při klasifikaci pouze 4 vegetačních typů (jehličnatý les, listnatý les, travní porosty, orná půda) dosahují měsíční klasifikace přesnosti přes 70 %.

Využitím temporálních příznaků a kombinací jednotlivých měsíčních klasifikací byla vytvořena databáze vegetačního pokryvu ČR za rok 2009, která obsahuje 9 kategorií (jehličnatý les, listnatý les, travní porosty, brukev řepka olejka, zimní plodiny, jarní plodiny, letní plodiny, ostatní plodiny, ostatní povrchy). Celková přesnost vzniklé databáze dosahuje 63,35 %.

Data MERIS lze tedy využít pro sledování spektrálních charakteristik vegetace i pro tvorbu

databáze krajinného pokryvu. Avšak, pokud bychom chtěli dosáhnout lepších výsledků klasifikace, bylo by zapotřebí většího množství referenčních dat např. z vlastního terénního průzkumu, kde by šlo poté sledovat průběžně i aktuální stav vegetace a vliv na spektrální odrazivost.

Tato práce by měla sloužit jako příklad, základ a teoreticko-praktický návod pro další a častější využívání dat MERIS. Z vytvořených klasifikací lze zjišťovat rozlohu a geografické rozmístění klasifikovaných kategorií, kontrolovat např. těžbu dřeva či při hlubších analýzách a propojení databáze s údaji o úrodnosti půdy stanovit i odhady produkce pro řepku olejku.

SEZNAM ZDROJŮ INFORMACÍ

Literatura

- AURDAL, L. R. B. H., VIKHAMAR, D., SOLBERG, A. (2005): *Use of hidden Markov models and phenology for multitemporal satellite image classification: applications to mountain vegetation classification* [online]. [cit. 2009-12-04]. Dostupné z URL: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.132.2199&rep=rep1&type=pdf>>
- BANNARI, A. ... [ET AL.] (1995): *A review of vegetation indices. Remote Sensing Review*, 1995, Vol. 13, pp. 95 - 120.
- BARET, F. ... [ET AL.] (2006): *Algorithm Theoretical Basis Document for MERIS Top of Atmosphere Land Products*. Contract ESA AO/1-4233/02/I-LG. [cit. 2010-04-30] Dostupné z URL: <http://www.brockmann-consult.de/beam/software/plugins/toaveg-1.1.0/MERIS_ATBD_TOA_VEG_03_06.pdf>
- BBCH MONOGRAPH (2001): *Growth stages of mono-and dicotyledonous plants*. Dostupné z URL: <http://www.jki.bund.de/fileadmin/dam_uploads/_veroeff/bbch/BBCH-Skala_englisch.pdf>
- BENHADJ, I. ... [ET AL.] (2007): *High Spatial and Temporal Resolution FORMOSAT-2 Images: First Results and Perspectives for Land Cover Mapping of Semi-arid Areas (Marrakech/AL Haouz plain)*. Fourth International Workshop on the Analysis of Multi-temporal Remote Sensing Images 18-20 July 2007, Leuven, Belgique. Dostupné z URL: <www.irrimed.org/overview/morocco/Multitemp_2007_Benhadj_2.pdf>
- BLAŽEK, P. (2008): *Současné změny v charakteru využití zemědělských ploch v Jihomoravském kraji*. Diplomová práce, Brno, Masarykova Univerzita, 63 s. Dostupné z URL: <is.muni.cz/th/73075/prif_m/Diplomova_prace.pdf>
- BONTEMPS, S. ... [ET AL.] (2009): *GlobCorine – A joint EEA-ESA project for operational land dynamics monitoring at pan-European scale*. [online] ESA, [cit. 2010-03-16]. Dostupné z URL: <dup.esrin.esa.it/files/project/131-176-149-30_2009113135142.pdf>

- BRODSKÝ, L. ... [ET AL.] (2008): *Supervised crop classification from middle-resolution multitemporal images*. Proc. od the 2nd MERIS/(A)ATSR User Workshop, Frascati, Italy. 22-26 September 2008 (ESA SP-666, November 2008)
- BROM, J. (2010): *Odhady biomasy a produkce pomocí dálkového průzkumu Země* [online]. České Budějovice, [cit. 2009-12-04]. Dostupné z URL: <<http://www.jbrom.wz.cz/vyuk/biomasa-DPZ.pdf>>
- CAMPBELL, J. B. (2002): *Introduction to remote sensing*, 3th edition. The Guilford Press, London. pp.620
- CURRAN, P. J., STEELE, C. M. (2004): *MERIS: the re-branding of an ocean sensor*. International Journal of Remote Sensing, Volume 26, Issue 9 May 2005, 1781 - 1798
- DASH, J., CURRAN, P. J. (2003): *The MERIS terrestrial chlorophyll index*. International Journal of Remote Sensing, 10 December, 2004, Vol. 25, No. 23, 5403–5413
- DASH, J. ... [ET AL.] (2005): *Land cover classification using multi-temporal MERIS vegetation indices*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 28, No. 6, 20 March 2007, 1137 - 1159
- DENTE, L. ... [ET AL.] (2006): *Assimilation of leaf area index derived from ASAR and MERIS data into CERES-Wheat model to map wheat yield*. Remote Sensing of Environment 112 (2008) pp. 1395–1407
- DOBROVOLNÝ, P. (1998): *Dálkový průzkum Země, digitální zpracování obrazu*. Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, katedra geografie. pp. 208
- ESA (2006): *MERIS Product Handbook*, Envisat MERIS Product Handbook, 1.1. European Space Agency, Paris.
- ESA (2008a): *GLOBCOVER: Products Description and Validation Report*, Dostupné z URL: <http://postel.mediasfrance.org/IMG/pdf/GLOBCOVER_Products_Description_Validation_Report_I2.1.pdf>
- ESA (2008b): *Training on MERIS data and BEAM-VISAT Application*. Prezentace ze semináře. Geneve 11.-12.12.2008. (materiál poskytl GISAT, s.r.o.)
- GHAFOURI, A. (2007?): *Evaluation of Endmembers Selection in Linear Spectral Unmixing*. [online], Faculty of Geodesy and Geomatics Eng, Iran. [cit. 2010-03-17] Dostupné z URL: <http://www.gisdevelopment.net/technology/ip/ma06_132.htm>
- GREEN, D. R. ... [ET AL.] (1993): *A methodology for acquiring information on vegetation succession from remotely sensed imagery*, Landscape Ecology and GIS

- GUANTER, L., GÓMEZ-CHOVA, L., MORENO, J. (2008): *Coupled retrieval of aerosol optical thickness, columnar water vapor and surface reflectance maps from ENVISAT/MERIS data over land*. *Remote Sensing of Environment*, 112, 2898–2913.
- GUANTER, L., GONZÁLEZ-SANPEDRO, M., MORENO, J. (2007): *A method for atmospheric correction of ENVISAT/MERIS data over land targets*. *International Journal of Remote sensing*, Vol. 28, No. 3-4, February 2007, 709 - 728
- GUTMAN, G., IGNATOV, A. (1995): *Global land monitoring from AVHRR: potential and limitations*. *International Journal of Remote Sensing* Vol. 16, No.13, 1995, 2301 – 2309
- HOLBEN, B.N. ... [ET AL.] (1998): *AERONET — A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization*. *Remote Sensing of Environment* Vol. 66, 1998, 1–16
- HONKOVÁ, M. (2008): *Mapování vegetace s využitím spektrálních indexů*. Diplomová práce. Brno. Masarykova Univerzita, Přírodovědecká fakulta, Geografický ústav. 94 s.
- JENSEN, J. R. (2006): *Remote sensing of the environment: An Earth resource perspective*. UpperSaddleRiver: Prentice-Hall, 544 p.
- JUNXIANG, L. ... [ET AL.] (2006): *Vegetation classification of East China with multi-temporal NOAA-AVHRR data*. *Front. Biol. China* (2006) 3, 303–309
- KOLÁŘ, J., HALOUNOVÁ, L., PAVELKA, K. (1997): *Dálkový průzkum Země 10*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 164 s.
- KUČERA, T. (1999): *Monitorování změn vegetace s využitím družicových snímků* [online], Praha, *Zprávy České Botanické Společnosti*, Mater. 17: 141-151, [cit. 2009-12-04]. Dostupné z URL: <www.usbe.cas.cz/people/kucera/LE/TEXTY/druzice.pdf>
- LILLESAND, T.M., KIEFER, R.W., CHIPMAN, J. W. (2004). *Remote sensing and image interpretation*, 5th USA: John Wiley & Sons, Inc. pp. 763
- LOVELAND T.R. ... [ET AL.] (1991): *Development of a land-cover characteristics database for the conterminous U. S.* *Photogrammetric Engineering Remote Sensing* 57: 1453–1463
- MATHIEU, R., ARYAL, J. (2005): *Object-oriented classification and Ikonos multispectral imagery for mapping vegetation communities in urban areas*. 17th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre (SIRC 2005: A Spatio-temporal Workshop), 24-25 November 2005, Dunedin, New Zealand, pp. 181-188

- METTERNICHT, G., HALLORAN, K., BALDACCHINO, C. (2007): *Applications of high resolution remote sensing imagery to precision crop and viticulture management*. Conference paper, 12th Congress of the Spanish Association of Remote Sensing Argentina, 19 September, 2007. Dostupné z URL: <http://cartography.tuwien.ac.at/ica/documents/ICC_proceedings/ICC2007/documents/doc/THEME%2011/Poster/Applications%20of%20high%20.doc>
- MORAVEC, D., VOTÝPKA, J. (1998): *Klimatická regionalizace České republiky*. Karolinum – nakladatelství Univerzity Karlovy, vydání 1, 87 s.
- MUCHER, C. A., BADTS, E. P. J. (2002): *Global Land Cover 2000: Evaluation of the SPOT VEGTATION sensor for land use mapping*. Wageningen, Alterra, Green World Research pp 49.
- PAVELKA, K. (1999): *Využití družicových dat pro monitorování stavu vegetace* [online]. Sborník referátů z konference GPS a GIS. Ostrava : 1999, s. 107 – 119, [cit. 2009-12-04]. Dostupné z URL: <http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_1999/sbornik/Pavelka/Pavelka.htm>
- PIVEC, J. (2006): *Porovnání klimatické regionalizace ČR podle Moravce – Votýpky (1998) a Quitta (1971)* [online]. [cit. 2010-02-22]. Dostupné z URL: <<http://search.seznam.cz/?sourceid=szn-HP&thru=&q=pivec+regionalizace>>
- QUITT, E. (1971): *Klimatické oblasti Československa*. Academia, *Studia Geographica* 16, GÚ ČSAV v Brně, 73 s
- RABINER, L. (1989): *A Tutorial on Hidden Markov-Models and Selected Applications in Speech Recognition*, Proceedings of the IEEE, vol. 77, no. 2, pp. 257 – 286, 1989
- RAHMAN, H., DEDIEU, G. (1993): *SMAC: a simplified method for the atmospheric correction of satellite measurements in the solar spectrum*. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, Vol. 15, No. 1, 123 - 143
- RAJAPAKSE, R. M. S. S., TRIPATHI, N. K., HONDA, K. (2001): *Spectral characterization and LAI modelling for the tea (Camellia sinensis (L.) O. Kuntze) canopy*. *International Journal of Remote Sensing*, Volume 23, Issue 18 September 2002 , pages 3569 - 3577
- RAMA-RAO, N. (2006): *Development of a crop-specific spectral library and discrimination of various agricultural crop varieties using hyperspectral imagery*. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 29, No. 1, 10 January 2008, 131–144
- SANTER, R. ... [ET AL.] (1996): *Atmospheric correction over land for MERIS*. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 20, No. 9, 1999, 1819 - 1840

- SCHULTHESS, U. ... [ET AL.] (2006): *Multi-temporal land-cover classification approach with new RapidEye Image data*. Proceedings of the 2nd Workshop of the EARSeL SIG on Land Use and Land Cover. Dostupné z URL: <www.zfl.uni-bonn.de/earsel/papers/330-335_schulthess.pdf>
- TRIEBNIG, G. ... [ET AL.] (2009): *SOSI Spatial Observation Services & Infrastructure*. Dostupné z URL: <<http://www.e-envi2009.org/presentations/S2/Triebnig.pdf>>
- VERBEIREN, S. ... [ET AL.] (2006): *Sub-pixel classification of SPOT-VEGETATION time series for the assessment of regional crop areas in Belgium*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Volume 10, Issue 4, December 2008, 486 - 497
- XIAO, X. ... [ET AL.] (2004): *Mapping paddy rice agriculture in southern China using multi-temporal MODIS images*. Remote Sensing of Environment, 95 (4), 2005, pp. 480 - 492
- YANG, CH. ... [ET AL.] (2006): *Using high resolution QuickBird imagery for crop identification and area estimation*. Geocarto International, Vol. 22, No. 3, September 2007, 219 – 233
- ZELENKOVÁ, K (2009) : *Využití družicových dat pro určení rozsahu sněžové pokrývky*. Diplomová práce. PřF UK v Praze. 69 s.
- ZHANG, X. ... [ET AL.] (2002): *Monitoring vegetation phenology using MODIS*. Remote Sensing of Environment 84, 2003, 471 - 475
- ZURITA-MILLA, R. (2008): *Mapping and monitoring heterogenous landscapes: spatial, spectral and temporal unmixing of MERIS data*, PhD Thesis, Wageningen University, pp. 138

Internetové zdroje

- Český LPIS. <<http://www.lpis.cz>>
- DigitalGlobe. <<http://www.digitalglobe.com>>
- ESA. BEAM. <<http://www.brockmann-consult.de/beam/>>
- ESA. Data User Element. <<http://dup.esrin.esa.int>>
- ESA Eathnet. ENVISAT. <<http://envisat.esa.int>>
- European Commission. JRC. IES. GEM. <http://bioval.jrc.ec.europa.eu>
- European Commission. JRC. IPSC. MARS Unit. <http://mars.jrc.it>
- Floreo. <<http://www.floreo.cz>>

GeoEye. <<http://www.geoeye.com>>

Gisat. <<http://www.gisat.cz>>

Květena ČR. <<http://www.kvetenacr.cz/>>

NOAA. <<http://noaasis.noaa.gov>>

NASA. MODIS Website. <<http://modis.gsfc.nasa.gov>>

Orbital Science Corporation. <<http://www.orbital.com>>

RangeView: Geospatial Tools for Natural Resource Management. <<http://rangeview.arizona.edu>>

RapidEye AG. <<http://www.rapideye.de>>

Satellite Imaging Corporation. <<http://www.satimagingcorp.com/>>

SPOT. Vegetation Programme. <<http://www.spot-vegetation.com>>

SSE Portal. <<http://services.eoportal.org>>

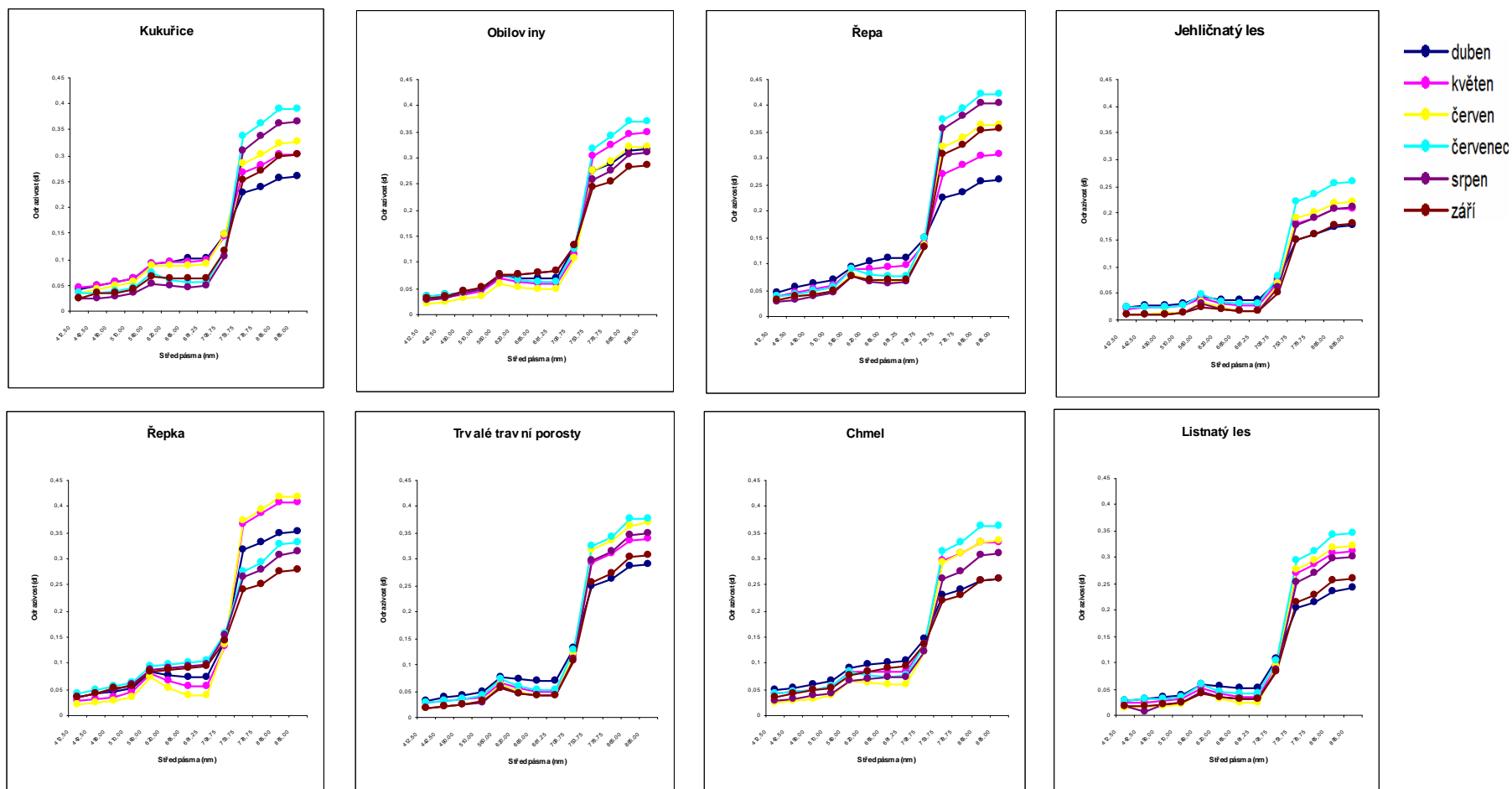
SZIF. <<http://www.szif.cz>>

USGS EROS Support Server. <<http://edc2.usgs.gov>>

SEZNAM PŘÍLOH

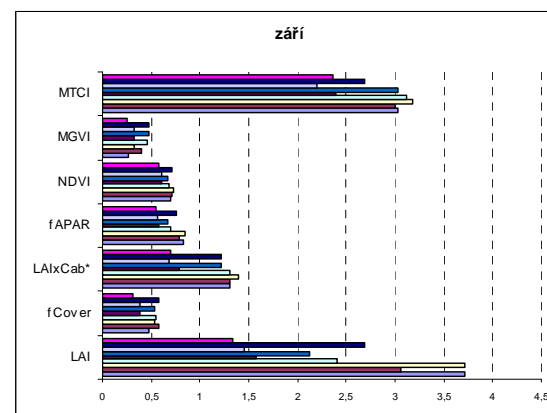
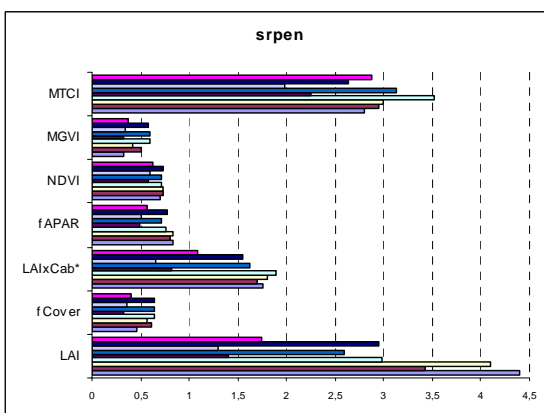
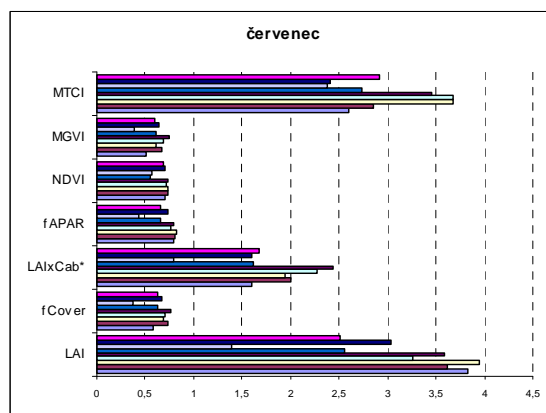
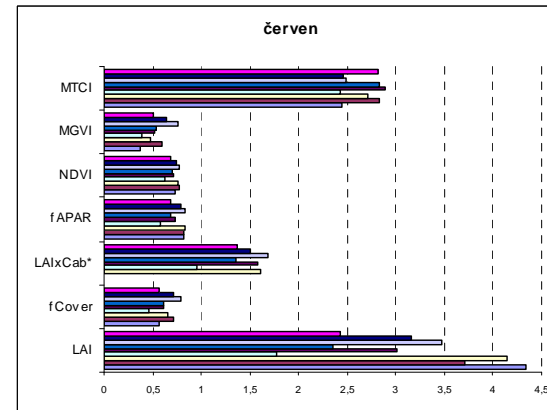
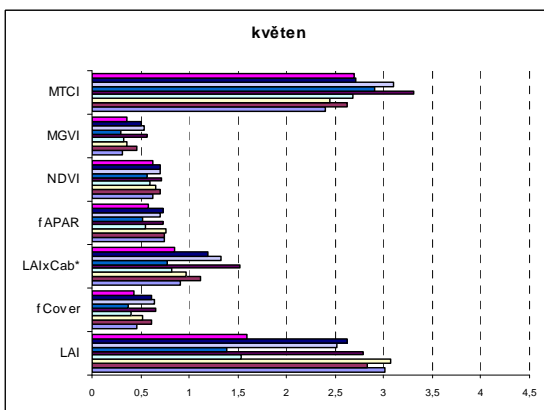
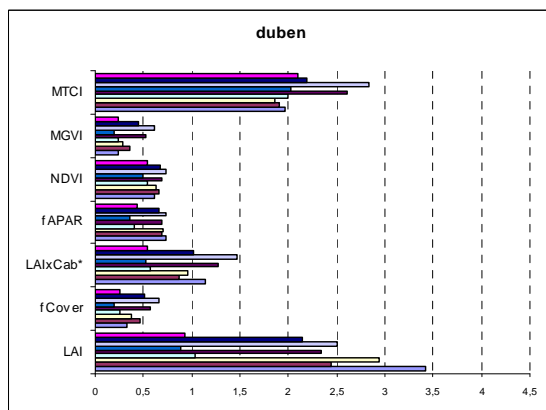
Příloha 1: Spektrální křivky odrazivosti vegetace	I
Příloha 2: Vývoj hodnot vegetačních indexů.....	II
Příloha 3: Porovnání použitých klasifikačních metod	III
Příloha 4: Mapy vegetačního pokryvu pro rok 2009	IV
Příloha 5: Vegetační pokryv ČR v roce 2009	V
Příloha 6: CD s elektronickou verzí práce a vytvořenou databází pokryvu pro 2009	

Příloha 1: Spektrální křivky odrazivosti vegetace



Zdroj: Vlastní výstup

Příloha 2: Vývoj hodnot vegetačních indexů



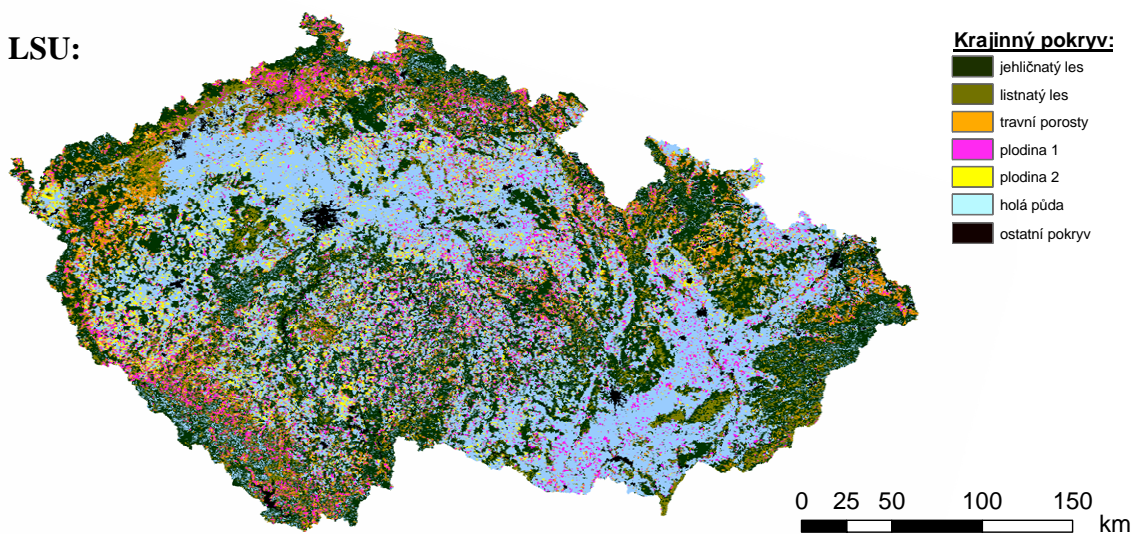
■ jehličnatý
 ■ listnatý
 ■ smíšený
 ■ kukuřice
 ■ obiloviny
 ■ řepa
 ■ řepka
 ■ ttp
 ■ chmel

- Pozn.: Hodnoty LAIxCab pro názornost děleny 100

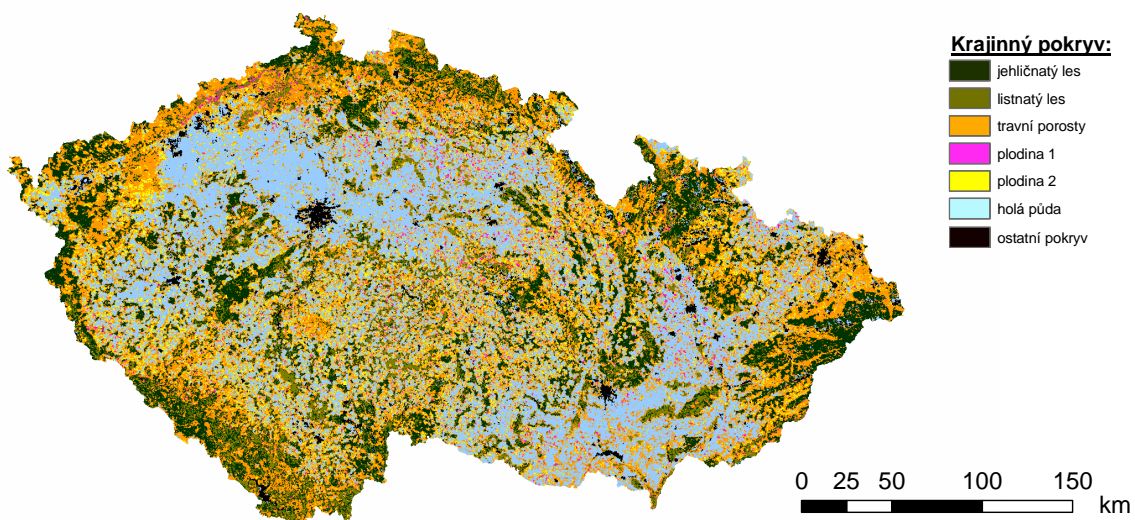
Zdroj: Vlastní výstup

Příloha 3: Porovnání použitých klasifikačních metod 8. září 2009

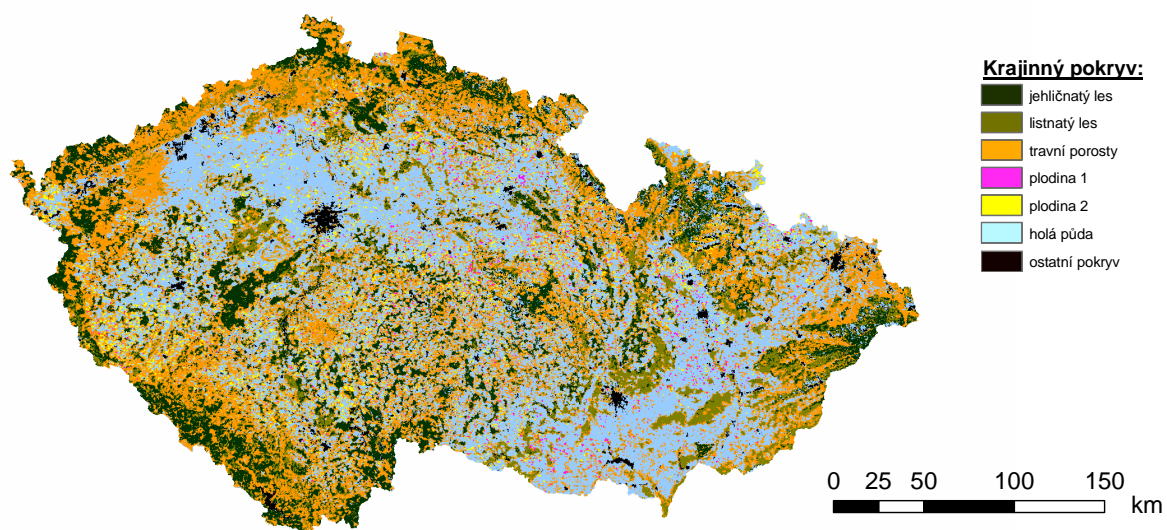
LSU:



VI:

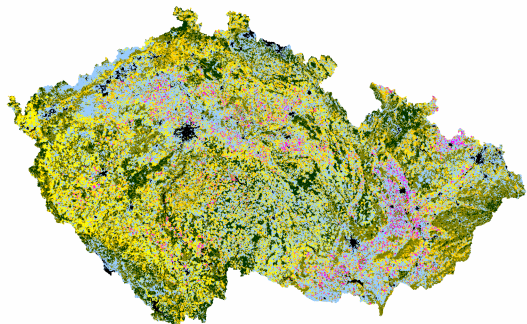


LSU + VI:

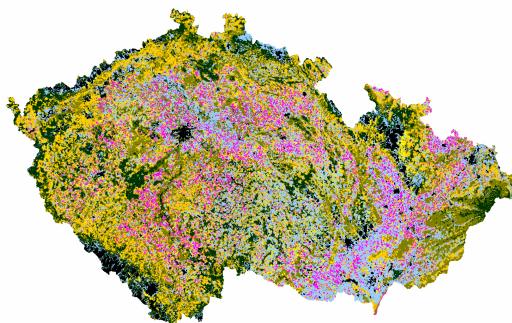


Příloha 4: Mapy vegetačního pokryvu pro rok 2009

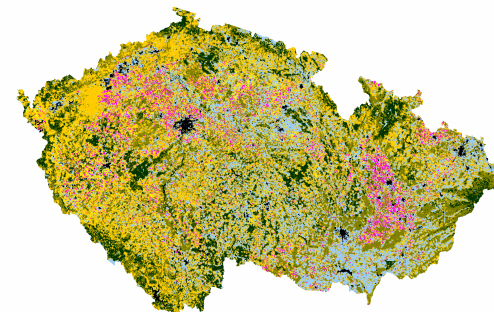
duben



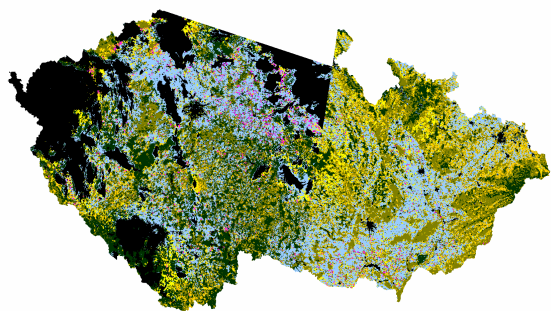
květen



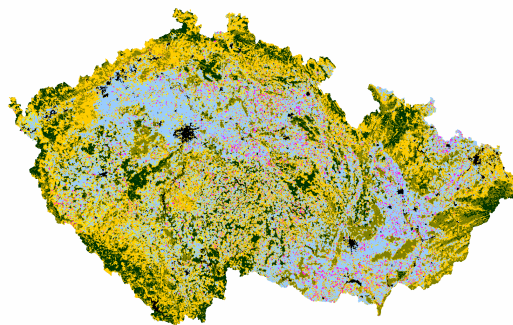
červen



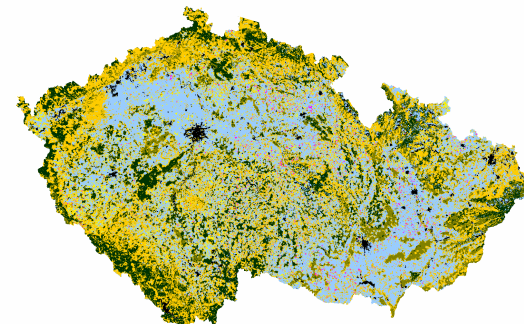
červenec



srpen



září



Krajinný pokryv:

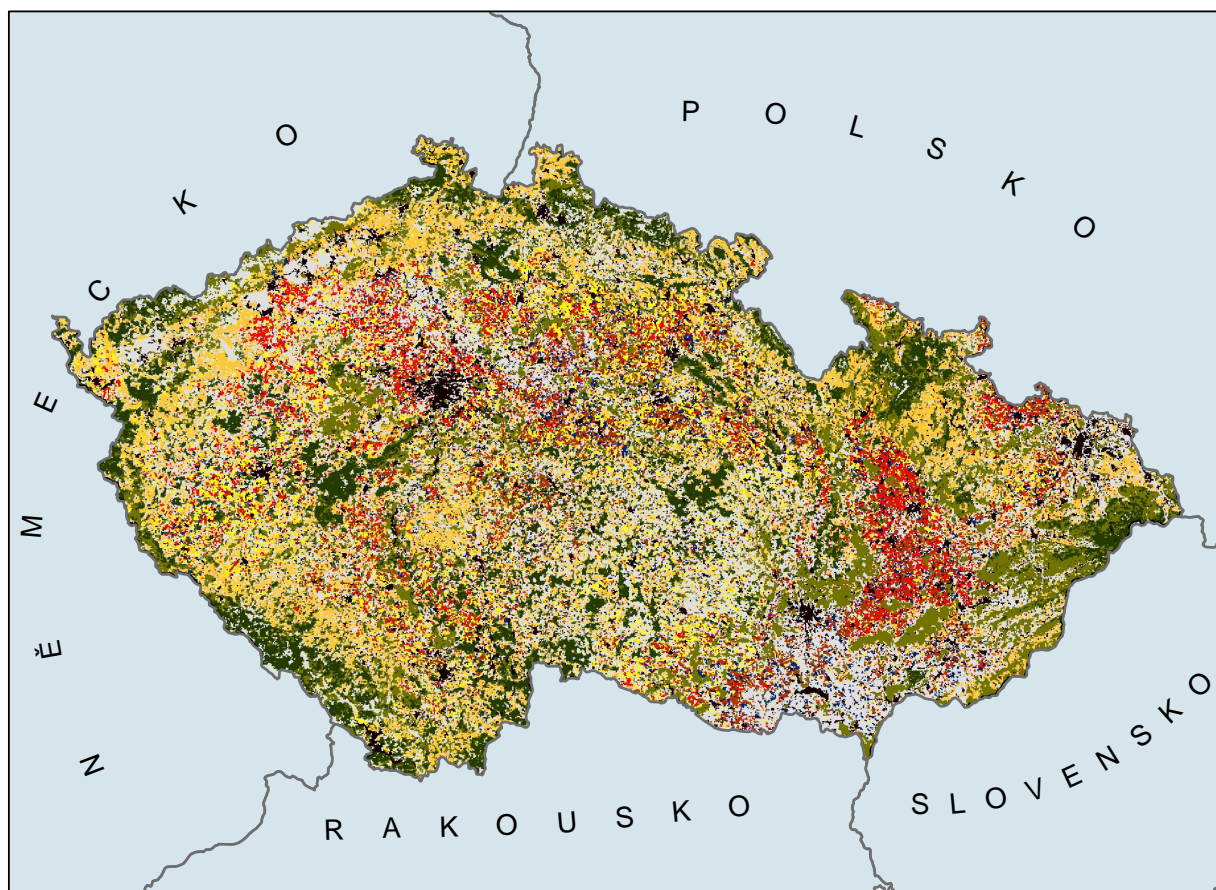
■ jehličnatý les ■ listnatý les ■ travní porosty ■ plodina 1 ■ plodina 2 ■ holá půda ■ ostatní pokryv

0 25 50 100 150 km

Zdroj: Vlastní výstup

VEGETAČNÍ POKRYV ČR

v roce 2009



Krajinný pokryv:

-  jehličnatý les
-  listnatý les
-  travní porosty
-  řepka olejka
-  zimní plodiny
-  letní plodiny
-  ostatní vegetace
-  ostatní pokryv

— hranice států
 neklasifikované státy
SL názvy států

0 12,5 25 50 75 km

MALÍKOVÁ Lucie
Praha 2010