

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie



**VYUŽITÍ DRUŽICOVÝCH DAT VYSOKÉHO
ČASOVÉHO ROZLIŠENÍ PRO SLEDOVÁNÍ LES-
NÍCH PLOCH V ČESKU**

**MONITORING FOREST LAND BY USING THE SATELLITE HIGH
TEMPORAL RESOLUTION DATA IN CZECHIA**

Bakalářská práce

Romana Musilová

srpen 2010

RNDr. Přemysl Štych, Ph.D.

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

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

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

V Bukové dne 20. srpna 2010

.....

Romana Musilová

Romana Musilová: Využití družicových dat vysokého časového rozlišení pro sledování lesních ploch v Česku

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce, RNDr. Přemyslu Štychovi, Ph.D., který mi cennými radami a podněty pomohl při psaní této práce. Dále bych chtěla poděkovat za podporu své rodině.

Využití družicových dat vysokého časového rozlišení pro sledování lesních ploch v Česku

Abstrakt

Zkoumání lesních ploch pomocí dat dálkového průzkumu Země se v současné době stále rozvíjí. Tato práce je zaměřena na zhodnocení možností užití dat vysokého časového rozlišení z družice ENVISAT, konkrétně ze senzorů MERIS a AATSR.

Nejdříve byla určena dvě modelová území, a to Krkonoše a oblast Železných hor a Žďárských vrchů. Vybraná data byla nejdříve předzpracována, následně byly vypočítány vegetační indexy, které byly využity pro popis chování lesních porostů během vegetačního cyklu, posouzení jejich zdravotního stavu a hodnocení vlhkostních poměrů s využitím dat AATSR. Další část práce se zabývala návrhem vlastního jednoduchého algoritmu, jež by umožnil zvýraznit lesní plochy na snímcích MERIS.

Na závěr jsem provedla srovnání využití jednotlivých vybraných indexů pro monitoring lesních ploch uvedeného typu dat.

Klíčová slova: DPZ, lesní plochy, MERIS, AATSR, Envisat

Monitoring forest land by using the satellite high temporal resolution data in Czechia

Abstrakt

Research forest land by using remote sensing data is currently still being developed. This work aimed to evaluate the possibility of using data of high temporal resolution of satellite ENVISAT, specifically MERIS and AATSR sensors.

Romana Musilová: Využití družicových dat vysokého časového rozlišení pro sledování lesních ploch v Česku

First were identified two model territories, namely Krkonoše and area of Železné hory and Žďárské vrchy. Selected data were preprocessed, then the vegetation indices were calculated, which were used to describe the behavior of forest during the growing cycle, assessment of their health condition and humidity using AATSR data. Another part deals with a simple algorithm that would allow the highlight areas of forest to MERIS images.

In the end I made a comparison of selected indices of monitoring forest land that type of data.

Keywords: remote sensing, forest land, MERIS, AATSR, Envisat

OBSAH

Přehled použitých zkratk	6
Seznam grafů, Obrázků a tabulek	8
1 Úvod	9
2 Dálkový průzkum Země	10
2.1 Zářivé vlastnosti krajinných objektů.....	12
2.2 Vegetační povrch	12
2.2.1 Spektrální vlastnosti listu.....	13
2.2.2 Spektrální chování lesa	15
3 Aplikace družicových dat	17
3.1 Družicová data vysokého časového rozlišení	17
3.2 Využití dat DPZ v lesnictví	18
3.2.1 Tradiční metody	18
3.2.2 Satelitní snímky	19
3.2.3 Určení druhové skladby	19
3.2.4 Hodnocení zdravotního stavu	19
3.3 Zpracované databáze v oboru lesnictví.....	20
3.3.1 CORINE Land Cover.....	20
3.3.2 Mapy zdravotního stavu lesů (ÚHUL)	20
4 Metodika	22
4.1 Použitá data.....	22
4.1.1 MERIS	23
4.1.2 AATSR	24
4.2 Použitý software	26
4.2.1 BEAM 4. 7. 1	26

4.2.2	EOLI-SA 7. 2. 1	26
4.2.3	ArcGIS 9.3	27
4.3	Předzpracování dat	27
4.4	Lesní plochy	29
4.5	Vlastní algoritmus pro detekci vegetace	30
4.6	Vegetační indexy	30
4.6.1	Normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index)	31
4.6.2	MERIS Terrestrial Chlorophyll Index	32
4.6.3	MERIS Global Vegetation Index (MGVI)	34
4.6.4	MERIS Vegetation Processor TOA -VEG	36
4.7	Jasová teplota	38
5	Výsledky	39
5.1	Modelová území	39
5.1.1	Krkonoše	39
5.1.2	Železné hory a Žďárské vrchy	41
5.2	Vlastní algoritmus pro detekci lesa	42
5.3	Výsledky vegetačních indexů a jasové teploty	42
5.3.1	Normalizovaný rozdílový vegetační index	43
5.3.2	MERIS Terrestrial Chlorophyll Index	43
5.3.3	MERIS Global Vegetation Index	45
5.3.4	Index listové plochy	45
5.3.5	LAIxC _{ab}	46
5.3.6	Jasová teplota	46
5.4	Zdravotní stav lesa	47
5.4.1	Srovnání s daty ÚHUL	48
6	Diskuze	49
7	Závěr	53
	Seznam zdrojů informací	54
	Seznam příloh	57

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

AATSR	A dvanced A long- T rack S canning R adiometer
BEAM	B asic ERS & E nvisat A ATSR and M ERIS Toolbox
BT	B rightness T emperature = jasová teplota
DPZ	D álkový p řůzkum Z emě
ENVISAT	E nvironment S atellite
ESA	The E uropean S pace A gency = Evropská kosmická agentura
FAPAR	F raction of A bsorbed P hotosynthetically A ctive R adiation
FCOVER	pokrytí vegetačním krytem
GETASSE30	G lobal E arth T opography A nd S ea S urface E levation at 30 arc second resolution
IČ	I nfračervené (záření)
KAGIK	K atedra a plikované g eoinformaticky a k artografie PřF UK v Praze
KRNAP	K rkonošský n árodní p ark
LAI	L eam A rea I ndex = index listové plochy
LAIxC_{ab}	obsah chlorofylu ve vegetačním krytu
MERIS	M edium R esolution I maging S pectrometer
MGVI	M ERIS G lobal V egetation I ndex
MODIS	M oderate Resolution I maging S pectroradiometer
MTCI	M ERIS T errestrial C hlorophyll I ndex
NDVI	N ormalised D iferential V egetation I ndex = Normovaný rozdílový vegetační index
NIL	n árodní i nventarizace l esů
NIR	N ear I nfrared = blízké infračervené záření
OPRL	o blastní p lán r ozvoje l esů
R	R eflectance = odrazivost

Romana Musilová: Využití družicových dat vysokého časového rozlišení pro sledování lesních ploch v Česku

RADAR	R adio D etection a nd R anging
RGB	R ed G reen B lue = červená, zelená, modrá (barevná syntéza)
REP	R ed E dge P oint = okraj červené barvy
SAR	S ynthetic A perture R adar = radar se syntetickou aparaturou
SEIS	S hared E nviromental I nformation S ystem
SMAC	S implified M ethod for A tmospheric C orrection
ÚHUL	Ústav pro h ospodářskou ú pravu l esů
VHR	v ery h igh r esolution = označení snímků s velmi vysokým rozlišením
WGS 84	W orld G eodetic S ystem = Světový geodetický systém 1984
WMS	W eb M ap S ervice

SEZNAM GRAFŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

Graf 1: Spektrální křivky vody, půdy a vegetace.....	14
Graf 2: Znázornění spektrálních pásem v REP.....	33
Graf 3: Znázornění MTCI.....	33
Graf 4: Histogram indexu listového pokrytí (ze dne 14. 6. 2009).....	46
Obr. 1: Zájmová plocha Krkonoš.....	29
Obr. 2: Schéma vlastností MTCI a MGVI.....	35
Obr. 3: Znázornění indexu listové plochy.....	37
Obr. 4: Mapa Krkonoš.....	40
Obr. 5: Mapa CHKO Železné hory.....	41
Obr. 6: Algoritmus pro zvýraznění vegetace (snímek Krkonoš z 1. 8. 2009).....	42
Obr.7: MTCI dne 14. 6. 2009 v Železných horách a Žďárských vrších.....	44
Tab. 1: Chování vegetace podle spektrálních pásem.....	15
Tab. 2: Spektrální pásma senzoru MERIS.....	24
Tab. 3: Spektrální pásma senzoru AATSR.....	25
Tab. 4: Seznam zpracovaných dat.....	26
Tab. 5: Proměnné pro výpočet NDVI v programu BEAM.....	31
Tab. 6: Hodnoty NDVI pro různé krajinné pokryvy.....	32
Tab. 7: Vegetation Processor TOA – VEG : přehled produktů.....	38
Tab. 8: Nejvíce zastoupené druhy stromů v Krkonoších (v %)......	40

1 Úvod

Lesní ekosystémy patří k nejdůležitějším složkám životního prostředí. V současnosti se více než dříve klade důraz na dlouhodobé plánování v oblasti hospodaření s lesy, často jsou skloňovány výrazy jako trvale udržitelný rozvoj, trvale udržitelný život, trvale udržitelný les, trvale udržitelné hospodaření v lesích, lesnické plánování apod.

Česká republika patří k zemím s vysokou lesnatostí a bohatou lesnickou tradicí. Lesní pozemky u nás zaujímají nyní plochu 2 649 147 ha (2009), což představuje asi 33,7 % celkového území státu. Od druhé poloviny 20. století se jejich výměra stále zvyšuje. V Evropě patří České republice dvanácté místo v lesnatosti. Vlivem dlouhodobého zalesňování neúrodných zemědělských pozemků se plocha lesů postupně zvětšuje - asi o 700 ha za rok. Stále tak pokračuje nárůst celkových zásob dříví v lesích, od roku 1930 se celková zásoba v našich lesích zvětšila více než dvojnásobně. Česká republika je v zásobě dřeva na 1 ha na druhém místě a v ročním přírůstku na 1 ha je na šestém místě v Evropě, což dokládá velký produkční kapitál lesů, kterým Česká republika disponuje (<http://eagri.cz/public/eagri/lesy/lesnictvi/>).

Les je složitý ekosystém a v současnosti je zatížen mnoha závažnými problémy. K těm největším patří špatná druhová skladba lesů založených v minulosti, dále působí mnoho agresivních civilizačních činitelů, znečištěné ovzduší, nedostatek vláhy, řada škůdců, v poslední době také vyšší teploty atd.

2 Dálkový průzkum Země

Existuje mnoho definic dálkového průzkumu Země (DPZ, anglicky remote sensing). Lillesand a Kiefer uvádějí, že „dálkový průzkum Země je věda a umění získávat užitečné informace o objektech, plochách či jevech prostřednictvím dat měřených na zařízení, která s těmito zkoumanými objekty, plochami či jevy nejsou v přímém kontaktu.“

Podle Koláře je dálkový průzkum Země „založen na poznatku, že pro každý fyzikální objekt a jeho stav je charakteristický způsob, jakým ovlivňuje okolní silová pole. Měřením charakteristik polí lze zpětně zjistit údaje o objektu bez toho, abychom se s ním dostali do přímého kontaktu“.

Lze tedy shrnout, že získávání dat dálkového průzkumu se neomezuje na cesty přímo vnímatelné lidskými smysly, pomocí přístrojů je možné postihnout a měřit jevy a údaje pro člověka nepostižitelné a navíc je lze vyjádřit číselně. Takto je získaný údaj o silovém poli možno zaznamenat a převést do podoby uchopitelné pro člověka.

Vývoj dálkového průzkumu Země se datuje od sedmdesátých let dvacátého století, je spojován s rozvojem výpočetní techniky a možnosti vysílání satelitů na jejich dráhy.

Výběr metody dálkového průzkumu a výběr silového pole jsou závislé na informačních ztrátách při přenosu informace mezi pozorovaným objektem a čidlem detektoru. Z tohoto důvodu se výhodně používá elektromagnetické pole ve tvaru elektromagnetické vlny vyzářené či odražené objektem. Jestliže se elektromagnetické vlny pohybují ve vhodném prostředí, nejsou příliš zeslabovány a nabízejí široký rozsah mnoha řádů vlnových délek.

V dnešní době se termín dálkový průzkum zúžilo na měření elektromagnetického záření vyzařovaného nebo odraženého zkoumaným objektem. Využívají se přístroje umístěné na balónech, letadlech, umělých družicích a kosmických lodích. Většinou se

využívá tzv. pasivní metoda, která je založena na tom, že přístroje měří přírodní záření (tj. teplotní záření emitované objektem nebo odražené sluneční záření). Tato metoda se uplatňuje v oblasti viditelného a blízkého či infračerveného záření a předpokládá dostatečně intenzivní přírodní zdroj záření (Slunce nebo zemský povrch). Měření bývá u obou zdrojů znemožněno vlivem oblačnosti, záření Slunce je vázáno na denní dobu. Aktivní metoda využívá umělý zdroj záření, většinou nesený spolu s měřicí aparaturou zaznamenávající intenzitu odraženého záření. Z tohoto důvodu lze do jisté míry překonat problémy, které jsou časté u předcházející metody. Přístroj generující umělé záření pracuje na vlnových délkách v oblasti mikrovlnného záření (1 mm až 1 m), je označován jako radar ¹.

K měřeným kvantitativním parametrům elektromagnetického záření patří intenzita, vlnová délka, směr, polarizace, rychlost, koherence a fáze, dále také časový parametr. Hodnocení kvality měření je závislé na nejmenším možném rozdílu velikosti těchto hodnot. Tento údaj se označuje jako rozlišovací schopnost měřicí aparatury.

Systém dálkového průzkumu obsahuje 3 základní složky. Do první složky náleží faktory ovlivňující velikost měřené fyzikální veličiny. Patří sem krajina se zdrojem záření a atmosférou, kterou záření prochází. Druhá složka zahrnuje aparaturu, jejímž úkolem je pořídit soubor dat o krajině. Jedná se o skenery, radiometry, spektrometry a fotografické kamery umístěné na různých nosičích. Třetí složka zahrnuje zpracování dat (Kolář 1989, str. 7-10).

¹ Radar (Radio Detection and Ranging) je přístroj, který k zemskému povrchu vysílá v pulzech mikrovlnnou energii v určitých časových periodách. Signál je odražen a následně přijímán anténou, přičemž se registruje intenzita přijaté energie a doba mezi vysláním a přijetím signálu. Výhodou radaru, je že mikrovlnné záření je schopné proniknout mraky, mlhu i jemný déšť. Vlastní zdroj záření umožňuje kromě maximální kontroly vlastností vysílaného záření také snímání Země i v noci. V současnosti jsou radarové přístroje schopny dosáhnout velmi vysokého rozlišení (3 až 10 m) srovnatelné s přístroji pracující ve viditelné části spektra. Radar se v první řadě používá pro zjištění základních geometrických vlastností povrchu (např. vlhkost a míra drsnosti). V praxi jsou proto využívány při průzkumu mořského dna, oceánského vlnění, vlhkosti půd, geologických struktur, biomasy atd. (Kolář 2008, str. 3-4).

2.1 Zářivé vlastnosti krajinných objektů

Intenzita odraženého i emitovaného záření závisí na elektromagnetických vlastnostech látky (ty jsou závislé na druhu látky či objektu, jeho okamžitém fyzikálním stavu a také na stavu jeho okolí). Každá látka má tedy charakteristickou odrazivou a emisní vlastnost, podle kterých lze z naměřených intenzit záření, resp. odrazivosti nebo emisivity určit, o kterou látku se jedná.

Objekty, které mají kvalitativní povahu, lze zařadit k nějakému druhu vyjádřením druhových parametrů (např. louka, silnice apod.). Stav měřené látky udávají stavové parametry, které jsou spíše kvantitativního charakteru (např. vlhkost, hustota apod.). Závislost odrazivosti nebo emisivity dané látky na vlnové délce vyjadřuje spektrální charakteristika (popisuje zářivé vlastnosti objektu).

Spektrální charakteristiky se určují jak v laboratorních podmínkách tak i v terénu pomocí blízkého i dálkového měření z letadel a kosmických nosičů. Přitom je nezbytné zjišťovat také druhové a stavové parametry z důvodu toho, že každé kombinaci parametrů připadá specifická spektrální charakteristika.

Právě ze znalosti vztahu mezi spektrální charakteristikou a stavovými parametry lze určit optimální spektrální pásma pro měření.

Krajinné objekty byly rozděleny do základních čtyř skupin, jejichž zářivé vlastnosti jsou specifické. Jedná se o plynné látky, vodu, vegetační povrch a pevný povrch bez vegetace. Spektrální charakteristiky se v čase mění vlivem změny hodnoty stavových parametrů, např. v případě vegetace je změna spektrálního projevu v čase charakteristická (růst vegetace) (Kolář 1997, str. 39-40).

2.2 Vegetační povrch

Vegetace je jedním z nejdůležitějších prvků zemského povrchu, kromě pouštních a polárních oblastí se vyskytuje ve všech datových souborech pořízených z družicových a letadlových nosičů. K mapování vegetace se využívá principu její rozdílné odrazivosti v různých intervalech elektromagnetického spektra. Nejčastější formy rostlinstva jsou travní rostliny, zemědělské kultury, listnaté a jehličnaté stromy.

Metodou dálkového průzkumu se obvykle sleduje jeden druh rostliny. Spektrální projev porostu určitého druhu tvoří výslednice odrazivých a emisních vlastností různých částí rostliny i jejího pozadí. Tyto vlastnosti vyplývají z celé řady stavových parametrů, největší vliv však mají listy (Kolář 1997, str. 40).

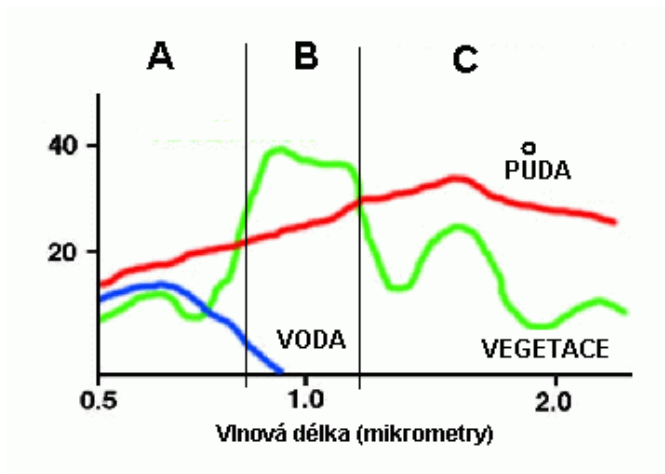
2.2.1 Spektrální vlastnosti listu

Spektrální vlastnosti listu vycházejí z jednotlivých složek listu, zejména buněčné tekutiny, celulózy, tuků, ligninu, proteinů, cukrů a oleje. U jednotlivých druhů rostlin se spektrální průběhy kvantitativně liší, ale celkově mají určité společné rysy typické pro vegetaci.

Průběh spektrální křivky odrazivosti lze rozdělit na tři hlavní fáze odpovídající třem faktorům, které udávají velikost spektrální odrazivosti. V pásmu 0,4 μm až 0,7 μm se nachází oblast pigmentační absorpce. Mezi 0,7 μm a 1,3 μm je oblast vysoké odrazivosti neboli buněčné struktury. Odrazivost je zde ovlivněna hlavně uspořádáním buněk částí rostlin nejvíce vystavených dopadajícímu slunečnímu záření (tedy odrazivosti listů). Od 1,3 do 3 μm sahá oblast vodní absorpce, vyšší obsah vody snižuje odrazivost rostlin (http://www.sci.muni.cz/~dobro/zemsky_povrch_vegetace.html).

Ve viditelné části spektra ovlivňují průběh spektrální křivky listu pigmentační látky. Nejrozšířenější je *chlorofyl*, který tvoří 65% pigmentu listu. Chlorofyl pohlcuje většinu zářivé energie v modrém (0,45 μm) a červeném (0,65 μm) světle (tyto dva pásy jsou pásma pigmentační absorpce). Mezi těmito dvěma pásy je maximum odrazivosti v okolí vlnové délky zeleného světla (0,54 μm), proto se vegetace jeví jako zelená. Viditelné záření je v listu z velké části pohlceno a projde jím jen z části. Odražené záření je proto velmi málo intenzivní. Ve viditelné části spektra ovlivňuje tvar spektrální křivky právě množství chlorofylu. Nárůst jeho množství se nejprve ukáže prohloubením absorpčního pásu 0,68 μm , dále jeho posunem do větších vlnových délek a následně dojde ke snížení maxima odrazivosti v zelené barvě. Chlorofyl se vyskytuje v podobě chlorofylu A a B, obsah chlorofylu A je obvykle dvakrát až třikrát vyšší než chlorofylu B.

Graf 1: Spektrální křivky vody, půdy a vegetace



Zdroj: http://www.sci.muni.cz/~dobro/zemsky_povrch_vegetace.html

Velmi důležité jsou i další pigmentační látky, např. karoten, xanthofyl a anthokyan. Karoten a xanthofyl jsou žlutě zbarvené pigmenty, absorbují zářivou energii pouze v modré části spektra (0,35 – 0,5 μm). Také chlorofyl absorbuje záření v této vlnové délce, proto není vliv žlutého pigmentu ve zdravém zeleném listu znatelný. Čím rostlina více stárne, tím ubývá chlorofylu a narůstá vliv žlutých pigmentačních látek, proto se listy na podzim zbarvují dožluta. Některé rostliny v tomto období produkují místo chlorofylu anthokyan, který způsobuje červenou barvu listů

V pásmu blízkého infračerveného záření (0,72 μm až 1,3 μm) je hlavním činitelem ovlivňující odrazivost morfologická struktura listu. V této oblasti je typická velmi nízká pohltivost buněk (0,05 až 0,25) určující spektrální charakteristiku listu. Základní stavební látkou rostlinných buněčných stěn je celulóza, která má index lomu 1,4, čemuž odpovídá odrazivost přibližně 6%. Avšak v blízké infračervené části spektra je odrazivost vyšší vlivem několikanásobného odrazu uvnitř listu.

V oblasti vodní absorpce je spektrální odrazivost ovlivněna výskytem absorpčních pásem vody (1,4 μm, 1,9 μm a 2,7 μm). Pro horní vrstvu listu jsou možné projevy dalších vedlejších absorpčních pásem vody (0,96 μm a 1,1 μm) (Kolář 1997, str. 40-41).

Tab. 1: Chování vegetace podle spektrálních pásem

Pásmo	Vlnová délka	Charakteristika	Vztah k vegetaci
Viditelné – modrá barva	0,35 – 0,5 μm	Výrazná absorpce chlorofylu a karotenu	Silně negativní
Viditelné – zelená barva	0,5 – 0,6 μm	Menší absorpce pigmentu	Slabě pozitivní
Viditelné – červená barva	0,6 – 0,7 μm	Výrazná absorpce chlorofylu	Silně negativní
Viditelné – okraj červené barvy	0,7 – 0,74 μm	Přechod mezi výraznou absorpcí a výraznou odrazivostí	Slabě negativní
Blízké infračervené	0,74 – 1,3 μm	Výrazná odrazivost vegetace	Silně pozitivní
Středně infračervené	1,3 – 2,5 μm	Absorpce vody, ligninu a celulózy	Nespecifikován

Zdroj: MERIS Produkt Handbook 2006.

Obecné rysy spektrálního chování vegetace jsou velice výrazně ovlivňovány daným vegetačním obdobím a dále také stresy, kterým bývá porost vystaven. U rostlin suchých či poškozených mrazem dochází k poklesu odrazivosti v blízké infračervené části spektra. Změna se projeví nejdříve v infračervené části spektra, proto je možné ji zaznamenat na snímcích dříve než lze zaznamenat pouhým okem v přírodě.

Vzhled vegetačních povrchu na družicových snímcích je ovlivněn zejména těmito faktory: vnější uspořádání vegetačního krytu, vnitřní struktura jednotlivých částí rostlin, obsah vody, zdravotní stav, vlastnosti půdního substrátu (http://www.sci.muni.cz/~dobro/zemsky_povrch_vegetace.html).

2.2.2 Spektrální chování lesa

Odraživost jehličnatého lesa se v průběhu roku nijak výrazně nemění, protože les je stále zelený po celý rok. U zdravého porostu se odrazivost v blízké infračervené části

Romana Musilová: Využití družicových dat vysokého časového rozlišení pro sledování lesních ploch v Česku

spektra pohybuje kolem 40 %. V této oblasti lze les dobře odlišit od vody, která pohlcuje téměř všechno záření.

Listnaté lesy na zimu opadávají, proto v této době neodrážejí žádnou zelenou část spektra. Od května mají opět dostatek listů.

3 Aplikace družicových dat

Získávání dat je základní částí celého oboru DPZ, kvalita získaných dat a jejich typ mají rozhodující vliv na další proces zpracování dat.

Dlouhou dobu byl člověk odkázán pouze na svůj zrak. Ten však poskytuje omezené množství informací, protože dokáže rozpoznat pouze objekty ve viditelné části spektra. Díky technickému pokroku člověk vynalezl přístroje, které jsou schopny zaznamenat i jiné druhy záření. Tyto poznatky pomohly rozšířit poznání a vnímání souvislostí světa. Postupem času se technologie pro dálkový průzkum Země stále zlepšovala, na oběžnou dráhu byly vysílány nové přístroje pracující delší dobu schopné zachytit mnohem větší množství detailů na zemském povrchu. Významným mezníkem byl přechod od klasických fotografických komor zachycujících obraz na principu chemické reakce na speciální druhy filmů citlivých na různé druhy elektromagnetického záření k digitálnímu zpracování obrazu, při kterém je množství energie přicházející od povrchu Země zaznamenáno a uchováváno v podobě číselného údaje. V současnosti se na oběžné dráze pohybují stovky umělých družic, které mají za úkol sledovat zemský povrch pod sebou. Družicové snímky se v poslední době staly velmi důležitým a často používaným zdrojem geografických informací. Díky rychlému vývoji DPZ se oblast využití přesunula z výzkumných a vojenských podmínek do komerční sféry (Kolář 2008 a).

3.1 Družicová data vysokého časového rozlišení

Jako družicová data vysokého časového rozlišení jsou označována data z družic, které se nad zkoumané území vrací během krátké doby. Většinou je tedy pro ně specifický opakovaný návrat nad stejné území během jednoho až tří dnů, čímž vznikne časová řada snímků stejného území, pořízených stejným senzorem a pod stejným úhlem (www.gisat.cz/content/cz/druzicova-data).

3.2 Využití dat DPZ v lesnictví

Družicová data se uplatňují v oblasti lesnictví zejména od devadesátých let dvacátého století především díky obsáhlému archivu družicových dat Landsat TM. K hlavním úkolům patřilo mapování ve středních měřítcích, problematika druhové skladby lesů a sledování jejich zdravotního stavu. V České republice byly využity družicové snímky pro mapování rozsahu a zdravotního stavu zalesněných oblastí v řadě studií. Týkaly se lesů v oblasti Krkonoš, Šumavy, Krušných hor a také v Jizerských horách.

Při rozsáhlých inventarizacích lze interpretací dat DPZ mnohdy doplnit či plně nahradit zjišťování porostních a stromových charakteristik. V poslední době zaznamenává svůj rozvoj digitální fotogrammetrie a také satelitní snímky s velmi vysokým rozlišením (VHR). Tato data oproti leteckým snímkům dosahují vyššího spektrálního, radiometrického a temporálního rozlišení (Hájek 2006). Budoucnost má jistě využití „metrových“ dat umožňující uplatnění nových aplikací postavených na podrobném mapování. Vývoji jsou přizpůsobovány i softwarové nástroje, které nabízejí objektově orientovaný přístup k vyhodnocení obrazových dat (využití např. při detekci korun stromů při inventarizaci porostů) (<http://www.gisat.cz/content/cz/aplikace/lesnictvi>).

3.2.1 Tradiční metody

Mezi tradiční metody DPZ patří letecká fotogrammetrie, která je využívána mnoho let v oblasti hospodářských úprav lesa. Slouží při lesních inventarizacích, lesním tematickém mapování, při zjišťování stromových a porostních charakteristik, zdravotního stavu apod. Dříve se používala převážně vizuální interpretace leteckých snímků pro zakreslování základních jednotek rozdělení lesa do hospodářských map 1:50 000. V České republice se využití leteckých snímků v oblasti lesnického DPZ prosadilo v 80. letech 20. století, později se přestalo používat pro problematiku použití v rámci technologie zpracování lesního hospodářského plánu (Hájek 2006).

3.2.2 Satelitní snímky

K dispozici jsou kromě dat z leteckého snímkování také družicové snímky. Ty mají nižší prostorové rozlišení (např. 25 m/pixel pro často používaný Landsat TM), proto v oboru lesnictví byly používány pro mapování rozsáhlých území (typicky např. v USA a Kanadě). V České republice se snímky z družic uplatňují při analýzách zdravotního stavu lesů a vývoje v čase od roku 1984. Nový přístup přineslo vypuštění družice Ikonos (1999) a QuickBird (2001), jejichž senzory snímají ve třech viditelných a blízkém infračerveném pásmu v rozlišení 4 m (Ikonos) a 2,5 m (QuickBird). Poskytují jednobarevné tzv. panchromatické pásmo v rozlišení 1m/pixel (pro QuickBird 0,6 m). V průběhu dalších několika let se odhaduje, že budou na oběžnou dráhu vypuštěny desítky dalších družic s velmi vysokým rozlišením, což způsobí snížení cen družicových dat (Kolář 2008 a).

3.2.3 Určení druhové skladby

Pomocí klasifikace obrazu, založené pouze na optických metodách DPZ, bývá problémem přesně mapovat komplexní lesní struktury. Platí to zejména pro identifikaci mladých porostů, smíšených porostů či porostů věkově odlišných. Podle výzkumu Ing. Filipa Hájka z Fakulty lesnické a environmentální České zemědělské univerzity se dá procentické zastoupení lesních dřevin úspěšně řešit pomocí objektové analýzy družicových snímků VHR. Přesnost klasifikace se vyrovná přesnosti dosažené při terénních průzkumech (Hájek 2006).

3.2.4 Hodnocení zdravotního stavu

Kromě klasického pozemního šetření se v poslední době stále více používají také letecké a družicové snímky. V Česku se pro tyto účely uskutečnily první experimenty přibližně v roce 1985, po několikaletém vývoji byla tato metoda uvedena v roce 1992 do praxe a dnes se standardně používá pro monitoring lesních porostů u nás. Největší výhodou tohoto způsobu je komplexnost výsledného obrazu a získání obrazu z rozsáh-

lého území k jednomu dni. Reálně je možné provádět roční monitoring na přibližně 70 až 80 % plochy státu (s rozlišením 30 m za přijatelných finančních nákladů).

3.3 Zpracované databáze v oboru lesnictví

3.3.1 CORINE Land Cover

Program CORINE (Coordination of Information on the Environment) byl započat v roce 1985 a byl iniciován Evropskou komisí za účelem sběru, koordinace a zajištění kvalitních informací o životním prostředí a přírodních zdrojích. Tento program má několik částí, z nichž jedna z nich je právě Land Cover (krajinný pokryv). Cílem projektu CORINE Land Cover je vytvoření databáze krajinného pokryvu v rámci Evropy za použití jednotné metodiky a pravidelné aktualizace dat. Databáze se skládá z jednotlivých polygonů rozdělených do 44 tříd vytvořených na základě družicových snímků. Výsledkem jsou tedy mapy vegetačního pokryvu v měřítku 1:100 000 v daném roce a dále jsou pravidelně vypracovávány databáze změn krajinného pokryvu vyjadřující přírůstky a úbytky ploch jednotlivých tříd. Výstupy jsou používány jako podkladové materiály pro řadu studií a vědeckých prací o krajině. Do současné doby byly vytvořeny databáze pro roky 1990, 2000 a 2006

(http://www.cenia.cz/_C12572160037AA0F.nsf/showProject?OpenAgent&PID=CPRJ7T3H42O2&cat=schedule).

V této bakalářské práci byly využity data z roku 2006 a to pro vymezení ploch lesního porostu. Předpokladem bylo, že plochy lesa se od roku 2006 nijak výrazně neměnily.

3.3.2 Mapy zdravotního stavu lesů (ÚHUL)

Ústav pro hospodářskou úpravu lesů (ÚHUL) v Brandýse nad Labem je organizační složkou státu zřízenou Ministerstvem zemědělství České republiky. Předmětem činnosti je provádění inventarizace lesů České republiky, vyhotovování a správa dat oblastních plánů rozvoje lesů (OPRL) včetně zajišťování jednotného typologického

systému lesů v České republice, zabezpečování funkce informačního a datového centra odvětví lesního hospodářství a myslivosti České republiky a dále zabezpečování poradenství a služeb při provádění certifikace lesů České republiky (www.uhul.cz).

Od roku 2001 je Ústavem pro hospodářskou úpravu lesů (ÚHUL) na celém území ČR prováděna národní inventarizace lesů (NIL). Má význam z hlediska hodnocení stavu lesů, porostních zásob a popisu řady dalších parametrů, které charakterizují i plnění ostatních funkcí lesa. ČR se tak připojila k ostatním evropským státům, které podobnou metodikou pravidelně provádějí šetření stavu lesů.

(<http://eagri.cz/public/eagri/lesy/lesnictvi/inventarizace-lesu/>).

Hodnocení zdravotního stavu lesů v Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů je uskutečňováno na základě snímku z družic Landsat (z let 1984-2008). V datech družicového snímku jsou obsaženy informace, jejichž cílem je umožnit obecně posuzovat stav vegetace. Jejich vyhodnocením lze získat informace o celkovém zdravotním stavu lesa jako výsledku současného působení průmyslových exhalací, biotických škůdců, stanovištních podmínek a lidské činnosti. Projekt obsahuje následující druhy map:

1. mapa poškození a mortality lesních porostů;
2. mapa defoliace a mortality jehličnatých porostů;
3. mapa vývoje poškození a mortality jehličnatých porostů;
4. mapa ohrožení jehličnatých porostů;
5. mapa trendu zhoršování zdravotního stavu jehličnatých porostů.

4 Metodika

Od roku 2008 jsou na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie (KAGIK) Přírodovědecké fakulty v Praze přijímána data z družice Envisat. Z této družice jsou zde denně dostupná data pořízená senzory MERIS a AATSR. Jedná se o snímky jak z Evropy, tak i z jiných částí světa. Pro tuto práci byly ze stanice staženy snímky ze senzoru AATSR.

4.1 Použitá data

Tato družice byla vynesena na oběžnou dráhu dne 1.3.2002 raketou Ariane. Pohybuje se po heliosynchronní polární dráze ve výšce asi 785 km nad zemským povrchem se sklonem k rovině zemského rovníku o 98°. Zemi oběhne jednou za zhruba 100 min (tzn. 14 x za 24 hodin) a celou zemi dokáže zmapovat za 3 dny. Tato družice navazuje na program průzkumných satelitů ERS – 1 a ERS – 2 vybavené radarem se syntetickou aparaturou (SAR) (Kolář 2008 b).

Envisat primárně zajišťuje kontinuální pořizování snímků, ale poskytuje také další možnosti využití pro celou řadu aplikací. Nese dohromady 10 přístrojů, jedná se o optická a radarová zařízení shromažďující informace o zemském povrchu, oceánech a atmosféře. Hlavním úkolem Envisatu je studium globálních změn klimatu, tání ledovců a dalších jevů životního prostředí spojených s lidskou činností. Provoz má na starosti letové středisko ESA (European Space Agency) v Darmstadtu v Německu (Kolář 2008 b, str. 28-30). V současné době se počítá s tím, že družice bude řízena z řídicího střediska umístěného ve švédském městě Kiruna. Data získaná družicí jsou následně předávána pozemským přijímacím stanicím (jedna je umístěna přímo v Kiruně, druhá v italském Fucinu). Data jsou přenášena pomocí telekomunikační družice na geostacionární dráze Artemis (<http://envisat.esa.int/earth/www/area/index.cfm?fareaid=6>).

4.1.1 MERIS

MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer) je jedním z přístrojů družice Envisat. Tento speciální spektrometr sbírá informace o zemském povrchu v 15 spektrálních pásmech od modré oblasti viditelného záření (cca 0,39 μm) až po blízké infračervené záření (1,04 μm) s prostorovým rozlišením 300 m/pixel. Přístroj měl původně za úkol hlavně sledovat barvu mořské vody v pobřežních oblastech v širokém vlnovém pásmu, díky čemuž lze získat informace o obsahu chlorofylu v mořských řasách. Tato měření jsou velmi cenná pro obor mořské biologie a velmi důležitá při studiu globálních klimatických změn (fytoplankton pohlcuje až polovinu veškerého vypuštěného oxidu uhličitého) (<http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/prehled-druzicovych-systemu/envisat>).

Vzhledem k jeho jemnému spektrálnímu rozlišení, střednímu prostorovému rozlišení a tří dennímu cyklu opakování je MERIS cenný senzor pro měření a sledování prostředí pevniny na regionálním až globálním měřítku (MERIS Produkt Handbook 2006).

V této práci byla použita data MERIS úrovně 1 (MERIS Full Resolution Level 1), tzn. že produkt obsahuje prostorově umístěné a kalibrované hodnoty záření na horní hranici atmosféry. Snímek je tvořen maticí naměřených hodnot v řádcích a sloupcích (4482 x 4482 pixelu).

Snímky MERIS Level 1b lze volně stáhnout na webových stránkách SSE Portal (<http://services.eoportal.org/index.jsp>). Lze si zde prohlédnout a stáhnout snímky Envisat MERIS úrovně L1B (RAW), které pokrývají i oblast České republiky. Registrovaní uživatelé mohou vyhledávat v obsahu katalogu MERIS, který je poskytován prostřednictvím GISAT. Tato služba je součástí systému SOSI (Spatial Observation Services and Infrastructure), zaměřeného na ověřování konceptů SEIS (Shared Environmental Information System) pro infrastrukturu a služby v rámci monitoringu pokryvu a pozorování Země. SOSI MERIS User Service nabízí výběr dat podle zájmové oblasti a rozpětí času, v současnosti jsou k dispozici nejstarší data pocházející z konce dubna roku 2007.

Tab. 2: Spektrální pásma senzoru MERIS

Číslo spektrálního pásma	Střední vlnová délka (nm)	Šířka spektrálního pásma (nm)	Kódování spektrálního pásma	Aplikace
1	412,5	10	BLUE	Žluté substance, detritální pigmenty
2	442,5	10	BLUE	Maximum absorpce chlorofylu
3	490	10	BLUE	Chlorofyl a jiné pigmenty
4	510	10	BLUE	Suspendované sedimenty
5	560	10	GREEN	Minimum absorpce chlorofylu
6	620	10	RED	Suspendované sedimenty
7	665	10	RED	Absorpce chlorofylu a fluorescence
8	681,25	7,5	RED	Maximum fluorescence chlorofylu
9	708,75	10	RED	Fluorescence, atmosférické korekce
10	753,75	7,5	RED	Vegetace, oblačnost, absorpce kyslíku
11	760,625	3,75	NIR	Absorpce kyslíku
12	778,75	15	NIR	Atmosférické korekce
13	865	20	NIR	Atmosférické korekce
14	885	10	NIR	Vodní pára, vegetace
15	900	10	NIR	Vodní pára

Zdroj: MERIS Produkt Handbook 2006.

4.1.2 AATSR

AATSR (Advanced Along Track Scanning Radiometer) je dalším přístrojovým vybavením družice Envisat. Jedná se o multispektrální zobrazující spektrometr, který disponuje 7 spektrálními kanály v oboru viditelného, infračerveného a tepelného záření.

Jeho prostorové rozlišení v nadiru je 1 km x 1 km, radiometrické rozlišení je 12 bitů a senzor zabírá pás o šíři 500 km. Pro AATSR je specifické snímání totožného území ve dvou různých úhlech pohledu. Nejprve je snímáno pod úhlem 55° dopředu směrem pohybu družice a po cca 150 sekundách se snímá stejné území v nadiru.

AATSR je určen především k měření teploty povrchu oceánu a pobřežních oblastí., dále pro sledování atmosféry a pevniny (zejména vegetace). Pro sledování pevniny a především vegetace lze využít tři kanály v oblasti viditelného/blízkého infračerveného záření se středy v 0,55, 0,67 a 0,87 μm (již ATSR-2 nabízel tyto možnosti). AATSR nabízí v tomto oboru kromě možnosti sledovat teplotu zemského povrchu také stanovení NDVI (Normalised Difference Vegetation Index, normalizovaný rozdílový vegetační index) pomocí kanálů 0,67 a 0,87 μm (AATSR Handbook 2007).

Tab. 3: Spektrální pásma senzoru AATSR

Spektrální pásmo (μm)	Střed spektrálního pásma (μm)	Šířka spektrálního pásma	Aplikace
0,55	0,555	20 nm	chlorofyl
0,66	0,659	20 nm	vegetační index
0,87	0,865	20 nm	vegetační index
1,6	1,61	0,3 μm	detekce oblačnosti
3,7	3,7	0,3 μm	povrchová teplota oceánu
11	10,85	1 μm	povrchová teplota oceánu
12	12	1 μm	povrchová teplota oceánu

Zdroj: AATSR Handbook 2007

Data AATSR přijímaná na KAGIK jsou dostupná na úrovni 1, mají rozlišení 1 x 1 km. Produkt úrovně 1 obsahuje jasové teploty (pro kanály 12, 11 a 3,7) a spektrální odrazivosti (pro kanály 0,55; 0,66; 0,87 a 1,6). Data jsou stejně jako v případě dat MERIS přijímána ve formátu Envisat *N1 (pro práci s těmito daty v programu BEAM VISAT slouží formát *.BEAM-DIMAP).

Tab. 4: Seznam zpracovaných dat

senzor	produkt	datum pořízení	čas pořízení	orbit	ID souboru	Krkonoše	Železné h. & Žďárské v.
AATSR	ATS	14. 6. 2009	9:35	38109	4904.N1	x	x
MERIS	MER_FR	2. 4. 2009	9:36	37064	9064.N1		x
MERIS	MER_FR	11. 4. 2009	9:50	37193	0133.N1	x	
MERIS	MER_FR	26. 5. 2009	9:39	37837	2406.N1	x	x
MERIS	MER_FR	14. 6. 2009	9:42	38109	4825.N1	x	x
MERIS	MER_FR	1. 8. 2009	9:30	38796	4163.N1	x	x
MERIS	MER_FR	8. 9. 2009	9:39	39340	5727.N1	x	x

Zdroj: vlastní výstup

4.2 Použitý software

4.2.1 BEAM 4. 7. 1

BEAM (Basic ERS & Envisat (A)ATSR and MERIS Toolbox) je volně stažitelný program (<http://www.brockmann-consult.de/cms/web/beam/>) vyvinutý společností Brockmann Consult za podpory ESA. Původně byl určen pro snadnou práci s obrazovými daty z optických přístrojů Envisat. BEAM nyní podporuje mnoho dalších formátů rastrových dat (jako např. geotiff či NetCDF) i datové formáty dalších senzorů (MODIS, AVHRR, AVNIR, PRISM a CHRIS / PROBA). Mnoho typů dat a algoritmů je podporováno prostřednictvím rozšíření plug-iny.

Pro práci s daty byla využita aplikace BEAM VISAT. Jedná se o intuitivní aplikaci, která nabízí možnosti vizualizace, analýzy a zpracování rastrových dat DPZ.

4.2.2 EOLI-SA 7. 2. 1

Jedná se o online katalog provozovaný ESA, který uživatelům nabízí vyhledávání a náhledy dat z družic Envisat, ERS, Landsat, SPOT, NOAA, Terra/aqua atd. Program je volně ke stažení na webových stránkách <http://earth.esa.int/EOLi/EOLi.html>.

Aplikace EOLI-SA byla využita pro výběr snímků AATSR. Šlo zejména o bezoblačné snímky, jejichž datum pořízení se shoduje s datem pořízení vybraných snímků MERIS (pro kolokaci). Vybrané snímky byly následně staženy z archivu KAGIK, pokud se v něm nacházely (některé snímky v archivu nebyly nalezeny vinou výpadku či poškození špatným přenosem).

4.2.3 ArcGIS 9.3

Tento software posloužil jako nástroj pro práci se shapefiley CORINE Land Cover 2006 a dále také pro vyhodnocení výsledků a vytvoření tématických map.

4.3 Předzpracování dat

Prvním krokem bylo oříznutí území České republiky na stažených snímcích v programu BEAM Visat, dále následovalo vymezení zájmových oblastí. Vybrala jsem si oblast Krkonoš a severu Vysočiny – tzn. Železné hory a Žďárské vrchy. Pro určení přibližných hranic těchto území bylo využito nástrojů programu ArcGis ArcMap, kde byl pro každou oblast vytvořen shapefile hranic vycházejících z hranic okresů, v kterých oblasti leží. Tyto nové vrstvy byly importovány do programu BEAM Visat, kde byl podle nich oříznut snímek MERIS.

Dalším krokem bylo provedení korekcí. Nejdříve se jednalo o radiometrické korekce provedené pomocí nástroje Smile Correction Processor, jehož úkolem je vypočítat opravené radiance snímků MERIS L1b (Zelenková 2009). MERIS měří odražené sluneční záření pomocí techniky CCD. Jedná se o měření snímku v jednom směru podél linie, v jiném směru je měřena radiance pro každý pixel (pohyb satelitu umožňuje snímání podél jeho pohybu, dále ještě probíhá snímání napříč tratí). To způsobuje malé změny spektrální vlnové délky každého pixelu, tento jev se nazývá „smile effect“ (efekt úsměvu). Přístroj se skládá z 5 kamer, z nichž je každá vybavena vlastním CCD snímačem. Kvůli tomuto způsobu měření může dojít k nepřesnostem a chybám u algoritmů, které vyžadují velmi přesná měření (např. vyhledávání chlorofylu v oceánu). Produkty MERIS úrovně 2 jsou již o tento efekt opraveny, ale produkty úrovně 1b ho ještě obsahují.

Následně byl použit nástroj Cloud Probability Processor, jehož úkolem je stanovit pravděpodobnost, s jakou konkrétní pixel obsahuje oblačnost. Výstup obsahuje tzv. flags, které indikují zda jsou pixely *cloudy* (pravděpodobnost oblačnosti přesahuje 80%), *cloudy free* (pravděpodobnost oblačnosti nepřesahuje 20%) či *uncertain* (pravděpodobnost oblačnosti se pohybuje mezi 20 a 80%).

Poté byly provedeny atmosférické korekce pomocí nástroje SMAC Processor. Jedná se o zjednodušenou metodu pro atmosférické korekce družicových měření v solárním spektru. SMAC vyžaduje, aby vstupní data obsahovala měřené radiance na horní hranici atmosféry, dále údaje o tlaku na povrchu, obsahu ozónu a vodní páry, a hlavně informace o obsahu aerosolů. Lze vybrat, která pásma mají být opravena. Důležitým vstupním údajem je hodnota Aerosol Optical Depth (data o množství aerosolů), která jsem vyhledala na portálu GIOVANNI (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni>). Jedná se o data naměřená senzorem MODIS, aplikace na webových stránkách umožňuje definovat zájmové území i typ vizualizace dat (graf, animace, časová řada). Po zadání hodnoty Aerosol Optical Depth aplikace podle interních dat a modelů provede dopočítání požadovaných hodnot.

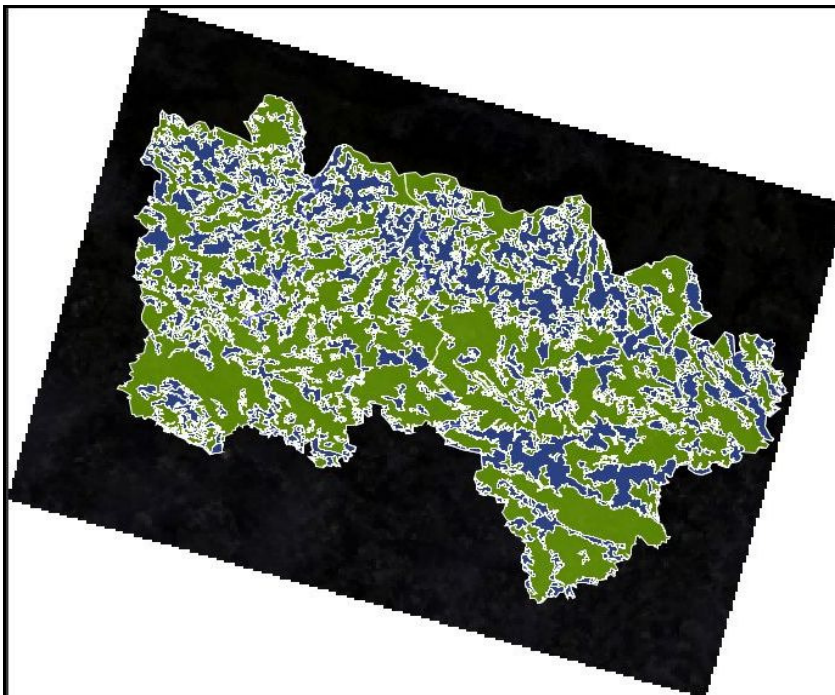
Po provedení korekcí Smile a SMAC jsem přistoupila k samotným vegetačním indexům. Využila jsem nabídky programu BEAMVisat, konkrétně nástroje NDVI v základní nabídce Tools, dále nástroje MERIS FAPAR Procesor a MERIS TOA-VEG Processor instalované ve formě plug-inů z webových stránek <http://www.brockmann-consult.de/beam-wiki/display/BEAM/Plug-ins>. Aplikace vegetačních indexů je popsána v dalších kapitolách. (Na závěr byl vypočten manuálně i index MERIS Terrestrial Index (MTCI) pomocí nástroje Band Arithmetics).

Následně byla provedena ortorektifikace (nástroj Orthorectification v Tools). Pro její fungování bylo nutné stáhnout z webových stránek programu Beam Visat externí digitální model terénu GETASSE 30 DEM (<http://www.brockmann-consult.de/cms/web/beam/software>). Jako mapová projekce byla zvolena projekce UTM, souřadnicový systém WGS 1984 (přesněji WGS84 UTM Zone 33N). Proces převzorkování byl proveden metodou nejbližšího souseda.

Posledním krokem fáze předzpracování byla kolokace se snímkem AATSR (nástroj Collocation v programu BEAM). Tento nástroj je založen na spojení dvou snímků

stejného území, lze sloučit snímek MERIS a AATSR pořízené ve stejný čas či dva snímky MERIS pořízené nad stejným územím v jiné době. Jako vedoucí snímek (master) byl použit ortorektifikovaný snímek MERIS, jako Slave snímek AATSR. Hodnoty vedoucího snímku byly zachovány, snímek AATSR byl převzorkován podle snímku MERIS metodou nejbližšího souseda.

Obr. 1: Zájmová plocha Krkonoš (vyznačena zeleně, modře jsou znázorněny lesy)



Zdroj: vlastní výstup.

4.4 Lesní plochy

Za účelem vybrání lesních ploch byl naimportován shapefile lesa z CORINE Land Cover 2006, oříznutý v programu ArcMap dle vybraného zájmového území. Podle této vrstvy byla v BEAMu vytvořena bitmaska lesa, která posloužila pro výřez lesa z jednotlivých pásem a vegetačních indexů. Byl zvažován i vyzkoušen výběr lesních ploch pomocí řízené klasifikace prostřednictvím nástroje Spectral Unmixing. Tento nástroj pracuje se spektrálními křivkami, které jsou předem zvoleny jako reprezentativní pro daný krajinný pokryv a následně uloženy. Výsledky tohoto postupu vlivem vysoké různorodosti lesního porostu ovšem nebyly zváženy jako dostatečně přesné.

4.5 Vlastní algoritmus pro detekci vegetace

Cílem bylo vytvořit jednoduchý algoritmus, který by zvýraznil vegetaci na snímcích MERIS a potažmo tedy lesy jako její nejvýraznější složku. Byla zvolena možnost vytvoření poměru dvou pásů MERIS.

Do algoritmu vstupují tedy dvě pásma s protichůdnými vlastnostmi z hlediska chování vegetace. Jako dělenec bylo vybráno pásmo 2 se střední vlnovou délkou v 442,5 nm (modrá barva). Toto pásmo je charakteristické maximální absorpcí chlorofylu. Dělitelem se stalo pásmo 10 se střední vlnovou délkou 753,75 nm kvůli vysoké hodnotě odrazivosti (minimální absorpce chlorofylu). Výsledný podíl je tedy $\text{Band2}/\text{Band10}$.

4.6 Vegetační indexy

Vegetační index lze popsat jako redukci multispektrálních skenujících měření na jednu hodnotu, která slouží k určení a posuzování různých charakteristik vegetace (např. celkové hodnoty biomasy, obsahu chlorofylu, výšky rostlin, listové plochy, procento pokryvu vegetací, výnosnosti apod.). Dochází k maximalizování citlivosti na biofyzikální parametry rostlin tak, aby z výsledku bylo možno hodnotit stav a vegetační podmínky. Jejich výhodou je, že eliminují vliv rušivých činitelů (např. atmosféry a půdy). Jedná se o vyjádření vztahu mezi odrazivostí v červené viditelné části spektra (600 – 700 nm) a v blízké infračervené části spektra (700 – 900 nm). Využívá se pro vegetaci typického jevu, značného nárůstu odrazivosti z absorpčního pásu v červené barvě do oblasti vysoké odrazivosti. Existuje mnoho algoritmů pro výpočet vegetačních indexů, většinou jsou ovšem funkčně ekvivalentní.

V této práci bylo užito celé řady vegetačních indexů. Tradičně se při monitoringu vegetace uplatňuje normalizovaný vegetační index (NDVI). Dále byly použity indexy MTCI a MGVI specificky vyvinuté pro práci s daty MERIS. MTCI je spojen s celkovým obsahem chlorofylu ve vegetačním krytu (na jeho povrchu), zatímco MGVI souvisí s frakcí absorbovaného fotosynteticky aktivního záření (FAPAR). Poté byly využity indexy z nabídky nástrojů programu BEAM (BEAM help).

4.6.1 Normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index)

Algoritmus NDVI byl vyvinut pro oddělení zelené vegetace od půdy. Je často používán, protože minimalizuje vlivy topografie a vytváří lineární stupnice měření s normálním rozdělením (www.sci.muni.cz/~dobro/zemsky_povrch_vegetace.html).

Jedná se o podíl rozdílu a součtu blízkého infračerveného a červeného pásma. Standardní vzorec pro normalizovaný diferenční vegetační index je:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

Pro výpočet NDVI byl využit nástroj NDVI Processor v nabídce programu BEAM.

$$\text{NDVI} = (\text{IR_factor} * \text{NIR} - \text{red_factor} * \text{RED}) / (\text{IR_factor} * \text{NIR} + \text{red_factor} * \text{RED})$$

NDVI Processor defaultně počítá s radiancemi šestého a desátého pásma MERIS L1b a využívá také IR_factor a Red_factor.

Tab. 5: Proměnné pro výpočet NDVI v programu BEAM

Jako NIR	radiance_10	753,75 nm
Jako IR_factor	2	
Jako RED	radiance_6	620,00 nm
Jako Red_factor	1	

Zdroj: BEAM help.

Podle předchozí tabulky NDVI Processor počítá normalizovaný diferenční vegetační index počítá jako:

$$\text{NDVI} = (\text{IR_factor} * \text{radiance_10} - \text{red_factor} * \text{radiance_6}) / (\text{IR_factor} * \text{radiance_10} + \text{red_factor} * \text{radiance_6}) \quad (\text{BEAM help})$$

Normalizovaný diferenční vegetační index koreluje především s obsahem zelené hmoty v pixelu (hustoty vegetačního pokryvu). Kromě samotného určení vegetace se tento index používá i pro hodnocení jejího zdravotního stavu. Hodnoty NDVI pro určité povrchy prodělávají i typické změny v průběhu roku čehož lze využít v celé řadě zejména zemědělských a lesnických aplikací. Normalizovaný vegetační index slouží

tedy také pro vytvoření přehledových map stavu vegetace. Hodnoty NDVI se mohou pohybovat v intervalu [-1;+1].

Tab. 6: Hodnoty NDVI pro různé krajinné pokryvy

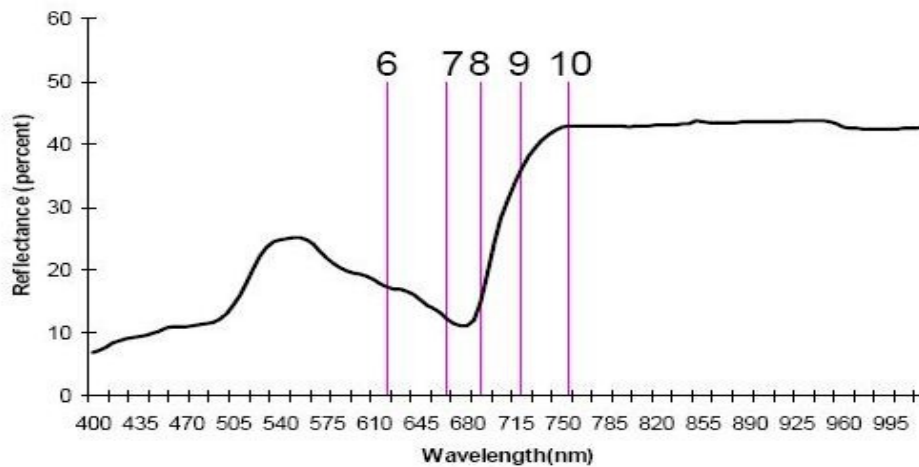
Hustá vegetace	0,5000
Středně hustá vegetace	0,140
Řídká vegetace	0,090
Holá vegetace	0,025
Oblačnost	0,002
Sníh, led	-0,046
Voda	-0,257

Zdroj: http://www.sci.muni.cz/~dobro/zemsky_povrch_vegetace.html

4.6.2 MERIS Terrestrial Chlorophyll Index

Jak už z názvu plyne, algoritmus MERIS Terrestrial Chlorophyll Index (MTCI) je index speciálně určený pro data MERIS. Byl představen v roce 2004 autory P. J. Curranem a J. Dashem. Index je založen na měření přítomnosti zdravé zelené vegetace. Používá se pro sledování stavu vegetace, společně s indexem MERIS Global Vegetation Index (MGVI). MTCI byl navržen tak, aby byla využita spektrální odrazivost v červené barvě a blízkých infračervených vlnových délkách, což umožňuje získat spolehlivé informace o obsahu chlorofylu. Využívá se okraj červené barvy (red edge point, dále REP), který je označován jako bod maximální změny odrazu (maximum první derivace odrazivosti spekter listu). Jedná se o oblast přechodu mezi červenou viditelnou částí spektra a blízkou infračervenou částí spektra. Přítomnost REP je pro vegetaci charakteristická, často je zmiňován v různých studiích zabývajících se vegetací (studie v západní Africe) (Klein, Menz 2005).

Graf 2: Znázornění spektrálních pásem v REP



Zdroj: DASH, CURRAN (2005), s. 8

MERIS Terrestrial Chlorophyll Index se počítá podle vzorce:

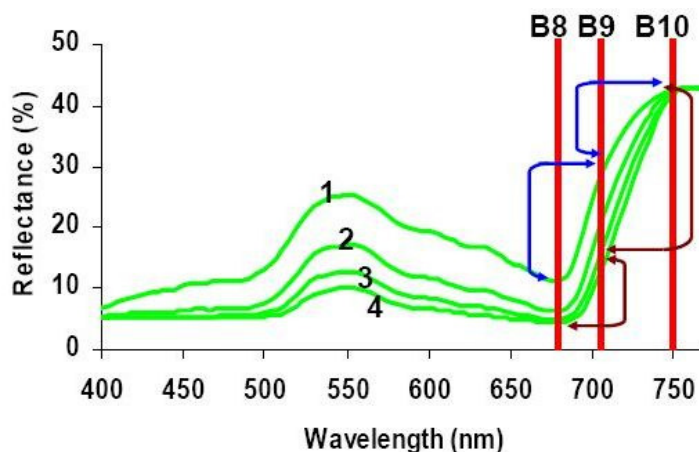
$$\text{MTCI} = (R_{753,75} - R_{708,75}) / (R_{708,75} - R_{681,25})$$

($R_{681,25}$, $R_{708,75}$, $R_{753,75}$ - odrazivosti ve středu pásem 8, 9 a 10)

Při standardním nastavení MERIS se vypočítá jako poměr rozdílu odrazivostí pásem 10, 9 a rozdílu odrazivostí pásem 9 a 8.

$$\text{MTCI} = (R_{\text{Band}10} - R_{\text{Band}9}) / (R_{\text{Band}9} - R_{\text{Band}8})$$

Graf 3: Znázornění MTCI



Zdroj: DASH, CURRAN (2005) s. 11

MTCI vyžaduje atmosféricky upravenou odrazivost, tedy produkt MERIS L2 (snímky MERIS L1b po korekcích a ortorektifaci). Při odhadu MTCI se mohou vyskytnout problémy v případě výskytu sedimentů nasycených vodou či nízké oblačnosti. Pro sedimenty obsahující vodu se odrazivost v pásmech MERIS 8, 9 a 10 mění v závislosti na koncentraci vody. Ve většině případů jsou pixely pokrývající sedimenty obsahující vodu zařazeny do rozpětí MTCI pro vegetaci, tyto pixely by tedy měly být kvůli možné záměně za vegetaci odstraněny. Stejný problém záměny může nastat i v případě výskytu nízké oblačnosti.

Hodnota MTCI větší než 1 indikuje vegetaci, zatímco hodnoty menší než 1 reprezentují všechny ostatní povrchy na pevnině (jako minimum MTCI byla zvolena hodnota 0). Maximální hodnoty MTCI se liší podle typu vegetace. V studii provedené v západní Africe se porovnávaly hodnoty MTCI pro 4 typy biomu. Dokázalo se, že největší hodnoty MTCI jsou v oblastech s pestrým složením vegetace, tedy s vysokým obsahem chlorofylu (pro tropický deštný les se MTCI pohybovalo mezi 2,4 a 3,6; pro savanu jen 1,2 až 1,5; mezi těmito dvěma biomy se umístily listnatý les a mediteránní vegetace) (BEAM help).

4.6.3 MERIS Global Vegetation Index (MGVI)

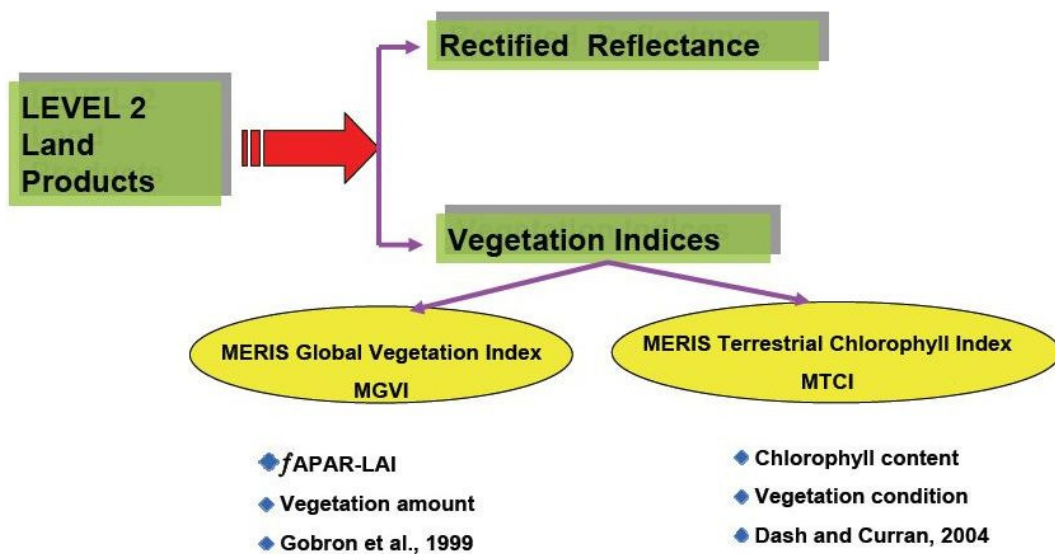
Index MGVI je přímo dostupný v rámci produktu úrovně 2 (MERIS Produkt Level 2). Využívá odrazivosti kanálů 8 (681,25 nm) a 13 (865 nm) a korekce modrého kanálu 2 (442,5 nm). Cílem je minimalizovat geometrické, atmosférické vlivy, vlivy odrazivosti půdy a maximalizovat korelaci s fotosynteticky aktivní radiací (fraction of absorbed photosynthetically active radiation, FAPAR). MGVI nabývá hodnot od 0 do 1.

V této práci byl výpočet uskutečňován pomocí empirického modelu v rámci nástroje FAPAR Processor v nadstavbě software BEAM, který byl speciálně navržen pro analýzu dat MERIS, a jehož cílem je určit odpovídající hodnoty MGVI. FAPAR je založen na výpočtu odhadu frakce absorbovaného fotosynteticky aktivního záření u produktu MERIS Level 1b, je vypočítáván z bezoblačných scén MERIS v prostorovém rozlišení 250 m. Jedná se o algoritmus, který měří sluneční záření absorbované a využívané ve fotosyntetických procesech.

Aplikace spočívá v indikaci přítomnosti vegetace a ve spojení s dalšími vstupy lze prostřednictvím něj odhadnout produktivitu rostlin nebo výměnu uhlíku mezi biosférou a atmosférou. Index využívá poznatku, že živá zelená vegetace má vysokou odrazivost v blízké infračervené části spektra a naopak absorbuje v červené oblasti. V horní části atmosféry však dochází k silné kontaminaci způsobené přítomností aerosolů a vodní páry, a tak se mohou hodnoty odrazivosti výrazně lišit v závislosti na změnách záření půdy (např. po dešti) a na relativní poloze Slunce a pozorovacího přístroje.

Stav a vývoj vegetace je charakterizován celou řadou fyzikálních, biochemických a fyziologických veličin. Algoritmus byl vyvinut, aby vyřešil uvedené nedostatky a poskytl kvantitativní odhad skutečných biofyzikálních veličin relevantních pro fyziologii rostlin (BEAM help).

Obr. 2: Schéma vlastností MTCI a MGVI



Zdroj: Evaluation Zdroj: DASH, CURRAN (2005), s. 13

4.6.4 MERIS Vegetation Processor TOA -VEG

Tento nástroj, který nabízí program Beam Visat, pracuje s daty MERIS úrovně L1b. Cílem je vypočítat následující biofyzikální veličiny:

- LAI (leaf area index) – index listové plochy;
- fCover (canopy cover fraction) – podíl plochy země, na který je vertikálně promítána koruna stromu;
- fapar – odpovídá indexu FAPAR (FAPAR Processor)
- LAIxC_{ab} (canopy chlorophyll content) - obsah chlorofylu ve vegetačním krytu.

Algoritmus je založen na použití trénovací neuronové sítě, která simuluje přenos záření na modelu vegetačního krytu a atmosféry. MERIS Vegetation Processor TOA – VEG používá všechny kanály MERIS mimo 11 a 15.

Kanál 11 je velmi úzké pásmo, kde dochází k absorpci kyslíku (na konci absorpce chlorofylu). Jeho použití by přineslo pouze okrajové doplňující informace o listu a optických vlastnostech pozadí a došlo by k předání chyb v důsledku nepřesné hodnoty tlaku kyslíku.

Kanál 15 obsahuje absorpční pás vody, neposkytl by žádné významné informace o vlastnostech vegetačního krytu ve srovnání s pásmy 12 a 13. Zároveň by se přenesly chyby v důsledku nepřesných hodnot vodní páry.

Optické vlastnosti pozadí jsou zastoupeny spektrálními odrazivostmi typickými pro půdu, vodu a sníh. Smíšené pixely jsou simulovány pomocí vzorků vegetace a pozadí. Simulace odrazivosti v horní části atmosféry ve 13 pásmech MERIS vyžaduje 16 vstupních proměnných, které byly náhodně vybrány v souladu s experimentálním plánem zaměřeným na získání rovnoměrněji obydlených prostor vegetačního krytu.

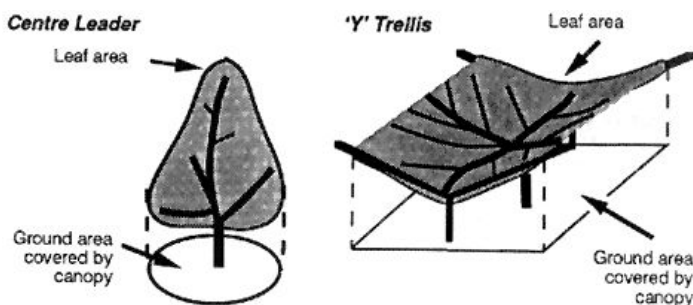
TOA VEG vyžaduje jako vstup kromě odrazivosti měřené na horní části atmosféry (ve 13 pásmech MERIS) také naměřené úhly Slunce a zenitu, relativní azimut a informaci o atmosférickém tlaku.

LAI (Leaf Area Index)

Index listové plochy (LAI) neboli Leaf Area Index vyjadřuje velikost listové plochy vegetace normalizovanou jednotkou povrchu půdy (poměr mezi plochou všech listů

ku ploše základny vertikálního sloupce, kde jsou listy obsaženy), je kvantifikátorem množství nesené listové plochy. LAI se tedy rovná polovině plochy zelené složky vegetace (obsah listového chlorofylu vyšší $15\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) na jednotku plochy půdy. Jednotkou této charakteristiky je m^2/m^2 .

Obr. 3: Znárodnění indexu listové plochy



Zdroj: <http://www.hortnet.co.nz/publications/science/pers4.htm>

LAI definuje velikost rozhraní pro výměnu energie (včetně záření) a hmotnosti mezi vegetačním krytem a atmosférou. LAI je silně neúměrná odrazivosti, proto je jeho odhad pomocí dálkového průzkumu Země silně závislý na měřítku. Index listové plochy zahrnuje všechny zelené složky vegetace, tzn. také podrost.

LAIxC_{ab}

Obsah chlorofylu je velmi dobrým ukazatelem stresu, včetně nedostatku dusíku. Toto množství lze vypočítat jak na úrovni listu, tak na úrovni vegetačního krytu vynásobením obsahu chlorofylu v listu indexem listové plochy, což umožňuje LAIxC_{ab}. Podle nedávných studií by tento produkt mohl být velmi zajímavý pro modely primární produkce, protože lze pomocí něj částečně určit účinnost fotosyntézy. Kromě toho studie prokázaly, že přímý odhad LAIxC_{ab} je více robustnější a přesnější než odhad založený na dvou produktech určených nezávisle na sobě.

Střední rozlišení obvykle spojené s heterogenními pixely činí výrobek LAIxC_{ab} více platný než obsah chlorofylu na úrovni listu.

Tab. 7: Vegetation Processor TOA – VEG : přehled produktů

Produkt	Jednotka	Minimum	Maximum	Rozlišení
fAPAR	-	0	1	0,01
fCover	-	0	1	0,01
LAI	m ² /m ²	0	6	0,01
LAIxC _{ab}	g/m ²	0	500	1

Zdroj: BEAM help

4.7 Jasová teplota

Data AATSR, jak už bylo řečeno, měří kromě odraženého slunečního záření také tepelné vyzařování zemského povrchu. Právě pro tepelné záření je veličinou tzv. jasová teplota (BT, brightness temperature) a jednotkou je 1 Kelvin.

Produkt AATSR obsahuje 3 spektrální pásma v oboru dalekého (tepelného) IČ záření. Jasovou hodnotu lze tedy logicky použít pro stanovení suchosti či vlhkosti krajinného pokryvu. Pixely s největší jasovou teplotou se v BEAMu znázorňují jako nejsvětější.

5 Výsledky

5.1 Modelová území

Jako modelová území byly vybrány dvě oblasti České republiky a to sice Krkonoše a oblast Železných hor a navazujících Žďárských vrchů.

5.1.1 Krkonoše

Krkonoše se nacházejí v severovýchodních Čechách na hranicích České republiky a Polska. Převážnou plochu zaujímá Krkonošský národní park (KRNAP) vyhlášený v roce 1963. Jedná se tedy o náš nejstarší národní park, který se zároveň rozkládá v nejvyšší nadmořské výšce. Národní park a jeho ochranné zóny zaujímají plochu 55 tisíc ha. Lesní ekosystémy pokrývají 83 % plochy KRNAP a 35 % plochy ochranného pásma. V níže položené části na NP navazuje chráněná krajinná oblast Krkonoše.

Krkonoše je jediné pohoří v Česku, kde lze nalézt čtyři lesní vegetační stupně. V nejnižše položeném submontánním stupni (400 - 800m n.m.) rostou především listnaté či smíšené lesy s desítkami druhů rostlin. Ve vyšší nadmořské výšce se v minulém století vyskytovaly smíšené lesy tzv. hercynská směs (smrk, buk a jedle), které byly nahrazeny smrkovou monokulturou. Dalším stupněm je montánní stupeň (800 - 1200 m n.m.) s převahou horských smrčín s rozlehlými rozmanitými horskými loukami. Třetím stupněm je subalpínský stupeň (1200 až 1450 m n.m.). Charakteristické pro něj jsou klečové porosty a severská rašeliniště. Nejvýše je položen alpínský stupeň (1450 - 1602 m.n.m.), kde se už stromy nevyskytují a jsou zde jen kamenité sutě s travnatým a lišejníkovým porostem (<http://www.priroda.cz/clanky.php?detail=33>).

Obr. 4: Mapa Krkonoš



Zdroj: <http://www.oblibene.com/userdata/shopping/vltava/image/gener/big/strazne-mapa-okoli.jpg>

Tato zájmová oblast byla vytyčena v software ArcGis pomocí hranic okresů Jablonec nad Nisou, Semily a Trutnov. Vzniklý výřez tak obsahuje nejen samotné Krkonoše ale také jejich podhůří.

Tab. 8: Nejvíce zastoupené druhy stromů v Krkonoších (v %)

Dřevina	Druhová skladba dnes	Přirozená druh. skladba	Optimální druh. skladba
jedle bělokorá	0,10	15,55	9,19
kleč	6,90	6,13	6,13
modřín opadavý	0,90	0	0
smrk ztepilý	86,7	49,44	49,03
jehličnany celkem	94,60	71,12	64,35
buk lesní	2,60	26,68	30,43
jeřáb ptačí	0,60	1,30	2,37
ostatní listnáče	2,20	0,90	2,85
listnáče celkem	5,40	28,88	35,65

Zdroj:

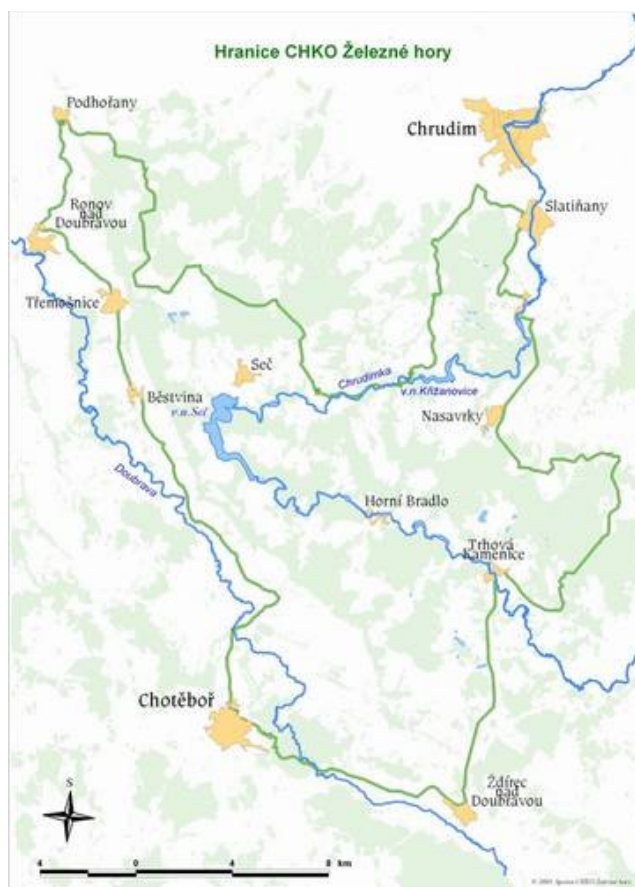
<http://krnap.cz/index.php?option=content&task=category§ionid=25&id=80&Itemid=99>

5.1.2 Železné hory a Žďárské vrchy

Toto území zaujímá severní část Českomoravské vrchoviny (oblast byla vymezena pomocí hranic okresů Chrudim, Havlíčkův Brod a Žďár nad Sázavou). Zatímco Železné hory se nacházejí na severozápadě, z jihu navazující Žďárské vrchy leží v její severovýchodní části. Železné hory zabírají plochu zhruba asi 600 km², Žďárské vrchy 700 km², oba regiony byly vyhlášeny chráněnou krajinnou oblastí (Železné hory roku 1991, Žďárské vrchy roku 1970). Dodnes se zde podařilo zachovat charakter vyvážené a svým způsobem zachovalé kulturní krajiny.

Území Železných hor má nižší nadmořskou výšku (průměr 450 m n. m.) a je charakteristické zlomovým hřebenem, který se táhne od severozápadu k jihovýchodu (od Ždírcu nad Doubravou až k Týnci nad Labem). Žďárské vrchy mají mírné svahy se zaoblenými vrcholy, ale centrální lesnatá část je položena ve vyšší nadmořské výšce.

Obr. 5: Mapa CHKO Železné hory



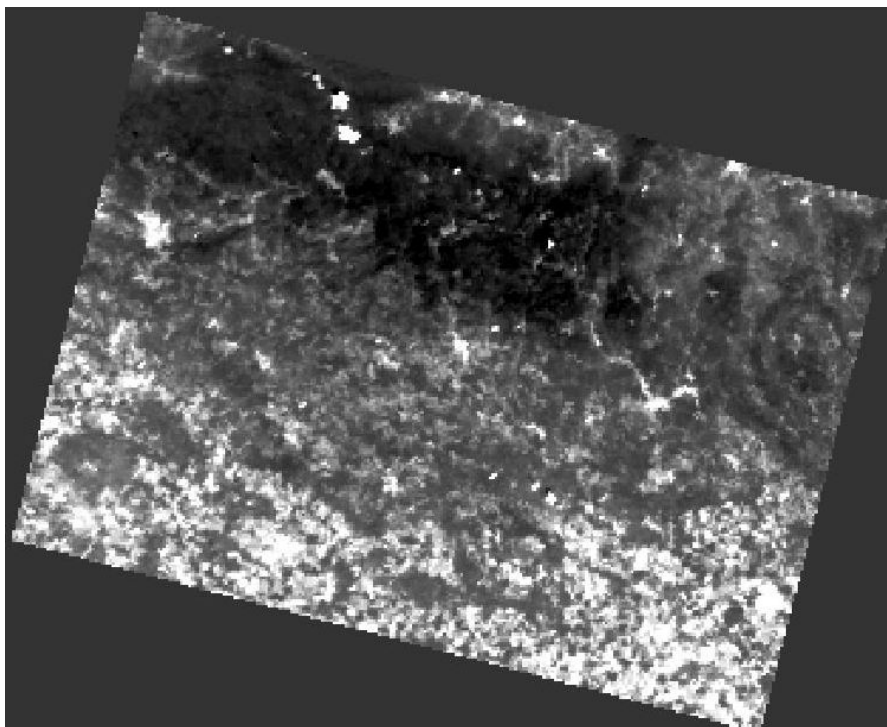
Převážná část oblasti má ráz členité krajiny, kde se střídají lesy s loukami a poli. Původní smíšené lesy byly v minulých stoletích z velké části vytěženy a byly nahrazeny smrkovými monokulturami. V současnosti se vysazují i nové listnaté porosty a v některých rezervacích můžeme zahlédnout i původní porosty ponechané samovolnému vývoji. Flóra i fauna je druhově bohatá a ve vyšších oblastech se vyskytují i některé horské druhy (<http://www.ochranaprirody.cz/?cmd=page&type=102>).

Zdroj: <http://www.zeleznehory-hm.cz/>

5.2 Vlastní algoritmus pro detekci lesa

Tento jednoduchý algoritmus vytvořený jako poměr pásem MERIS 2 a 10 umožňuje zvýraznit plochy pokryté vegetací.

Obr. 6: Algoritmus pro zvýraznění vegetace (snímek Krkonoš z 1. 8. 2009)



Zdroj: vlastní výstup

V programu BEAM se po aplikaci tohoto algoritmu zobrazí území s nejbujnější vegetací defaultně nejtmašším odstínem. Na zvýrazněném snímku Krkonoš (obr. 5) je patrný celistvý pás lesa.

5.3 Výsledky vegetačních indexů a jasové teploty

Vegetační indexy a také výsledky jasové teploty byly hodnoceny zejména na základě výstupů z programu BEAM Visat (zpracované snímky, histogramy) a také z map vytvořených v ArcMapu. Snímky byly porovnávány podle časové posloupnosti tak, aby byl zachycen vývoj v průběhu vegetačního cyklu. U většiny z nich bylo zkoumáno je-

jich chování v různých nadmořských výškách (pomocí importu vrstevnic po 200 m do uvedených programů).

5.3.1 Normalizovaný rozdílový vegetační index

Index NDVI nabývá hodnot od -1 do 1, přičemž pro vegetaci obecně je charakteristická vysoká hodnota NDVI. Pomocí indexu NDVI je možné určit také zdravotní stav vegetace. Hodnoty NDVI jsou závislé na vegetačním cyklu stromů a tedy na ročním období. Pixely s nízkou hodnotou se svou odrazivostí přibližují holé půdě. Hojně se vyskytují na snímcích z dubna, kdy vegetace ještě není vyvinuta (listy se plně vyvíjí v květnu). V případě Krkonoš se nízké hodnoty v letním období často vyskytují v nejnvýše položené (pohraniční) oblasti, kde nejsou vzrostlé stromy ale pouze porosty kleče. Střední hodnoty (pro vegetaci) se čteně vyskytují v nadmořských výškách kolem 600 m n. m. Zmíněné poznatky ukazují na závislosti indexu NDVI na nadmořské výšce. Ze snímků z června a srpna, kdy už jsou listy plně vyvinuty, lze vypožorovat také závislost indexu NDVI na druhovém složení. Smíšený les vykazuje na těchto snímcích vyšší hodnoty NDVI než porost jehličnatého lesa (vymezení jehličnatého a smíšeného lesa bylo provedeno pomocí dat CORINE Land Cover).

Nejvyšší hodnoty NDVI byly zaznamenány v letním období (červen – srpen), jednalo se o hodnoty až kolem 0,7. Tyto pixely tedy zahrnují oblast s nejvíce vyvinutým nejbohatším lesním porostem. V podzimním období hodnota NDVI opět postupně klesá. V porovnání dvou zájmových oblastí Krkonoše vždy vykazují větší rozmanitost hodnot NDVI, což je dáno větší heterogenitou tohoto zájmového území.

NDVI koreluje s některými parametry vegetační složky krajiny např. indexem listové pokrývnosti LAI (celková plocha horní strany listu na horizontální jednotku plochy).

5.3.2 MERIS Terrestrial Chlorophyll Index

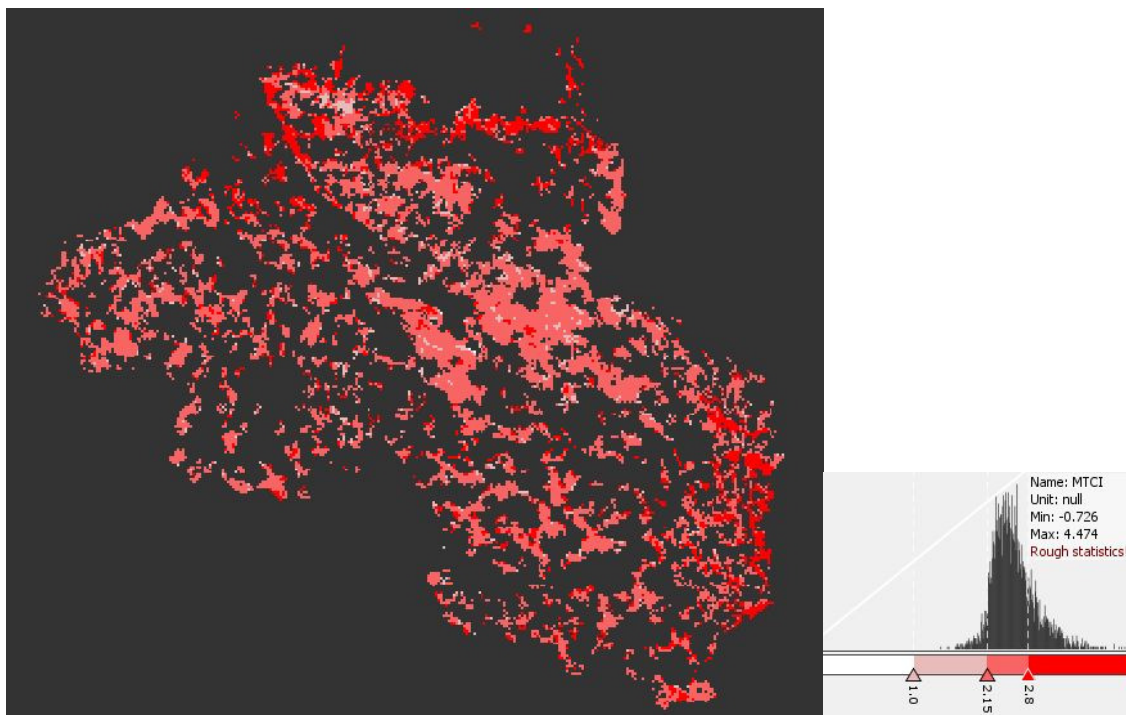
Index MTCI je spojen s celkovým obsahem chlorofylu, proto jeho hodnoty korelují s ostatními indexy na něm založených. Jedná se zejména o LAI_{cab} a NDVI (s rostoucí hodnotou MTCI rostou i hodnoty těchto indexů). Na rozdíl od indexu NDVI je

MTCI schopný postihnout změny vegetace (např. začátek a konec vegetačního cyklu, poškození vegetace) mnohem dříve, což je dáno jiným spektrem biofyzikálních proměnných a jinou citlivostí na nezelenou složku vegetace.

V dubnu se MTCI vyšplhal maximálně k hodnotám kolem 2. V letním období se maxima pohybují kolem 3, což je dáno vyšším obsahem chlorofylu oproti dubnu. Vstup je patrný nejvíce u smíšených a listnatých lesů, protože mají již zcela vyvinuty listy. V Krkonoších byly zaznamenány vždy nižší hodnoty než na severu Českomoravské vrchoviny. Nejnížší hodnoty se v letním období vyskytovaly spíše na plochách pokrytých jehličnatým lesem, zatímco smíšený les vykazoval střední až vyšší hodnoty.

Na většině snímků byla zjištěna pásovitost hodnot indexu v závislosti na nadmořské výšce (v dubnu méně znatelné). V podhůří Krkonoš a naopak v nejvýše položené oblasti a také v nejnižě položených částech severu Českomoravské vrchoviny dosahovaly pixely spíše nižších hodnot, nad 600 m to byly hodnoty vyšší (kolem 2,5 až 3).

Obr.7: MTCI dne 14. 6. 2009 v Železných horách a Žďárských vrších



Zdroj: vlastní výstup

5.3.3 MERIS Global Vegetation Index

Tento index je zaměřen na určení přítomnosti vegetace. Jeho hodnota se pohybuje od 0 do 1. Na snímcích z dubna jsou hodnoty FAPAR velice nízké, dosahují pouze hodnot kolem 0,2 a pixely mající tyto nejvyšší hodnoty jsou velice rozdrobené. V červnu byl zaznamenán nárůst hodnot až k 0,5 ovlivněný průběhem vegetačního cyklu. Většina pixelů s nejvyššími hodnotami jsou dle CORINE Land Cover pokryty smíšenými lesy, zatímco pixely s nízkými a průměrnými hodnotami spíše patří do třídy jehličnatého lesa.

Význam tohoto indexu v této práci je jen doplňkový, protože lesní plochy byly vymezeny pomocí dat CORINE Land Cover 2006.

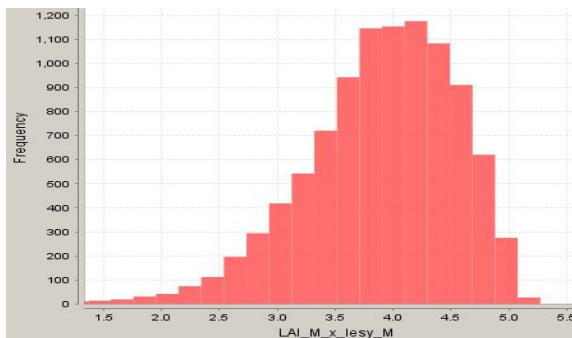
5.3.4 Index listové plochy

Index listové plochy (LAI) je poměr plochy listů k ploše půdy. Lze tedy podle něj určit, jaké procento půdy je pokryto zelenou vegetací. Pro většinu rostlin se index zvyšuje s věkem a dosahuje maximálně 2,0 až 5,0.

Index LAI se na vybraných snímcích pohybuje zhruba od 0,5 do 5,4. Jeho hodnota je závislá na vegetačním období. V dubnu dosahuje v Krkonoších maximálně hodnoty 4 a na severu Českomoravské vrchoviny 4,5. V červnu je to už i více než 5 (Krkonoše 5, Železné hory a Žďárské vrchy 5,3). Vysoké hodnoty tedy značí, že v dané oblasti je velká hustota lesa. Krkonoše dosahují většinou nižších hodnot než sever Českomoravské vrchoviny, což je zřejmě způsobeno jejich vyšší nadmořskou výškou, která právě ovlivňuje pozdější růst listů stromů a zpožďuje tak průběh vegetačního cyklu.

Pro index listové plochy je charakteristická pásmovitost. Nejvíce se tato vlastnost projevila v Krkonoších (druhé zájmové území není tak výškově rozdílné) v letním období, kdy už jsou listy stromů plně vyvinuty. Pixely s nejvyššími hodnotami se objevují kolem 800 m, zatímco pixely s nejnižšími hodnotami se kumulují spíše v nižších oblastech (přibližně 600 – 400 m) nebo naopak v pásu kolem vrstevnice 1000 m. Nad vrstevnicí 1000 m se hodnoty LAI blíží nule po celé vegetační období.

Graf 4: Histogram indexu listového pokrytí (ze dne 14. 6. 2009)



Zdroj: vlastní výstup

5.3.5 LAIxC_{ab}

Jedná se o index určující obsah chlorofylu na úrovni vegetačního krytu (vynásobením obsahu chlorofylu v listu indexem listové plochy). Hodnoty LAIxC_{ab} ve většině případů korelovaly s hodnotami LAI. Opět byla zjištěna závislost na nadmořské výšce, stejně jako u indexu listové plochy. Index LAIxC_{ab} se pohyboval v rozmezí hodnot přibližně od 50 do 290. V dubnu byly hodnoty v Krkonoších i na severu Českomoravské vrchoviny velmi vyrovnané, zatímco v červnu došlo ke změně. V letním období došlo k diferenciaci způsobené zvýšením obsahu chlorofylu. V červnu bylo v Krkonoších dosaženo hodnoty 288, nejvíce byly zastoupeny hodnoty mezi 130 a 160. Na severu Českomoravské vrchoviny bylo dosaženo maxima 210, většina hodnot se pohybovala 120 až 175.

V Krkonoších bylo tedy v létě dosaženo vyšších hodnot LAIxC_{ab} než v Železných horách a Žďárských vrších, je to zřejmě dáno vyšší hustotou krkonošských lesů.

5.3.6 Jasová teplota

Jasová teplota (BT) byla zkoumána prostřednictvím kanálu AATSR 11 (se středem ve vlnové délce 10,85 μm). Zkoumání tohoto kanálu bylo spojeno s pozorováním chování indexu listové plochy za účelem potvrzení hypotézy závislosti jasové teploty na rozsahu vegetačního krytu. Vysoké hodnoty BT se vyskytují na území, kde vegetace

není příliš hustá (LAI vyšších hodnot), jedná se tedy o nejvýše položené oblasti Krkonoš, dále jejich podhůří a nízko položené části severu Českomoravské vrchoviny.

Vysoká hodnota jasové teploty indikuje suché oblasti, často se jedná o řídký porost lesa, který rychleji vysychá než hustý porost. Nižší hodnoty tedy naopak ukazují na souvislé lesní plochy, které bývají vlhčí.

5.4 Zdravotní stav lesa

Hodnocení zdravotního stavu lesa je velmi složitý problém. Snahou bylo ho vyhodnotit pomocí komplexních výsledků uvedených vegetačních indexů. Přímou pro hodnocení kondice vegetace jsou určeny indexy NDVI a MTCI, nicméně přesná stanovení nebyla na zájmových oblastech tohoto rozsahu příliš možná. Obecně lze říci, že zdravá vegetace má v letním období větší hodnoty odrazivosti a vegetačních indexů ve srovnání s poškozenou vegetací. Na jaře tento rozdíl není rozeznatelný.

V případě zájmového území Železných hor a Žďárských vrchů lze říci, že jejich zdravotní stav je dobrý. Hodnoty vegetačních indexů nevykazují žádné velké odchylky od průměru. Pouze na malém území v Železných horách byly zaznamenány v letním období nižší hodnoty vegetačních indexů (např. $MTCI < 1$), což ukazuje na horší kondici lesního porostu.

Naopak Krkonoše se stále vyrovnávají s kalamitními zatíženími zejména z 80. let minulého století, dokladem toho jsou nízké hodnoty vegetačních indexů v nejvíce postižených oblastech. Jedná se například o lesní plochy v západních Krkonoších a také v jejich nejvýchodnější části. Nízké hodnoty NDVI a MTCI vykazuje zejména vysoko položená část středních Krkonoš. Nabízí se vysvětlení v podobě vlivu znečištění z Polska, ovšem může se jednat o prostou závislost na nadmořské výšce prokázanou na všech snímcích (mimo dubnové). Prokázat, zde jsou nízké hodnoty ovlivněny nadmořskou výškou či špatným zdravotním stavem lesa je problematické. Nabízí se řešení v podobě srovnání s dalšími datovými zdroji (viz. níže).

5.4.1 Srovnání s daty ÚHUL

Mapové výstupy byly srovnány s Mapou zdravotního stavu lesů ČR z družicových snímků vytvořenou Úřadem pro hospodářskou úpravu lesů dostupnou na www.uhul.cz/carto ve formě WMS. Tato analýza ovšem nemohla být úplná, protože ÚHUL odmítl s odvoláním na zachování know-how úřadu sdělit, na základě jakých algoritmů mapy vznikly. Bylo tedy provedeno jen vizuální srovnání map zdravotního stavu zveřejněných na webových stránkách. V nabídce lze vybrat mapy z různých časových období, nejaktuálnější mapy jsou zde k dispozici z roku 2008.

Oblast Krkonoš na mapách ÚHUL vykazuje velkou heterogenitu zdravotního stavu. Jsou zde zaznamenány území zdravá, s prvními příznaky poškození, mírně, středně, silně i velmi silně poškozená. Nejhorší zdravotní stav je detekován v nejvýše položené části nad Špindlerovým Mlýnem a Pecí pod Sněžkou, dále severovýchodně od Trutnova a také v menší míře na západě Krkonoš. Toto vymezení se shoduje s výsledky vegetačních indexů NDVI, LAI a MTCI.

Druhá zájmová oblast je svým zdravotním stavem podle map ÚHUL výrazně kompaktnější, zejména oblast Žďárska je označována jako zdravé území, pouze malé plochy jeví první příznaky poškození či jsou poškozeny mírně. Nejvíce poškozené lesy se nachází v Železných horách (v severní části lesních ploch v okrese Chrudim). Podle mapy poškození a mortality jehličnatých porostů ÚHUL jsou tyto lesy silně až velmi silně poškozeny. Hodnocení zdravotního stavu na základě vegetačních indexů určilo tuto zájmovou oblast celkově jako homogenní, se zdravým lesním porostem. Oblast s nejhorším zdravotním stavem, stanovená v mapách ÚHUL, byla též pomocí vegetačních indexů určena jako nejpoškozenější, ale její územní rozsah není tak veliký.

6 Diskuze

Pro popsání vlastností lesních ploch ve vybraných zájmových územích byla použita data MERIS a AATSR, která byla posléze zpracovávána a částečně vyhodnocena v programu BEAM VISAT. Pro uživatele je výhodné, že je tento program volně dostupný ke stažení na internetu, ovšem má i mnoho nedostatků. Hlavním problémem je určitě fakt, že nenabízí možnost zpracování výsledků do podoby mapy. Následně je tedy nutné exportovat výstupy do jiného programu, v této práci byl využit ArcGis. Firma Brockmann Consult často vydává nové verze programu BEAM, ale jeho změny nebyly v metodice práce nijak využity.

Lesní plochy jsou velmi rozmanité, a tak jakékoliv jejich hodnocení není jednoduché. Řada studií na toto téma využívá spíše data s vyšším prostorovým rozlišením než má MERIS, nejčastěji se v České republice pracuje s daty z družice Landsat TM (prostorové rozlišení: 30 m) nebo i Ikonos (prostorové rozlišení: 4 m). Pro zpracování dat MERIS jsou vyvinuty vegetační indexy, které jsou pro tato data speciálně určené. Lesní porost je ovšem velmi složitý ekosystém, který je ovlivněn mnoha činiteli. Problematiká bývá např. tematika druhového složení lesa. Sice většina lesích ploch v České republice je tvořena smrkovou monokulturou, avšak roli hrají i další faktory jako stáří stromů, různá výška, vliv podrostu atd. Větší využití dat MERIS a pro ně vytvořených vegetačních indexů je dosahováno zřejmě spíše pro studium vegetace obecně.

Cílem této práce bylo mj. určit vhodnost použití jednotlivých vybraných vegetačních indexů pro studium lesních ploch z dat MERIS. Často využívaný index normalizovaný rozdílový vegetační index byl shledán jako velice obecným, v některých případech nepřesným ukazatelem pro sledování lesních ploch vybraného rozsahu. Více byl tedy využit index listové plochy (např. v kombinaci s jasovou teplotou). Jako vhodný se ukázal i MERIS Terrestrial Chlorophyll Index. Pomocí těchto dvou indexů bylo sledováno

chování lesních ploch v průběhu vegetačního cyklu. Pouze doplňkový význam měly indexy MERIS Global Vegetation Index a LAI_{C_{ab}}.

Vybrané zájmové oblasti jsou velmi odlišné. Krkonoše jako nejvyšší pohoří v Česku disponují velkou rozmanitostí terénu. Lesní porosty zde tvoří povětšinou rozsáhlé komplexní celky. Původní krkonošské ekosystémy byly velmi pestré a disponovaly vysokou biodiverzitou, v průběhu historického vývoje posledních čtyřech století však byly negativně ovlivněny hospodářskou činností člověka. Současné problémy jsou také spojeny s antropogenními faktory, především s imisní zátěží a turistickým ruchem v kombinaci s přírodními faktory. Zdravotní stav lesních porostů v Krkonoších je stále ovlivňován kalamitními poškozeními, která jsou zaznamenána již na konci 18. století, větší pozornost jim však byla věnována až ve století dvacátém. Obrovský dopad na lesy měla imisní kalamita v průběhu sedmdesátých až devadesátých let minulého století, která postihla celé pohoří.

Poškození lesních ploch v západní části je patrné z nízkých hodnot NDVI ($< 0,4$), LAI (kolem 2, zatímco nejvyšší hodnoty se vyšplhaly až k 4,2) a MTCI (kolem 1,5, přičemž maxima se pohybovala kolem 4) v letním období. Pravděpodobně je to způsobeno vlivem provozu velkých elektráren ležících v okolí města Zittau těsně za německými hranicemi (v činnosti od 70. let). K největším emisním zdrojům ovlivňujícím lesy na západě Krkonoš (a i lesy v Jizerských horách) dosud patří polská tepelná elektrárna Turów u polského města Bogatynia.

Na východě Krkonoš lze rozpoznat poškození lesa na základě hodnocení vegetačních indexů výrazněji. Hodnoty vegetačních indexů NDVI, LAI a MTCI jsou podobné jako v západní části, ovšem pixely obsahující tyto hodnoty zde tvoří větší shluky. V této části Krkonoš se zvýšení imisního zatížení odhaduje na období přelomu 50. a 60. let, kdy byla uvedena do provozu elektrárna v Poříčí u Trutnova.

Jako nejvíce poškozené byly shledány lesní plochy v nejvýše položené části Krkonoš (v oblasti Špindlerova Mlýna a Pece pod Sněžkou směrem k polským hranicím). Zde se nacházely vždy nejmenší hodnoty vybraných vegetačních indexů (v létě NDVI těsně nad 0, LAI kolem 0 až 1, MTCI mezi 1,5 a 2). Stanovit tuto oblast jako poškozenou nebylo jednoznačné. Bylo uvažováno, zda nízké hodnoty indexů nemohou být dů-

sledkem vysoké nadmořské výšky. Srovnání s mapami zdravotního stavu ÚHUL však potvrdilo hypotézu, že tyto lesy jsou skutečně ve špatném zdravotním stavu.

Poškození horských ekosystémů z posledních desetiletí 20. století postupně odeznívá, od let 1996 a 1997 bylo zaznamenáno postupné zlepšování zdravotního stavu, ale důsledky budou v Krkonoších patrné ještě mnoho let. V komplexní stresové zátěži lesních dřevin v Krkonoších hrají v posledních pěti letech důležitou roli i jiné faktory než imise, jedná se zejména o škody způsobené zimním vysycháním, suchem a ozonem. Podle studie O. Schwarze za katastrofou stojí kromě extrémního znečištění ovzduší (s ním související kyselé srážky) i pět století intenzivního hospodářského využívání ve snaze vytěžit z krajiny co nejvíce kvalitního dřeva. Autor varuje, že chřadnutí lesních porostů způsobené dlouhodobým vyčerpáváním půd na řadě míst pokračuje. Výzkum prokázal, že velikost atmosférické depozice (ukazatel pro množství látek vstupujících do lesního ekosystému) se v různých oblastech Krkonoš liší. Záleží na rozdílných půdních podmínkách v závislosti na matečné hornině a na rychlosti jejího zvětrávání. Čím je podloží minerálně bohatší a čím rychleji probíhá proces zvětrávání, tím je půda bohatší na živiny a lépe tak odolává okyselení a les zde rostoucí má větší šanci na přežití.

Druhá zájmová oblast Železných hor a Žďárských vrchů je spíše vrchovinného až pahorkatinného typu, proto zde není taková rozmanitost vegetace jako v Krkonoších. Území je charakteristickou poměrně vysokou mírou zalesnění a zejména nejvyšší partie jsou pokryty souvislým lesním porostem. Monokultury smrku jsou zde nyní většinou ve druhé generaci a již se projevují nevýhody těchto porostů. Jedná se zejména o časté kalamity způsobené sněhem, větrem, jinovatkou a námrazou (nejtypičtější). Podíl kalamit se zde v dlouhodobém průměru pohybuje kolem 40 % normálních těžeb a svým rozsahem značně omezuje plánované lesní hospodářství. Buk je proti těmto poškozením odolný, proto by bylo vhodné jeho plochy alespoň částečně obnovit.

Zdravotní stav lesních porostů na severu Českomoravské vrchoviny je dlouhodobě vyrovnaný. Nepůsobí zde antropogenní vlivy v takové míře jako např. v Krkonoších, aby došlo k významnému ovlivnění kondice lesů. Výjimkou je pouze malá oblast v Železných horách, která byla detekována na základě nízkých hodnot vegetačních indexů v letním období. Toto území je dobře rozpoznatelné podle nízkých červnových

Romana Musilová: Využití družicových dat vysokého časového rozlišení pro sledování lesních ploch v Česku

hodnot MTCI (1 až 2, zatímco většina území 2 až 3) a LAI ($< 2,5$, přičemž většina hodnot v rozmezí 3 až 5). Na mapách zdravotního stavu ÚHUL je toto území identifikováno také jako nejsilněji poškozené.

7 Závěr

Tato práce se zabývá problematikou využití družicových dat MERIS za účelem sledování lesních porostů ve vybraných zájmových územích. V posledních letech se využití satelitních snímků v tomto oboru věnuje velká pozornost.

Nejdříve bylo provedeno vybrání vhodných snímků za rok 2009, které obsahovaly pozorovaná území a které nesměly obsahovat velké množství oblačnosti. V některých obdobích byl tento výběr značně omezen (např. za měsíc červenec nebyl nalezen v databázi žádný snímek MERIS dostatečné kvality, aby mohl být zařazen do analýzy). Vybrání snímků AATSR pro kolokaci se snímky MERIS bylo taktéž obtížné, protože databáze KAGIK za rok 2009 je velice omezená. Snímek musel splňovat kritérium malé oblačnosti, dále územní kritérium a také se musel se i časově shodovat se studovanými snímky MERIS.

Jedním z cílů práce bylo také naučit se ovládat práci s programem BEAM VISAT a pomocí jeho nástrojů umět zpracovávat družicová data. Nejdříve se vybraná data předzpracovala, následovalo vypočítání vegetačních indexů a na závěr stanovení jednoduchého algoritmu pro detekci lesních ploch. Posledním krokem bylo zhodnocení výsledků a vypracování mapových výstupů.

Zvolené vegetační indexy dobře posloužily pro hodnocení změn během vegetačního cyklu lesních porostů. Všechny zachytily rozdíly mezi stavem vegetace na jaře a v létě, tj. zvýšení obsahu chlorofylu během měsíce května. Vysoké hodnoty indikují dobrý zdravotní stav, naproti tomu nízké hodnoty určují špatný zdravotní stav.

Cíle práce byly splněny v částečné míře. Podařilo se popsat průběh vegetačního cyklu pomocí vegetačních indexů a vlhkostní poměry pomocí jasové teploty. Bylo zjištěno, že zdravotní stav lesa lze na základě použité metodiky obecně zhodnotit. Použité indexy se ukázaly jako vhodný nástroj pro monitoring lesních ploch. Optimálním postupem by bylo jistě spojení s dalšími datovými zdroji.

SEZNAM ZDROJŮ INFORMACÍ

Literatura

DASH, J., CURRAN, P. J. (2005): *Evaluation and applications of the MERIS Terrestrial Chlorophyll Index*, University of Southampton, UK, 41 s.

KLEIN, D., MENZ, G. (2005): *Vegetation assesment in East Africa usány MGVI and Red Edge Positron from Envisat MERIS data*. MERIS (A)ATSR Workshop 2005 26 - 30 September 2005 ESRIN, Frascati, Italy. Dostupné z URL: <http://adsabs.harvard.edu/full/2005ESASP.597E..44K>.

KOLÁŘ, J. (1989): *Dálkový průzkum Země*. SNTL, Praha, 1. vydání, 170 s.

KOLÁŘ, J. (2008): *Informační služby s využitím pozorovacích družic*. Studie. Praha, Czech Space office, 54 s.

KOLÁŘ, J. (2008): *Radarová obrazová data a jejich využití*. Studie. Praha, Czech Space office, 55 s.

KOLÁŘ, J., HALOUNOVÁ, L., PAVELKA, K. (1997): *Dálkový průzkum Země*. Skriptata, ČVUT v Praze, 1. vydání, 164 s.

ESA (2006): *MERIS Product Handbook*, Envisat MERIS Product Handbook, 1.1. European Space Agency, Paris.

Romana Musilová: Využití družicových dat vysokého časového rozlišení pro sledování lesních ploch v Česku

ESA (2007): *AATSR Product Handbook*, Envisat AATSR Product Handbook, 1.1. European Space Agency, Paris.

HÁJEK, F. (2006): *Automatická extrakce porostních údajů z obrazových dat DPZ*. Lesnická práce: časopis pro lesnickou vědu a praxi. 2006, roč. 85, č. 4.

LIILLESAND, T.M., KIEFER, R.W. (2000): *Remote Sensing and Image Interpretation*, New York, 750 s.

SCHWARZ, O. (2008): *Diagnóza pro smrkové lesy*. Současný vědecký výzkum v Krkonoších. Vrchlabí, 1. vydání, 33 s.

ZELENKOVÁ, K (2009): *Využití družicových dat pro určení rozsahu sněhové pokrývky*. Diplomová práce. Praha: Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta. 69 stran.

Internet

Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. Dostupné z: <http://www.ochranaprirody.cz> [cit. 2009-08-05].

BEAM. Dostupné z <http://www.brockmann-consult.de/cms/web/beam/.cz> [cit. 2009-04-20].

CENIA. Dostupné z <http://www.cenia.cz> [cit. 2009-08-10].

eAGRI. Dostupné z <http://www.eagri.cz> [cit. 2009-04-12].

ESA. Dostupné z <http://www.esa.int> [cit. 2009-05-15].

Romana Musilová: Využití družicových dat vysokého časového rozlišení pro sledování lesních ploch v Česku

Giovanni. Dostupné z: <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni> [cit. 2009-06-25].

Gisat, s. r. o. Dostupné z: <http://www.gisat.cz> [cit. 2009-06-15].

HortNet. Dostupné z <http://www.hortnet.co.nz> [cit. 2009-07-25].

Krkonošský národní park. Dostupné z: <http://www.krnap.cz> [cit. 2009-07-10].

Ústav pro hospodaření s lesy. Dostupné z: <http://www.uhul.cz> [cit. 2009-07-10].

Výuka krajinné ekologie a DPZ. Dostupné z:

http://www.sci.muni.cz/~dobro/zemsky_povrch_vegetace.html [cit. 2009-07-01].

Železnohorský region. Dostupné z: <http://www.zeleznehory-hm.cz> [cit. 2009-07-11].

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: NDVI - Železné hory a Žďárské vrchy dne 2. 4. 2009.....	I
Příloha 2: NDVI - Železné hory a Žďárské vrchy dne 1. 8. 2009.....	II
Příloha 3: LAI - Krkonoše dne 11. 4. 2009.....	III
Příloha 4: LAI - Krkonoše dne 14. 6. 2009.....	III
Příloha 5: Histogramy LAI - Krkonoše.....	IV
Příloha 6: Histogramy LAI - Železné hory a Žďárské vrchy	VI
Příloha 7: MTCI - Krkonoše dne 2. 4. 2009.....	VII
Příloha 8: MTCI - Železné hory a Žďárské vrchy dne 1. 8. 2009.....	VII
Příloha 9: LAIxC_{ab} - Krkonoše dne 11. 4. 2009.....	VIII
Příloha 10: LAIxC_{ab} - Krkonoše dne 14. 6. 2009.....	VIII
Příloha 11: LAIxC_{ab} - Železné hory a Žďárské vrchy dne 2. 4. 2009.....	IX
Příloha 12: LAIxC_{ab} - Železné hory a Žďárské vrchy dne 14. 6. 2009.....	IX
Příloha 13: Detekce území s nejhorším zdravotním stavem	
- Železné hory a Žďárské vrchy.....	X
Příloha 14: Detekce území s nejhorším zdravotním stavem - Krkonoše.....	X
Příloha 15: Mapa poškození a mortality lesních porostů	
- Železné hory a Žďárské vrchy.....	XI
Příloha 16: Mapa poškození a mortality lesních porostů - Krkonoše.....	XII
Příloha 17: Výškové vegetační stupně Krkonoš.....	XIII