

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE



FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ



**KATEDRA APLIKOVANÉ GEOINFORMATIKY
A ÚZEMNÍHO PLÁNOVÁNÍ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**SLEDOVÁNÍ ZMĚN V KRAJINĚ ZA POMOCI
VEGETAČNÍHO INDEXU NDVI A TRANSFORMACE
TASSELED CAP S VYUŽITÍM DRUŽICOVÝCH DAT
LANDSAT**

Vedoucí práce: Mgr. Jitka Kumhálová, Ph.D.

Konzultant: Ing. Tomáš Klouček

Diplomant: Bc. Martina Mařašová

2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Martina Maťašová

Regionální environmentální správa

Název práce

Sledování změn v krajině za pomoci vegetačního indexu NDVI a transformace Tasseled Cap s využitím družicových dat Landsat

Název anglicky

Monitoring of changes in landscape with help of vegetation index NDVI and Tasseled Cap transformation with the use of Landsat images

Cíle práce

Cílem této diplomové práce je posoudit změny v krajině v letech (1990, 2000) s využitím volně dostupných družicových dat Landsat ve vybrané lokalitě Karlovarského kraje u zvolených kategorií krajinného pokryvu (lesy, zástavba, orná půda, vodní plochy) a porovnat dosažené výsledky s databází dlouhodobých změn využití ploch Česka LUCC.

Metodika

Studentka na uvedené téma zpracuje literární rešerši, která bude obsahovat popis teoretických základů a použitých metod dálkového průzkumu Země, včetně popisu vstupních dat a charakteristiky zájmového území.

Ke zpracování bude využito volně dostupných družicových dat Landsat. Pro sledované roky budou staženy požadované družicové snímky v odpovídající radiometrické i geometrické kvalitě. Ve zvolených letech v zájmovém území budou vypočítány obrazové transformace v podobě normalizovaného vegetačního indexu NDVI a transformace Tasseled Cap.

Na základě těchto nově vypočtených transformací budou provedeny dílčí klasifikace lucc formou prahování histogramu a maskování obrazu. Z vytvořených klasifikací budou získány statistické údaje plochy jednotlivých kategorií lucc. Dosažené výsledky budou statisticky vyhodnoceny formou porovnání s údaji databáze dlouhodobých změn využití ploch Česka LUCC pomocí korelační analýzy.

Veškeré výsledky budou prezentovány formou mapových výstupů, srovnávacích tabulek a grafů.

Doporučený rozsah práce

50 – 70 stran

Klíčová slova

land cover, land use, vegetační index NDVI, transformace Tasseled Cap, Landsat, prahování histogramu, dálkový průzkum Země, maskování obrazu, lucc

Doporučené zdroje informací

- ANDERSON J.R., HARDY E.E., ROACH J.T., WITMER R.E. 1976: A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. Geological Survey Professional Paper 964 [online]: <http://www.geospatialworld.net/Paper/Application/ArticleView.aspx?aid=460#sthash.Xu6Gf41l.dpuf>
- DOBROVOLNÝ P., 1998: Dálkový průzkum Země, digitální zpracování obrazu. Masarykova univerzita v Brně, Brno, 208 s.
- HALOUNOVÁ L., PAVELKA K., 2006: Dálkový průzkum Země. Vydavatelství ČVUT, Praha, 192 s.
- HUANG C., WYLIE B., HOMER C., YANG L., ZYLSTRA G., Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance. International Journal of Remote Sensing, Vol. 23, pp. 1741-1748, 2002 [online]: <http://landcover.usgs.gov/pdf/tasseled.pdf>
- JACKSON R. D., HUETE R. A., 1991: Interpreting vegetation indices, Preventive Veterinary Medicine, vol. 11, Amsterdam, pp 185-200 [online]: <http://www.uprm.edu/biology/profs/chinea/gis/lectesc/intvegindx.pdf>
- LILLESAND T., KIEFER R. W., CHIPMAN W. J., 2008: Remote Sensing and Image Interpretation, 6th Edition. John Wiley & Sons, New York, 753 s., ISBN 978-0-470-05245-7

Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

Mgr. Jitka Kumhálová, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 28. 3. 2014

Ing. Petra Šímová, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 3. 4. 2014

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan

V Praze dne 21. 04. 2015

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, pod vedením Mgr. Jitky Kumhálové, Ph.D. Důležité informace mi poskytli Ing. Tomáš Klouček, Správa CHKO Slavkovský les a USGS. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Karlových Varech dne

.....

Abstrakt

Tato práce je zaměřena na vývoj lesů v CHKO Slavkovský les. Změny v krajině jsou zjišťovány pomocí indexů NDVI a transformace Tasseled Cap. K mapování se využívá informací o odrazivosti elektromagnetického záření v infračervené části spektra (700 – 900 nm, tj. NIR) a červené viditelné části spektra (600 – 700 nm, tj. RED), které lze zjistit díky dálkovému průzkumu Země (DPZ). Systematické monitorování zemského povrchu za pomoci družic poskytuje vhodná data pro určování změn využití krajiny během posledních 40 let.

Klíčová slova

land cover, land use, vegetační index NDVI, transformace Tasseled Cap, Landsat, prahování histogramu, dálkový průzkum Země, maskování obrazu, lucc

Abstract

This thesis is focused on the development of forests in the area of PLA Slavkovský les. Changes in the landscape are detected using NDVI and transformation Tasseled Cap indices. The mapping is used reflects infrared part of the spectrum (700-900 nm, ie NIR) and visible red part of the spectrum (600-700 nm, ie RED), which can be determined through remote sensing (RS). Systematic monitoring of the Earth's provides useful data for determining changes in land use over the last 40 years.

Keywords

land cover, land use, vegetation index NDVI, transformation Tasseled Cap, Landsat, histogram thresholding, remote sensing, image masking, lucc

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Cíle práce.....	10
3. Metodika	11
4. Literární rešerše.....	12
4.1 Monitorování změn v krajině.....	12
4.2 Dálkový průzkum Země.....	12
4.3 Elektromagnetické záření.....	14
4.4 Vegetační indexy.....	16
4.4.1 NDVI – normalizovaný diferenční vegetační index.....	19
4.4.2 Transformace Tasseled Cap.....	20
4.5 Atmosférické korekce.....	21
4.6 Klasifikace.....	24
5. Charakteristika studovaného území.....	25
5.1 Základní údaje o CHKO Slavkovský les.....	25
5.2 Popis chráněného území.....	25
5.3 Geomorfologické členění.....	26
5.4 Biogeografické začlenění.....	26
5.5 Geologie.....	27
5.6 Hydrologie.....	27
5.7 Pedologické poměry.....	28
5.8 Klimatické podmínky.....	28
5.9 Skladba lesních porostů.....	29
5.10 Vývoj lesních porostů v CHKO.....	30
5.11 Vývoj lesních ploch v CHKO na základě tabelárních dat.....	31
5.12 Projekt IPC Forests/FutMon	32
6. Výsledky.....	33
6.1 Mapování vegetace v CHKO Slavkovský les pomocí NDVI.....	34
6.2 Mapování vegetace pomocí transformace Tasseled Cap.....	36
6.2.1 Index Brightness.....	36
6.2.2 Index Greenness.....	38
6.2.3 Index Wetness.....	40
6.3 Porovnání vegetačních indexů.....	42
6.4 Porovnání vývoje území s databází dlouhodobých změn Lucc.....	44
6.4.1 ZÚJ Prameny.....	45
6.4.2 ZÚJ Horní Slavkov.....	47
6.4.3 ZÚJ Stanovice.....	49
7. Diskuse.....	51
8. Závěr.....	53
9. Přehled literatury a použitých zdrojů.....	54
10. Přílohy.....	60

Seznam použitých zkratk a symbolů

DPZ – dálkový průzkum Země

CHKO – chráněná krajinná oblast

IPVI – Infrared Percentage Vegetation Index

IR – infračervené záření (Infra Red)

L – opravný faktor

Land Cover – krajinný pokryv

Land Use – využití krajiny

Lucc – databáze dlouhodobých změn využití ploch

NDVI – normalizovaný vegetační index (Normalized Difference Vegetation Index)

NIR – blízké infračervené záření (Near Infra Red)

PAN – panchromatický režim

PVI – Perpendicular Vegetation Index

RED – červené záření

RVI – Ratio Vegetation Index

SAVI – Soil Adjusted Vegetation Index

SQRT – druhá odmocnina

SWIR – Short Wave Infra Red

TIR – Thermal Infra Red

TVI – Transformed Vegetation Index

UV – ultrafialové záření (Ultraviolet)

VI – vegetační index (Vegetation Index)

VÚHL – Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti

ZPF – zemědělský půdní fond

ZÚJ – základní územní jednotka

1. Úvod

Příroda patří neodmyslytelně k člověku a má na lidstvo zásadní vliv. Prosazování trvale udržitelného rozvoje má své opodstatnění, které spočívá v minimalizaci negativních dopadů na životní prostředí a zachování pro další generace. Moderní metody monitorování naší planety pomáhají v hodnocení jejího stavu a slouží jako podklad nejen pro environmentální zásahy. Letecké i družicové snímky umožňují sledovat Zemi již několik desetiletí a studovat vývoj, procesy a změny zemského povrchu v čase.

K hojně využívaným metodám monitoringu patří dálkový průzkum Země (dále DPZ), který je založen na přenosu informací z elektromagnetického záření. Na DPZ je možno pohlížet, jako na *vědu a umění získávat užitečné informace o objektech, plochách či jevech prostřednictvím dat měřených na zařízeních, která s těmito zkoumanými objekty, plochami ani jevy nejsou v přímém kontaktu* (Lillesand a Kiefer, 1994).

Velký vliv na rozvoj snímkování mělo období světových válek, kdy se stále zdokonalovaly metody mapování území pro vojenské účely. Ke konci 2. světové války se započalo s lety do kosmu, byl vynalezen radar a využito mikrovlnných vlnových délek. V roce 1956 použil Robert Colwell barevný infračervený film (Camouflage detection film) za účelem mapování zdravotního stavu vegetace (Halounová a Pavelka, 2008). Rok poté byly vypuštěny první družice Sputnik 1, Sputnik 3 a v roce 1960 meteorologická stanice TIROS-1. Vypuštěním družice ERTS-1, která byla později pojmenována Landsat 1, započala nová éra poskytování velmi cenných dat o naší planetě, jež se využívají v mnoha vědních oborech.

Mapování vegetace s využitím dálkového průzkumu Země umožňuje získávat kvantitativní i kvalitativní data o stavu vegetačního pokryvu a pomocí spektrálních indexů hodnotit jeho stav. Na základě zpracovaných informací z DPZ jsou sestavovány databáze Corine Land Cover/ Land Use, které se využívají v řadě vědeckých studií, územních plánech, dotačních programech apod.

2. Cíle práce

Cílem této diplomové práce je posoudit změny krajiny v letech 1989, 1998 a 2006 s využitím volně dostupných družicových dat Landsat TM ve vybrané lokalitě CHKO Slavkovský les v Karlovarském kraji. Na základě zpracovaných snímků v prostředí geografických informačních systémů za pomoci výpočtu NDVI a Tasseled Cap definovat kategorie krajinného pokryvu a oblasti se změnami, které bude možné porovnat s databází dlouhodobých změn využití ploch Česka Lucc.

3. Metodika

Byla zpracována literární rešerše s obsahem popisu teoretických základů a použitých metod dálkového průzkumu Země, včetně postupů zpracování digitálních dat a charakteristiky zájmového území.

K samotnému posouzení vývoje území bylo využito volně dostupných dat Landsat 5 TM ze serveru <http://glovis.usgs.gov>. Pro sledované roky byly ze stránek USGS vybrány a staženy požadované družicové snímky z 18. září 1989 (LT51920251989261KIS00), 10. srpna 1998 (LT51920251998222KIS00) a 24. září 2006 (LT51930252006267MOR00) v odpovídající radiometrické i geometrické kvalitě. U stažených snímků byly nejprve provedeny v programu ArcGIS 10.2 pomocí nástroje Spatial Analyst Tools/Map Algebra/ Raster Calculator atmosférické korekce.

Pro zpracované snímky s atmosférickou korekcí byly nástrojem ArcGIS 10.2 Spatial Analyst Tools/Map Algebra/Raster Calculator vypočítány obrazové transformace v podobě normalizovaného vegetačního indexu NDVI a Tasseled Cap Index Brightness, Greenness a Wetness. Na základě těchto nově vypočítaných transformací byly definovány odečítáním příslušných dvojic snímků oblasti se změnami. Získané kvantitativní charakteristiky byly využity pro temporální analýzu sledovaného území. Formou prahování histogramu a maskování obrazu byly zvýrazněny změny. Z atributové tabulky reklasifikovaných snímků byla na základě údajů plošných velikostí změn sestavena statistická tabulka a korelační matice.

Dále bylo vybráno na území CHKO Slavkovský les několik ZÚJ, v kterých byly pomocí řízené klasifikace a prahování histogramu rozlišeny kategorie krajinného pokryvu. Reklasifikované snímky posloužily k sestavení statistických tabulek, grafů a korelačních matic. Veškeré dílčí výsledky byly prezentovány mapovými výstupy zpracované v softwaru ArcGIS 10.2.

4. Literární rešerše

4.1 Monitorování změn v krajině

Monitorování krajiny se stalo významným způsobem získávání reálného obrazu podoby konkrétního místa v konkrétním čase (Kašparová a Skaloš, 2012). Zonneveld (1995) používá jako základní prvek krajinné ekologie *land unit* čili krajinou jednotku. Především využití půdy (land use) a krajinný pokryv (land cover) patří k hlavním sledovaným parametrům, jenž jsou implementovány v řadě vědeckých studií. Vegetace je často považována za hlavní ukazatel půdního pokryvu (Di Gregorio a Jansen, 2000). Kvantitativní analýza změn v jejím složení, biomase a vitalitě na základě multispektrálního dálkového průzkumu Země pomáhá pochopit probíhající změny krajinného pokryvu (Keles a kol., 2007). Tyto informace pak mohou sloužit k řešení řady otázek a lze je aplikovat především pro zemědělství, lesnictví, krajinnou ekologii apod.

4.2 Dálkový průzkum Země

V současné moderní době se stále častěji používají bezkontaktní metody získávání informací. Sledování změn v různých časových obdobích za pomoci satelitních dat patří k rychlým a finančně dostupným metodám, které poskytují podklady pro hodnocení krajiny a jejího vývoje. Technologie dálkového průzkumu Země umožňuje přenos kvantitativních a kvalitativních informací o objektech a jejich okolí díky odlišné spektrální odrazivosti v různých částech elektromagnetického záření (Lillesand a Kiefer, 1994; Lillesand a kol. 2008). Pro celou řadu vědních disciplín jsou takovéto informace o zemském povrchu či atmosféře neocenitelné a zpracovávání dat pomocí geografických informačních systémů výrazně zjednodušilo jejich analýzu (Halounová a Pavelka, 2008). Díky současným technologiím můžeme na DPZ pohlížet, jako na *umění rozdělit svět na množství malých barevných čtverečků, se kterými si lze hrát na počítači s cílem odhalení jejich neuvěřitelného potenciálu* (Huntington, 1996).

Záznamy snímaného zemského povrchu s informacemi o velikosti elektromagnetického záření jsou pořizovány leteckými nebo družicovými nosiči. Podle zdroje elektromagnetického záření lze DPZ rozdělit na aktivní a pasivní. O aktivní DPZ se jedná, pokud je sloučena měřící aparatura se zdrojem vysílaného záření. Pasivní metoda naopak využívá jako zdroj vyzařování Slunce a Země. Pořízená data rozlišujeme dle druhu záznamu na analogová (fotografické snímky) a digitální (číselná podoba). Z hlediska počtu záznamu obrazových dat lze hovořit o monochromatických nebo panchromatických snímcích. Další možností je dle Halounové a Pavelky (2008) rozdělení dat na multispektrální, multipolarizační a hyperspektrální.

Feranec (1992) rozčlenil data DPZ s ohledem na chování sledovaných objektů a jejich změny v různých časových obdobích na tři základní skupiny:

- a) kvantitativní změny (minimální změny spektrálních charakteristik, změny patrné pouze v prostorových charakteristikách)
- b) kvalitativní změny (změny ve spektrálních charakteristikách, prostorové charakteristiky zachovány)
- c) kvantitativní i kvalitativní změny (změny ve spektrálních i prostorových charakteristikách)

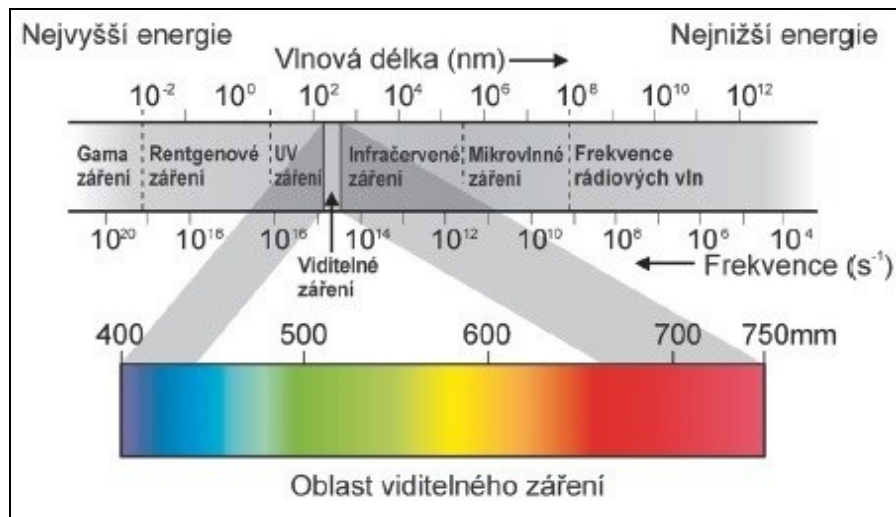
Aby byla následná analýza dat průkazná, je třeba splnit několik podmínek. Obrazy musí tvořit chronologicky uspořádanou řadu, musí být snímány v pravidelné periodě a na stejné části zemského povrchu, ve stejnou denní i roční dobu. Dále musí být dodrženo stejné měřítko, úhel záběru, spektrální pásma ale také stejné radiometrické rozlišení (Jensen, 1986). Pro monitorování vegetace jsou vhodné zejména snímky z družice Landsat TM 5 a Landsat TM 7 (tab. č. 1). Obsahují spektrální pásma oblasti blízkého a středního infračerveného spektra, pomocí kterých lze vypočtením tzv. vegetačních indexů klasifikovat druhy povrchů. V lesnictví se začaly využívat snímky DPZ od 90. let 20. století zejména ke sledování druhové skladby lesa a zdravotního stavu lesních porostů. Data z družice Landsat TM je však také možné aplikovat k určení hranic, stáří, hustoty i druhů lesních porostů, nebo vzít je v úvahu při tvorbě lesních hospodářských plánů, ochraně životního prostředí apod.

Tab. č. 1: Základní údaje o družicích Landsat 5 a Landsat 7 (<http://arcdata.cz>)

	Landsat 5	Landsat 7
Datum vypuštění	1.3.1984	15.4.1999
Provozovatel	Provozovatel USGS (United States Geological Survey), USA	
Typ dat	optická, multispektrální	
Počet pásem	7	8
Spektrální rozlišení - panchro	-	520-900 nm
Spektrální rozlišení - multispektrální	viditelné modré: 450-520 nm viditelné zelené: 520-600 nm viditelné červené: 630-690 nm blízké infračervené: 760-900 nm infračervené: 1550-1750 nm infračervené: 2080-2350 nm tepelné: 10400-12500 nm	viditelné modré: 450-520 nm viditelné zelené: 530-610 nm viditelné červené: 630-690 nm blízké infračervené: 780-900 nm infračervené: 1550-1750 nm infračervené: 2090-2350 nm tepelné: 10400-12500 nm
Prostorové rozlišení	multispektrální: 30 m tepelné: 120 m	panchromatické: 15 m multispektrální: 30 m tepelné: 60 m
Radiometrické rozlišení	8-bit	

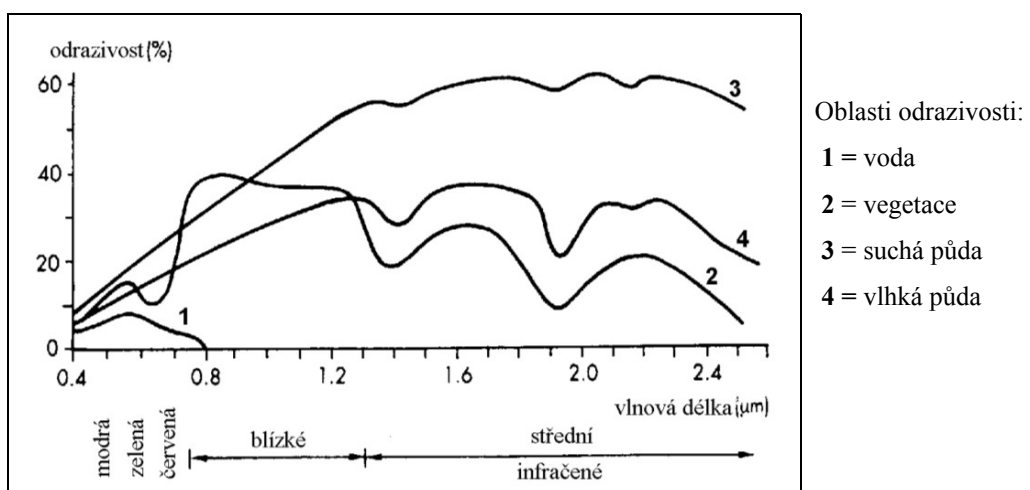
4.3 Elektromagnetické záření

Když sir Isaac Newton v roce 1666 dokázal pomocí optického hranolu, že se bílé světlo skládá z elektromagnetického záření různých vlnových délek, položil tak základ novým vědním oborům, bez nichž by jsme si asi stěží dokázali představit dnešní moderní civilizaci. Elektromagnetické záření vzniká transformací energie a je nositelem informací o daných objektech. Od zdroje, kterým je převážně rotační i vibrační pohyb atomů v molekulách a pohyb elektronů kolem jádra, postupuje prostorem rychlostí světla přímo anebo nepřímo prostřednictvím odrazu a rozptylu. Rozsah vlnových délek je označován jako elektromagnetické spektrum a je rozdělen do několika oblastí: γ paprsky, x-paprsky, ultrafialové záření (UV), viditelné světlo, infračervené záření (IR), mikrovlnné záření a radiové záření (obr. č. 1).



Obr. č. 1: Elektromagnetické spektrum záření (<http://www.energetika.tzb-info.cz>)

Velikost vyzářeného (emitovaného), odraženého a rozptýleného záření měříme pomocí části, dopadající do tzv. zorného pole přístroje. Sběračem měřícího přístroje dochází ke snímání informací o objektech v jednotlivých pixelech, na základě jejich spektrálního chování (obr. č. 2). Z elektromagnetických vlastností každé látky lze pak zjistit tzv. druhový parametr (voda, vegetační povrch, pevný povrch bez vegetace) nebo stavový parametr (homogenita, stáří, vlhkost) zkoumaného objektu (Halounová a Pavelka, 2008).



Obr. č. 2: Obecné spektrální chování povrchů (Dobrovolný, 1998)

4.4 Vegetační indexy

Vegetační indexy se používají převážně pro zvýraznění a zmapování vegetace nebo k určení vlastností půdního substrátu na základě spektrálního chování objektů. Lze je rovněž využít pro monitorování kvantitativních ukazatelů, především množství biomasy na velikosti pixelu (Dobrovolný, 1998). Nejčastější vědeckou metodou, jak sledovat vegetaci, je využití informací o odrazivosti daných povrchů v oblasti blízké infračervené části spektra v různých intervalech elektromagnetického záření. Rostliny, obsahující chlorofyl, jsou na černobílých družicových snímcích výrazně tmavší, což je způsobováno pohlcováním záření ve viditelné části spektra. Protože chlorofyl pohlcuje převážnou většinu záření červené a modré viditelné části elektromagnetického záření a naopak odráží do okolí maximum záření zelené části, jeví se nám vegetace zelená. Rozdíly v buněčné struktuře jednotlivých druhů rostlin a jejich odrazivosti vypovídají o stavu porostů na různých lokalitách a je ovlivněn několika faktory:

- vnější uspořádání vegetačního krytu
- vnitřní struktura jednotlivých částí rostlin
- obsah vody
- zdravotní stav
- vlastnosti půdního substrátu

Tab. č. 2: Spektrální pásma snímače družice Landsat TM 5 (<https://akela.mendelu.cz>)

Pásma	Vlnová délka [μm]	Slovní označení	Hlavní oblasti aplikace
1	0,45-0,52	Modré (B)	Navrženo pro průnik vodou, užitečné pro mapování pobřežních vod, pro rozlišení půdy / vegetace, mapování lesních typů a identifikaci kulturních objektů.
2	0,52-0,60	Zelené (G)	Navrženo k měření vrcholů odrazivosti vegetace. Rozlišení vegetace, odhad vitality. Identifikace kulturních objektů.
3	0,63-0,69	Červené (R)	Navrženo ke snímání pásma absorpce chlorofylu, rozlišování rostlinných druhů. Identifikace kulturních objektů.
4	0,76-0,90	Blízké infračervené (NIR)	Užitečné pro vymezení vegetačních typů, vitality, množství biomasy, pro vymezení vodních objektů a pro zjišťování vlhkosti půdy.
5	1,55-1,75	Střední infračervené (MIR)	Indikativní pásma pro obsah vlhkosti ve vegetaci a půdě. Rozlišení sněhu od oblačnosti.
6	10,24-12,5	Termální (TIR)	Analýza vegetačního stresu, zjišťování půdní vlhkosti a pro aplikace termálního mapování, znečištění vod a podloží.
7	2,85-2,35	Střední infračervené (MIR)	Rozlišování minerálních a horninových typů. Rovněž citlivé k obsahu vlhkosti ve vegetaci.

Pomocí rozsahu vlnových délek snímaného odraženého záření (tab. č. 2) se sledují hodnoty infračervené části spektra (700 – 900 μm , tj. NIR) a červené viditelné části spektra (600 – 700 nm, tj. R nebo Red). Rozdíly a poměry mezi intervaly různých vlnových délek se využívají k výpočtu řady vegetačních indexů, které můžeme dle Dobrovolného (1998) nebo Halounové (2009) rozdělit na:

A. Diferenční vegetační indexy

- rozdílový vegetační index (Vegetation Index)

$$VI = NIR - Red \quad (1)$$

B. Poměrové vegetační indexy

- jednoduchý poměrový vegetační index (RVI – Ratio Vegetation Index)

$$RVI = NIR / Red \quad (2)$$

- normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index)

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (3)$$

- transformovaný vegetační index (TVI – Transformed Vegetation Index)

$$TVI = \text{SQRT} [(NIR - Red) / (NIR + Red) + 0,5] \quad (4)$$

- infračervený procentuální vegetační index (IPVI - Infrared Percentage Vegetation Index)

$$IPVI = NIR / (NIR + Red) \quad (5)$$

C. Ortogonální vegetační indexy

- kolmý vegetační index (PVI - Perpendicular Vegetation Index)

$$PVI = \text{SQRT} [(R_s - R_v)^2 + (NIR_s - NIR_v)^2] \quad (6)$$

- transformace Tasseled Cap

$$\text{Tasseled Cap}_i = (\text{coeff}_1 * \text{band}_1) + (\text{coeff}_2 * \text{band}_2) + (\text{coeff}_3 * \text{band}_3) + (\text{coeff}_4 * \text{band}_4) + (\text{coeff}_5 * \text{band}_5) + (\text{coeff}_7 * \text{band}_7) \quad (7)$$

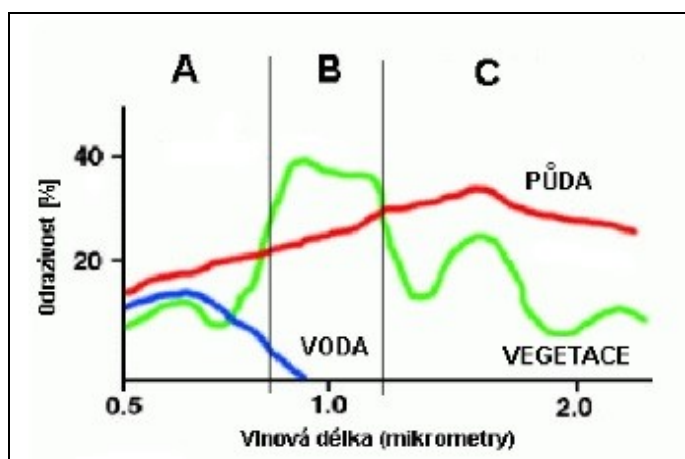
D. Vegetační indexy zohledňující vliv půdy

- půdě přizpůsobený vegetační index (SAVI - Soil Adjusted Vegetation Index)

$$SAVI = [(NIR - RED) / (NIR + RED + L)] * (1 + L) \quad (8)$$

Na základě odlišných hodnot odrazivosti můžeme stanovit rovněž spektrální rozpoznávací příznak, který je projevem určitého rostlinného druhu. Emisní a odrazivé vlastnosti různých částí rostlin a jejich bezprostředního okolí závisí na stavových parametrech. Především spektrální vlastnosti listu, jenž určuje buněčná tekutina, tuky, cukry, celulóza, lignin, proteiny a oleje v něm obsažené, vykazují společné typické znaky různých druhů porostů. Průběh křivky spektrální odrazivosti vegetace podléhá činitelům ovlivňujícím její velikost (obr. č. 3), kterou dělíme na oblasti (Halounová a Pavelka, 2008):

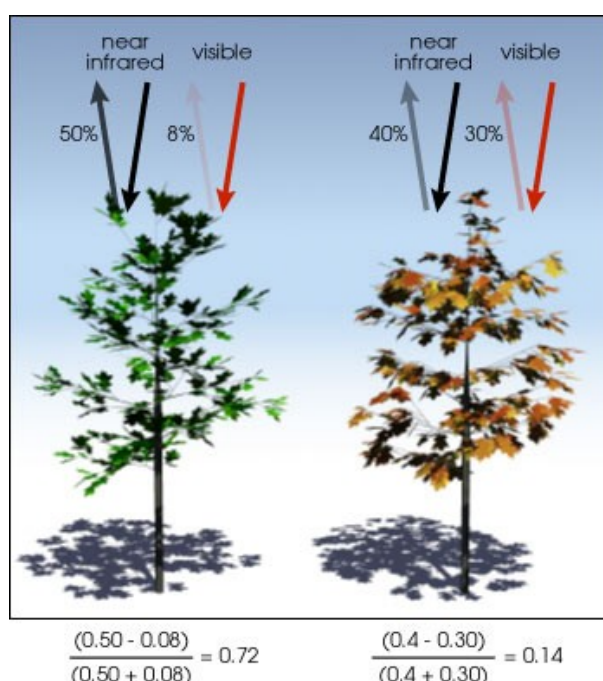
- I. pigmentační absorpce v pásmu 0,4 μm – 0,7 μm (A)
- II. vysoké odrazivosti (buněčné struktury) v pásmu 0,7 μm – 1,3 μm (B)
- III. vodní absorpce v pásmu 1,3 μm – 3,0 μm (C)



Obr. č. 3: Obecný průběh spektrální odrazivosti (<http://www.sci.muni.cz>)

4.4.1 NDVI – normalizovaný diferenční vegetační index

Prudký nárůst odrazivosti z pásma vodní absorpce v červené viditelné části spektra indikuje přítomnost zelené vegetace (obr. č. 4). Pro analýzu porostů se nejčastěji používá normalizovaný rozdílový vegetační index NDVI, který se lze vypočítat z dat družice Landsat Thematic Mapper (TM), kde právě kanál TM4 nese informace z blízkého infračerveného pásma a kanál TM3 z červeného viditelného pásma. Vypočtené hodnoty NDVI (dle rovnice 3, kapitola 4.4) se pohybují v intervalu (- 1, + 1). Jednotlivé hodnoty udávají množství zeleně na ploše pixelu, přičemž hodnoty blíží se + 1 znamenají velmi hustou vegetaci a hodnoty okolo 0 vypovídají o nepřítomnosti vegetace. Jelikož informace o velikosti elektromagnetického záření snímaného družicemi jsou relativní, je potřeba vstupní data korelovat s ohledem na atmosférické popř. jiné vlivy. Teprve pak lze vypočtené hodnoty porovnávat a klasifikovat (Dobrovolný, 1998). Kvůli nedostatečně jednoznačným modelům spektrálních křivek jednotlivých rostlinných druhů však záleží hlavně na zpracovateli dat, jak bude s poskytnutými hodnotami naloženo a jak budou výsledky prezentovány.



Obr. č. 4: Vliv obsahu chlorofylu na odrazivost při výpočtu NDVI (<http://earthobservation.nasa.gov>)

4.4.2 Transformace Tasseled Cap

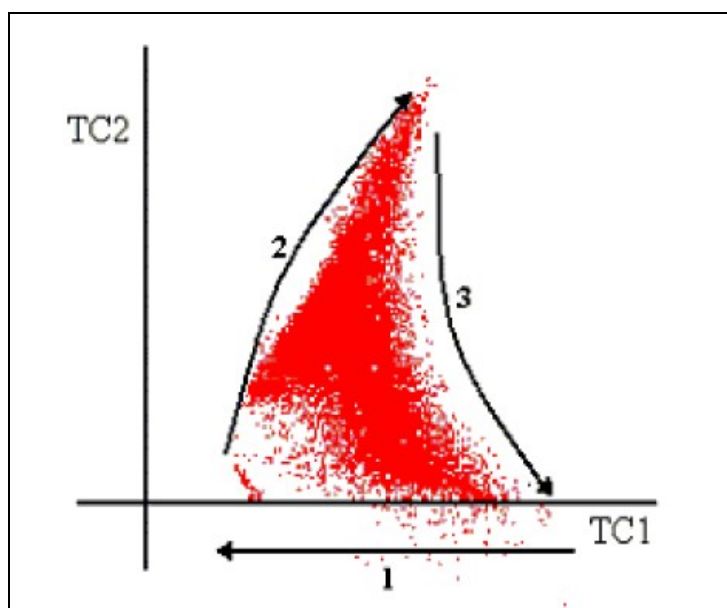
Transformace Tasseled Cap je dalším ukazatelem stavu zemského povrchu, k jejímuž zobrazení se používají DN hodnoty snímaných pásem družic (Anderson, 1976). Tato transformace se používá pro zvýraznění odlišností ve spektrálním chování vegetace a půdy jako výsledek lineární kombinace pásem družice Landsat TM. Thematic Mapper poskytuje data, z kterých lze pomocí transformovaných pásem TC1 – TC6 přenést hodnoty pásem TC1 a TC2 (TC3) do grafu a získat tak typický tvar – „čepici Santa Clause“ neboli Tasseled Cap (obr. č. 5). Koeficienty transformačních rovnic mají za úkol zvýraznit z nově vypočtených pásem specifické informace, odrážející vlastnosti půdy a vegetace (Campbell, 1996). Až 90 % informací obsahují pásma TC1 a TC2 z původních dat. Definují rovinu diferenciací ve spektrálním chování vegetačního pokryvu i půdního substrátu a lze z nich rovněž odvodit změny v čase. Pásmo TC1 je známo jako index jasů (Index Brightness) s orientací ve směru maximálního rozptylu hodnot odrazivosti půdy, TC2 je kolmé k první ose a je ukazatelem množství zeleně (Index Greenness), TC3 udává hodnoty vlhkosti půdy a vegetace (Index Wetness). Pásma TC4 – TC6 mnohdy představují pouze šum a používají se zřídka, většinou se z nich zjišťují data o atmosférických podmínkách (Williams, 1995). Pro vypočtení hodnot Tasseled Cap se používá rovnice, do které se postupně dosazují koeficienty z tabulky č. 6:

$$\text{Tasseled Cap}_i = (\text{coeff}_1 * \text{band}_1) + (\text{coeff}_2 * \text{band}_2) + (\text{coeff}_3 * \text{band}_3) + (\text{coeff}_4 * \text{band}_4) + (\text{coeff}_5 * \text{band}_5) + (\text{coeff}_7 * \text{band}_7) \quad (12)$$

$\text{coeff}_{1-6 \text{ a } 7}$ - koeficient pro spektrální pásma 1-5 a 7 družice Landsat 7 ETM+

Tab. č. 6: Koeficienty pro výpočet transformace Tasseled Cap z družice Landsat 7 ETM+ (Huang a kol., 2002)

Index	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 7
Brightness	0.3561	0.3972	0.3904	0.6966	0.2286	0.1596
Greenness	-0.3344	-0.3544	-0.4556	0.6966	-0.0242	-0.2630
Wetness	0.2626	0.2141	0.0926	0.0656	-0.7629	-0.5388



Obr. č. 5: Znáornění transformace Tasseled Cap (<http://www.sci.muni.cz>)

4.5 Atmosférické korekce

Emitované elektromagnetické záření prostupuje plynným obalem Země, který je proměnlivý v čase i v prostoru. Kvůli obsahu řady plynů a částic v atmosféře tak dochází k interakci procházejícího záření, které je zčásti absorbováno, zčásti prochází do nižších vrstev a zčásti je odraženo zpět do atmosféry. Vlivem rozptylu, absorpce, emisivity a lomu se mění velikost dopadajícího záření. Také množství záření odraženého od vegetace a zaznamenané satelitními senzory je díky velikosti slunečního záření, atmosférickým vlivům, vlastnostem podkladu, struktuře, uspořádání, složení vegetace a jiným parametrům okolí pozměněno. Pro eliminaci vlivů atmosféry se hodnoty záření v každém pásmu upravují pomocí koeficientů, aby nedocházelo ke zkreslení snímku (Huete a kol., 1999).

Pokud budeme počítat NDVI nebo Tasseled Cap z družice Ladsat 5 TM, musíme data ekvivalentně upravit do hodnot Ladsat 7 ETM+. Senzory těchto družic mají odlišnou kalibraci, kterou lze pomocí této rovnice konvertovat:

$$DN7 = (\text{slope}_\lambda * DN5) + \text{intercept}_\lambda \quad (9)$$

DN7 - hodnoty pixelů, neboli digitálních čísel Landatu 7 ETM+

DN5 - hodnoty pixelů, neboli digitálních čísel Landsatu 5 TM

$slope_{\lambda}$ - specifické inverzní číslo sklonu pásma

$intercept_{\lambda}$ - specifické inverzní číslo úseku pásma

Do této rovnice je nutné dosadit pro každé jednotlivé pásmo, mimo 6. termálního pásma, koeficient z tab. č. 3 pro hodnotu „Slope“ a pro hodnotu „Intercept“ (Vogelmann a kol., 2001).

Tab. č. 3: Hodnoty pro koeficienty Slope a Intercept (Vogelmann a kol., 2001)

Band	Slope	Intercept
1	0.943	4.21
2	1.776	2.58
3	1.538	2.50
4	1.427	4.80
5	0.984	6.96
7	1.304	5.76

Přepočítané hodnoty dat (DN5) Landsat 5 TM na hodnotu dat (DN7) Landsat 7 ETM+ se používají k další úpravě hodnot záření v každém pásmu podle rovnice:

$$L_{\lambda} = (\mathbf{gain}_{\lambda} * \mathbf{DN7}) + \mathbf{bias}_{\lambda} \quad (10)$$

L_{λ} - vypočtená spektrální zář [W/ m²*μm*ster]

$gain_{\lambda}$ - specifické číslo zesílení pásma

$bias_{\lambda}$ - specifické číslo vychýlení pásma

K této rovnici byly sestaveny pro jednotlivá pásma 1-5 a 7 koeficienty „Gain“ a „Bias“ (tab. č. 4). Hodnoty v tabulce č.2 slouží ke korekci dat DN7 z vlivů záře „Gain“, která představuje rozdíl mezi minimální a maximální září, používané obrazovým systémem při sběru dat (Chander a kol., 2009).

Tab. č. 4: Hodnoty pro koeficienty Gain a Bias (Chander a kol., 2009)

Band	Gain	Bias
1	0.778740	-6.98
2	0.798819	-7.20
3	0.621654	-5.62
4	0.639764	-5.74
5	0.126220	-1.13
7	0.043898	-0.39

Výsledná data je posléze nutné upravit z vlivů odrazivosti (reflectance), jenž hodnoty DN také zkreslují. K tomuto kroku se používá vzorec, do kterého se dosazuje všeobecně známá hodnota π , vypočtená hodnota spektrální záře L_λ , hodnota udávající vzdálenost Země od Slunce podle astronomického dne v roce d (Chander a kol., 2009), hodnota spektrální záře Slunce $E_{sun, \lambda}$, jenž je různá pro každé pásmo (tab. č. 5) a velikost zenitového úhlu ozařování θ_{SE} odvodíme z hodnoty „sun elavation“, kterou nalezneme v textovém souboru stažených družicových snímků (MTL.txt).

$$R_\lambda = (\pi * L_\lambda * d^2) / (E_{sun, \lambda} * \sin(\theta_{SE})) \quad (11)$$

R_λ – spektrální odrazivost

π – Ludolfovo číslo (3,141592654)

L_λ – spektrální zář

d – vzdálenost Země od Slunce v astronomických jednotkách dle dne v roce

$E_{sun, \lambda}$ – spektrální záře Slunce

θ_{SE} - zenitový úhel ozařování

Tab. č. 5: Hodnoty $E_{sun, \lambda}$ pro jednotlivá pásma (Chader a kol., 2009)

Band	$E_{sun, \lambda}$ [Watts / (sq. meter * μm)]
1	1997
2	1812
3	1533
4	1039
5	230.8
7	84.9

4.6 Klasifikace

Jedná se o proces zařazení každého pixelu obrazu do předem stanovené tématické třídy, což umožňuje jednodušší orientaci v dané scéně. Požadovaného cíle lze dosáhnout pomocí převodní matice, kdy stanovením souboru vnitřních parametrů určíme příslušnost pixelu k jednotlivé třídě. Konfigurací parametrů hledáme kategorie neboli třídy, které mohou být všeobecné (voda, vegetace, povrch bez vegetace apod.) nebo podrobné, čímž dochází k tzv. klasifikaci. Pravidla klasifikace vycházejí ze změny hodnot radiační veličiny v závislosti na druhovém popř. stavovém parametru. Charakteristické a jednoznačně rozpoznatelné změny mohou být nositeli tzv. příznaků (prostorových, spektrálních, časových, polarizačních), kterých lze využít pro identifikaci objektů včetně jejich vlastností a dynamiky (Halounová, 2009). Optimální stanovení tříd dle nastavených vnitřních parametrů je potřeba překontrolovat pomocí tzv. trénovacích ploch, ke kterým lze zjistit referenční data z jiných známých zdrojů. Vhodné je k takovému účelu využít především databáze geografických informačních systémů (GIS), kde jsou uloženy informace o krajinných poměrech ve sledované lokalitě (mapy, statistiky, geofyzikální měření atd.).

5. Charakteristika studovaného území

5.1 Základní údaje o CHKO Slavkovský les

Chráněná krajinná oblast Slavkovský les je rozsáhlé území v západních Čechách, které zasahuje do okresů Cheb, Sokolov, Karlovy Vary a Tachov. Pomyslně ji lze ohraničit spojnici měst Karlovy Vary – Mariánské Lázně – Kynšperk nad Ohří – Karlovy Vary s rozlohou zhruba 606 km² (Bytel a kol., 1998). CHKO Slavkovský les vznikla v roce 1974 na základě výnosu MK ČSR č.j. 7657/1974. V roce 1997 odbor ochrany přírody Ministerstva životního prostředí vymežil na tomto území 4 zóny odstupňované ochrany. Centrální část CHKO Slavkovský les je v rámci Evropské ekologické sítě EECONET vymezena jako jádrové území evropského významu a další lokality jsou zahrnuty mezi zóny zvýšené péče o krajinu (Bínová a kol., 1995).

5.2 Popis chráněného území

Mezi hlavní chráněné fenomény CHKO řadíme především zdejší rašeliniště, hadce a bučiny, ale také regionální i nadregionální biocentra a biokoridory územních systémů ekologické stability (ÚSES). Nalézají se zde přírodní rezervace Kladské rašeliny a Pluhův bor, národní přírodní památky Křížky, Úpolínová louka pod Křížky, Jan Svatoš. Dále přírodní rezervace Planý vrch, Vlček, Smraďoch, Holina, Prameniště Teplé, Údolí Teplé, Mokřady pod Vlčkem, Lazurový vrch, Podhorní vrch, Žižkův vrch a přírodní památky Sirňák, Dominova skalka, Olšova Vrata, Milhostovské mofety, Kynžvartský kámen, Pístovská louka, Čiperka, Moučné pytle, Čedičové varhany u Hlinek, Koňský pramen, Hořečková louka na Pile (Bytel a kol., 1998).

5.3 Geomorfologické členění

Oblast náleží do Českého masivu, jehož přeměnou usazených hornin ve starohorách vzniklo tzv. slavkovské krystalinikum. Do prvohor spadá vznik krušnohorské klenby, jejíž jižní část tvoří vrchovinu Slavkovského lesa a ve třetihorách vznikaly sedimenty s uhelnými slojemi v pánvích na severu i západě území. Období čvrtohor provázely erozní činnosti vodních toků, které vytvořily dnešní údolí. Místní rašeliniště řadíme mezi nejmladší geologické pochody, jenž se dosud tvoří z odumírajících rašelinotvorných rostlin (Wieser, 2006).

Dle geomorfologického členění leží oblast CHKO v provincii Česká vysočina a zasahuje do Šumavské i Krušnohorské soustavy (Demek, 1965; 1987). Tvoří jí vrchovinný georeliéf, který je zřetelně ohraničen na severu Sokolovskou a Chebskou pánví a na jihu Tachovskou brázdou. Centrální část pak tvoří Kynžvartská vrchovina (rozdělená na Arnoltovskou vrchovinu a Lysinskou hornatinu), Hornoslavkovská vrchovina (složená z Krásenské a Loketské vrchoviny) a Bečovská vrchovina.

5.4 Biogeografické zařazení

Podle biogeografického členění ČR (Culek, 2005) patří celá CHKO do biogeografické provincie středoevropských listnatých lesů, podprovincie hercynské. Naprostá většina území spadá do Hornoslavkovského biogeografického regionu (č. 160), na severu zasahuje do Chebsko-sokolovského regionu (č. 126) a na jihu do Tachovského regionu (č. 127a). Na základě vymezení přírodních lesních oblastí dle Mze ČR leží tato oblast ve třech přírodních oblastech: LO 3 Karlovarská vrchovina, LO 2 Podkrušnohorské pánve (Chebská a Sokolovská pánev) a LO 6 Západočeská pahorkatina (Vacek, 2003).

5.5 Geologie

Žulové horniny variského vulkanismu zde tvoří základ, ke kterému se přidávají významné nerostné suroviny v podobě greisenových pňů s bohatou mineralizací (kassiterit, wolframit, lislídy, molybdenit, topaz, fluorit, apatit, stannin aj.). Zdejší kraj se proslavil zejména těžbou stříbrných, niklových, kobaltových, vizmutových, olověných i zinkových rud (Beran, 1999; Rădış, 1961).

Oblast je známá velkým množstvím vrchovištních rašelinišť (cca 1200) a pozůstatky vulkanismu v podobě mofet, což jsou vývěry plynného CO₂ a H₂S. Známé jsou také karlovarské travertiny, tvořené aragonitem, neboli karlovarskou vřidelní klenbou, která vzniká sedimentací z termálních minerálních pramenů (Bartoš a Milota, 2011).

5.6 Hydrologie

Převážná část Slavkovského lesa hydrologicky spadá do povodí řeky Ohře s přítoky Dlouhé stoky, Kamenitého, Lobezkého, Šitbořského potoka a Malé i Velké Libavy. Významným tokem je řeka Teplá, která pramení v oblasti mokřadů nedaleko Mariáských Lázní a svádí vody směrem do Karlových Varů, kde se vlévá do Ohře. Do Teplé směřují menší potoky, jako je Ležnický, Kfelský, Dolský, Hájský, Novoveský, Zlatý, Pramenský s Mlýnským a další drobné toky. K povodí Mže pak stékají potoky Kosí a Kamenný z okolí Kynžvartu.

V chráněné krajinné oblasti se nacházejí vodáreské nádrže Mariánské Lázně, Podhora, Mnichov, Krásná Lípa a Stanovice využívané jako zdroje pitné vody s přísným ochranným režimem. Protipovodňovou funkci má vodní dílo Březová, jež reguluje povodňové průtoky na řece Teplá. Jsou zde také malé vodní plochy v podobě rybníčních soustav a mokřadů, které vytvářejí cenná refugia pro obojživelníky a vodní flóru (Mackovčín a Zahradnický, 2004).

5.7 Pedologické poměry

Dlouhodobé půdotvorné procesy, druh mateční horniny, reliéf terénu i zdejší klima daly vzniknout velice rozmanitým půdním poměrům. Nemalý vliv však měla i řada dalších faktorů, převážně antropických, v podobě dlouhodobého odlesňování a změn skladby lesních porostů, zemědělského využívání, hnojení, odvodňování půdy, průmyslové činnosti apod. (Tomášek, 2000). Nejrozšířenějším typem půdy v CHKO je hnědozem, která má se svými subtypy asi 50% zastoupení. Dále se zde nacházejí mesotrofní hnědozem (15 %), pseudogleje (10 %), gleje (do 10 %) a menší plochy podzolů, eutrofních hnědozemí, syrozemě a rankerů (cca 10 %). Rozšířené jsou dále hořečnaté redziny na hadcích, hluboké rašelinné půdy a naplavené půdy. Na území převládají hlinitopísčité až písčitohlinité půdy, časté jsou také půdy hlinité, jílovitopísčité a zřídka i půdy písčité, jílovité či jílovitopísčité, včetně půd organických a skeletovitých (Bytel a kol., 1998).

5.8 Klimatické podmínky

Klimatické podmínky jsou závislé na nadmořské výšce a síle proudění převládajících větrů, které představují větry západní a severozápadní. Plošně nejrozsáhlejší část Slavkovského lesa, zaujímající níže položené plošiny a svahy podkrušnohorských pánví, spadá do oblasti mírně vlhké. Naopak nejvyšší polohy na území CHKO se nalézají v chladné klimatické oblasti s delší zimou, dlouhotrvající sněhovou pokrývkou a vlhkým létem. Charakteristické jsou pro tuto oblast průměrné roční teploty přibližně 5 °C až 8 °C a průměrné roční srážky se pohybují od 600 mm do 800 mm. Relativní vlhkost vzduchu dosahuje v červenci 55 % - 60 % a v prosinci 85 % - 90 %. Oblačnost ve vyšších polohách přesahuje 70 % a v nižších polohách se drží pod 65% hranicí, což znamená, že je zde okolo 160 dnů pod mrakem, pouze 30 až 40 dnů je slunných a počet mlžných dnů přesahuje 50 dní v roce (Mackovčín a Zahradnický, 2004).

5.9 Skladba lesních porostů

Ještě ve 12. století pokrývaly lesní porosty v centrální části Císařského lesa 90 % území. Původně zde rostly bučiny s příměsí jedle (přírozené bučiny jsou zachovány v rezervaci Holina), které nahradily převážně smrčiny. Kulturní lesy způsobily vytlačení a ochuzení původní lesní vegetace, což je patrné především v Tepelské vrchovině (monokultury smrku namísto bučin). V samotném fytogeografickém okrese Slavkovský les, kde podmáčené smrčiny zabíraly poměrně velké plochy, není dopad monokultur smrku na původní vegetaci tak výrazný. V prameništích odlesněných oblastech představují přírozený sukcesní stupeň rašelinné vrbiny, porosty vysokých ostřic, zrašelinělé porosty. Fytocenózy zde hostí řadu unikátních druhů, jako je např. vrba borůvkovitá (*Salix myrtilloides*), rožec kuříčkolistý (*Cerastium alsinifolium*), jediný endemit oblasti, nebo korálice trojklanná (*Corallorhiza trifida*) (Mykiška, 1968).

Z lesních dřevin má dominantní postavení smrk ztepilý (*Picea abies*) se zastoupením cca 83 %, borovice lesní (*Pinus sylvestris*) obsadila asi 10 % a bříza bělokora (*Betula pendula*) téměř 2 % území. Podíl ostatních dřevin nepřesahuje 7 %, z nich je nejrozšířenější buk lesní (*Fagus sylvatica*), modřín opadavý (*Larix decidua*), borovice blatka (*Pinus rotundata*) a olše lepkavá (*Alnus glutinosa*), které místy vytvářejí i samostatné porosty. Ostatní dřeviny jsou pouze vtroušeny do porostů jiných druhů např. dub letní (*Quercus robur*) a dub zimní (*Quercus petraea*), javor klen (*Acer pseudoplatanus*) a v nižších polohách i javor mléč (*Acer platanoides*). Lípy (*Tilia*) se vyskytují v suťových společenstvech a jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*) pouze na aluviálních půdách. Jedle bělokora (*Abies alba*), která byla v minulosti velmi rozšířená, v posledních letech vykazuje zvýšený výskyt přírozeného zmlazení. Jilmy (*Ulmus*) v důsledku tracheomykózní choroby ve volné krajině i lesních porostech pokračují v ústupu. V nižších polohách vrby (*Salix*) spolu s olší černou (*Alnus nigra*) doprovázejí vodní toky a plochy těchto stanovišť doplňují porosty jasanu ztepilého (*Fraxinus excelsior*), javoru a břízy. Z výsadeb, zakládáných v padesátých a šedesátých letech minulého století se na nelesních půdách nižších poloh a izolovaně i v lesních porostech zachovaly topoly (*Populus*). V druhové skladbě lesních porostů CHKO mají svoje zastoupení i olše zelená (*Alnus viridis*), olše šedá (*Alnus incana*), třešň ptačí (*Cerasus avium*), javor babyka (*Acer*

campestre), habr obecný (*Carpinus betulus*), jeřáb ptačí (*Sorbus aucuparia*), střemcha obecná (*Prus padus*) a jiné. Z introdukovaných dřevin je nejčastější modřín evropský (*Pinus larix*) a douglaska tisolistá (*Pseudotsuga menziesii*), v menší míře jedle obrovská (*Abies grandis*), smrk pichlavý (*Picea pungens*) a smrk bílý (*Picea gluca*), popř. i další druhy smrku. Nevelké je zastoupení borovice vejmutovky (*Pinus strobus*), borovice černé (*Pinus nigra*), banksovky (*Pinus banksiana*) a jednotlivě i dalších druhů borovic. Z introdukovaných listnáčů převažuje dub červený (*Quercus rubra*), trnovník akát (*Robinia pseudoacacia*), jírovec maďal (*Aesculus hippocastanum*) a výjimečně se v druhové skladbě setkáme i s dalšími druhy (Bytel a kol., 1998).

5.10 Vývoj lesních porostů v CHKO

Výsledky pylové analýzy rašelin na tomto území naznačují, že skladba lesů před více než tisíci lety byla podobná obdobným polohám Krušných hor až na výraznější výskyt lísky a v pozdějším období lípy (ve smíšených dubových lesích). V období 2000 let př. n. l. až 700 let našeho letopočtu lze z analýz v polohách nad 800 m n. m. rozeznat poměr borovice 24,6 %, smrku 19,9 %, jedle 27,1 % a buku 18 %. Po zvážení faktu, že na rašelinách je převládající dřevinou borovice blatka a smrk ztepilý, tak ve Slavkovských lesích převládaly, mimo oblasti rašelin, jedlo-bukové porosty. Východní okraj bečovska patřil před 2500 lety k oblasti s nejvyšším zastoupením jedle na našem území. K jedli se místy připojoval smrk a borovice, z listnatých dřevin v nižších polohách převládal dub a ve vyšších buk (Ministr, 1964). V nižších polohách byla v původním lese jedle zastoupena mnohem více, zatímco buk v daleko menší míře. Později se zde začal kromě jedle rozrůstat také smrk a borovice zde byla zastoupena jen velmi slabě.

Koncem 13. století dochází k narušení původního lesního porostu v oblasti Krásna a Horního Slavkova vlivem důlní činnosti, což se odráží ve snížení množství buku i jedle a nastoupení smrku, jako dominantní dřeviny (Ministr, 1961). Působením člověka tak postupně z lesů vymizely duby a buky, později vlivem

holosečného hospodaření a umělé obnovy mizely i jedle. Přesto bylo ve druhé polovině 16. století zastoupení listnatých stromů v Císařském lese stále významné (Nožička, 1957). Počátkem 19. století však zůstává 25 % lesní půdy bez jakéhokoliv porostu, je patrný skoro úplný ústup buku z montánních lesů, z mladších porostů mizí nadále jedle. Převažující dřevinou se zde stává jednoznačně smrk, pak jedle a pomístně borovice (Ministr, 1961).

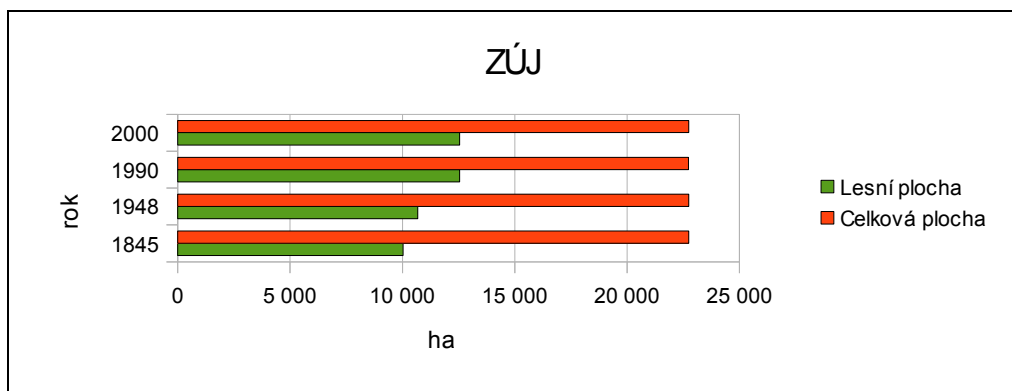
5.11 Vývoj lesních ploch v CHKO na základě tabelárních dat

Statistická databáze využití ploch Česka je základním podkladem pro studium dlouhodobých změn makrostruktury krajiny na našem území v časových horizontech 1845, 1948, 1990 a 2000 s údaji o rozlohách osmi základních a třech agregovaných kategorií využití ploch. Údaje jsou vedeny v hektarech s přesností na 0,1 ha na základních územních jednotkách (ZÚJ), které z dlouhodobého hlediska nezměnily svou rozlohu o více jak 1 %.

Dle databáze dlouhodobých změn využití ploch Česka náleželo do oblastí vrchovin CHKO Slavkovský les mnoho ZÚJ, z nichž můžeme zjistit plošný vývoj lesních pozemků v porovnání s jejich celkovou rozlohou (tab. č. 7 a obr. č. 5). Pro účely této práce je použit souhrnný údaj ZÚJ Drmoul, Lazy, Prameny, Březová u Sokolova, Lobzy u Březové, Sítiny, Mnichov u Mariánských Lázní, Louka u Mariánských Lázní, Nová Ves u Sokolova, Čistá u Rovné, Rovná u Sokolova, Vranov u Rovné, Milíře u Rovné, Krásno nad Teplou, Smrkovec u Březové, Žitná u Březové (Mařašová, 2013).

Tabulka č. 7: Vývoj lesních ploch v centrální části CHKO Slavkovský les dle lucc (Mařašová, 2013)

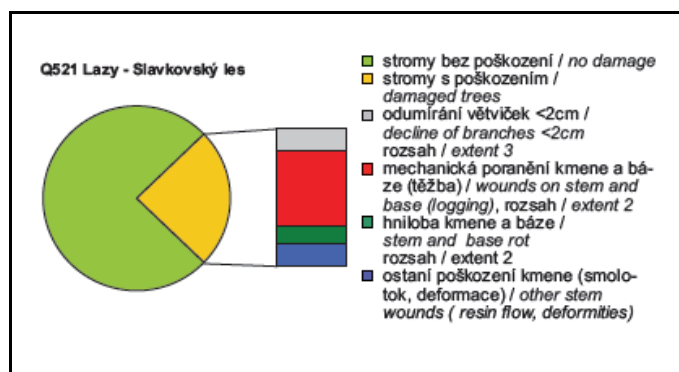
Rok	Lesní plocha [ha]	Celková plocha [ha]
1845	10 023,1	22 739,7
1948	10 687,8	22 740,4
1990	12 548,4	22 733,5
2000	12 547,9	22 736,3



Obr. č. 6: Vývoj lesních ploch v centrální části CHKO Slavkovský les dle lucc (Mařašová, 2013)

5.12 Projekt IPC Forests/FutMon

Od roku 1986 je pomocí družicových snímků sledován pod záštitou mezinárodního programu IPC Forests stav lesů v ČR. V roce 2009 dochází k přesunu monitoringu do programu LIFE+ a k rozvoji projektu FutMon, který spadá do kompetencí Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti (VÚHLM). Z plošného monitoringu zdravotního stavu v rámci projektu IPC Forests/FutMon na porostech v Lazech pod správou LČR, s. p., LZ Kladská lze vyčíst, že se průměrná hodnota defoliace mírně zvyšuje a dlouhodobě dosahuje přes 30 % (je zde charakteristická absence zdravých stromů s defoliací do 10 %). Plodnost stromů se snižuje a kmeny často nesou známky povrchových zranění, někdy doprovázené smolotoky a hnilobou, což nepříspěvá ke stabilitě lesních porostů (obr. č. 7).



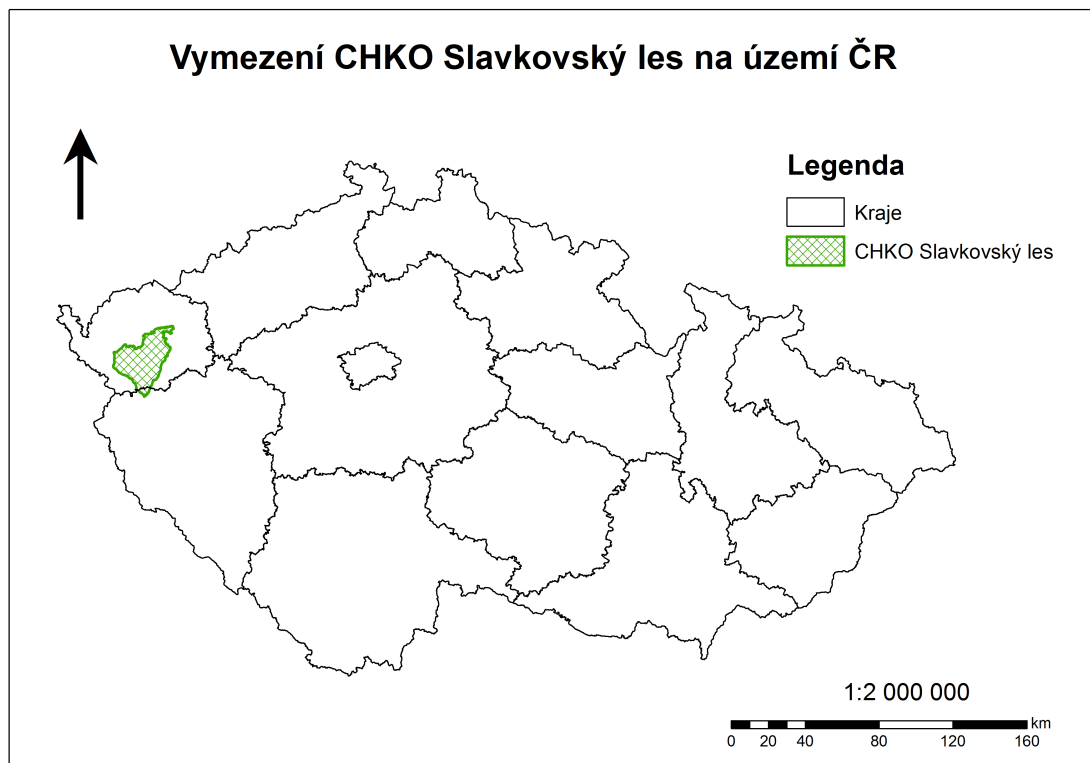
Obr. č. 7: Výsledky hodnocení zdravotního stavu na vybraných plochách FutMon s hlavní dřevinou smrk v letech 2009 – 2010 (VÚLHM, 2011)

6. Výsledky

Vybrané snímky viz tab. č. 8 byly z serveru USGS staženy ve formátu TAR, který obsahuje 7 spektrálních pásem ve formátu TIFF v souřadnicovém systému WGS 84 UTM 33 N. Všechny obrazy byly v programu ArcGIS 10.2 podrobeny atmosférické korekci a následně vypočítány vegetační indexy NDVI, Tasseled Cap Index Brightness, Greenness a Wetness. Správou CHKO Slavkovský les byla poskytnuta vektorová data s vymezením chráněné krajinné oblasti (obr. č. 8), na základě kterých byly všechny snímky oříznuty.

Tab. č. 8: Základní údaje použitých snímků (USGS)

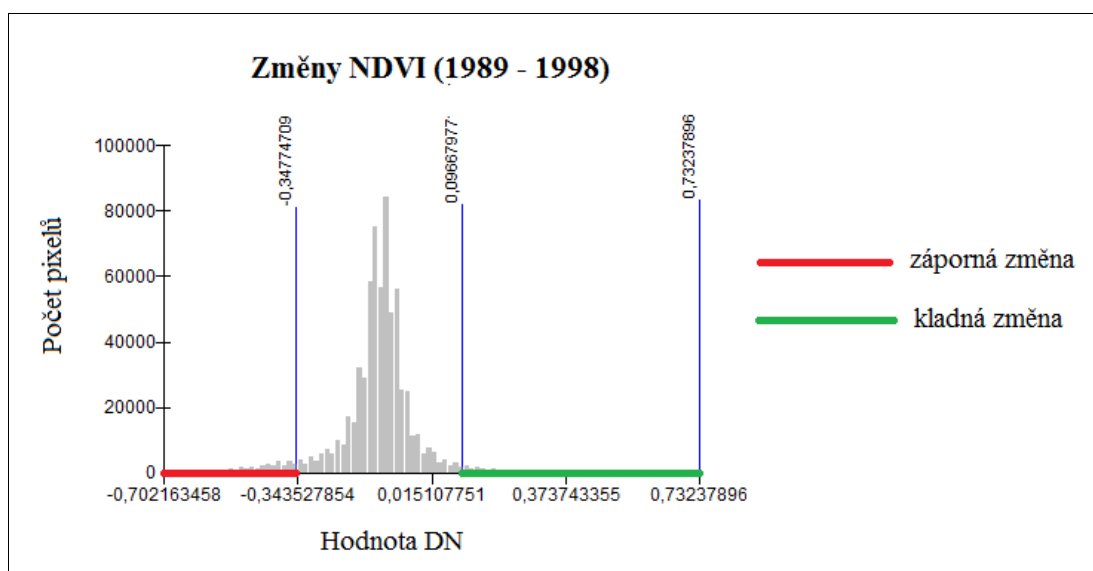
	ID snímku	Satelit	Senzor	Datum pořízení
1	LT51920251989261KIS00	Landsat 5	TM	18. září 1989
2	LT51920251998222KIS00	Landsat 5	TM	10. srpna 1998
3	LT51930252006267MOR00	Landsat 5	TM	24. září 2006



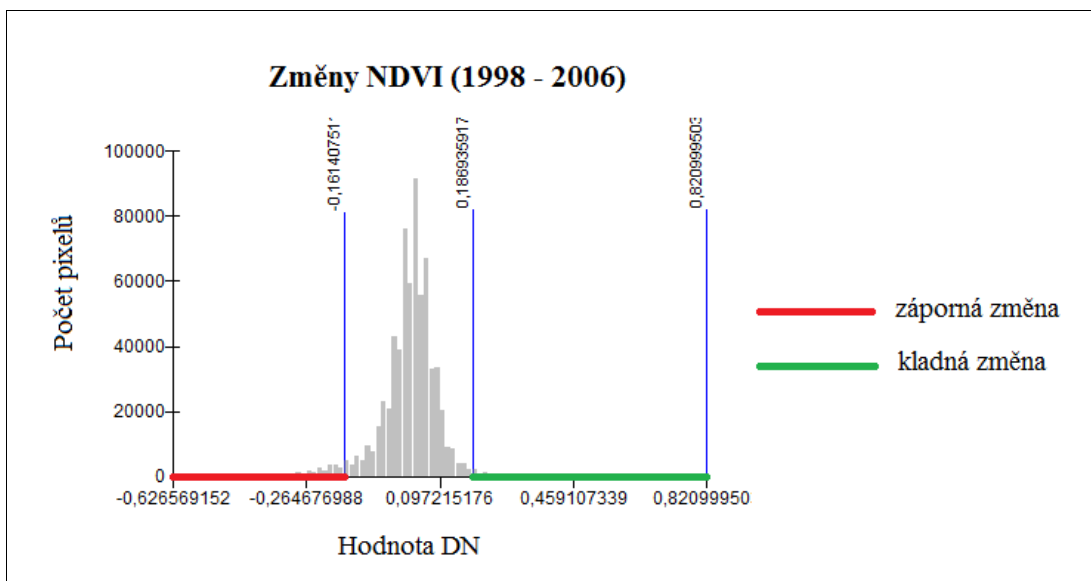
Obr. č. 8: Vymezení CHKO Slavkovský les na území ČR

6.1 Mapování vegetace v CHKO Slavkovský les pomocí NDVI

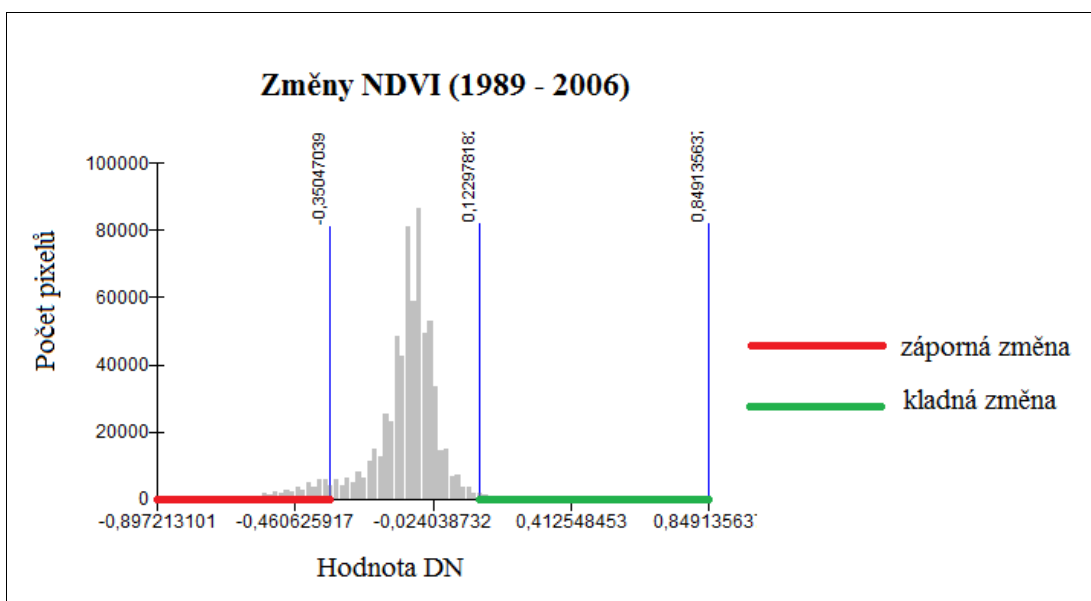
Zpracované snímky v prostředí GIS ukazují rozdíly mezi vybranými lety (příloha č. 1, 2, 3). Plochy s bohatým zastoupením vegetace na území chráněné krajinné oblasti Slavkovský les mají hodnoty tzv. normalizovaného vegetačního indexu nejvyšší. Plochy bez vegetace mají nižší hodnoty a voda představuje nejtmaší plochy s nejnižšími hodnotami NDVI. Zastavěná území jsou ve většině případů prezentována smíšenými pixely, což všeobecně znesnadňuje jejich vymezení na snímcích. Přílohy č. 4, 5 a 6 ukazují oblasti se změnami mezi jednotlivými roky, které jsou výsledkem odečítání DN hodnot mezi příslušnými lety nástrojem ArcGIS Raster Calculator. Výsledné rozdíly snímků byly za pomoci prahování histogramů upraveny tak, aby bylo zvýrazněno 10 % nejnižších hodnot a 10 % nejvyšších hodnot NDVI. Zelená barva znázorňuje kladné změny, tj. nárůst hodnoty NDVI a červená barva naopak záporné změny, tj. pokles hodnoty NDVI v hodnoceném území za sledovaná období (obr. č. 9, 10, 11).



Obr. č. 9: Upravený histogram změn NDVI (1989 – 1998)



Obr. č. 10: Upravený histogram změn NDVI (1998 – 2006)

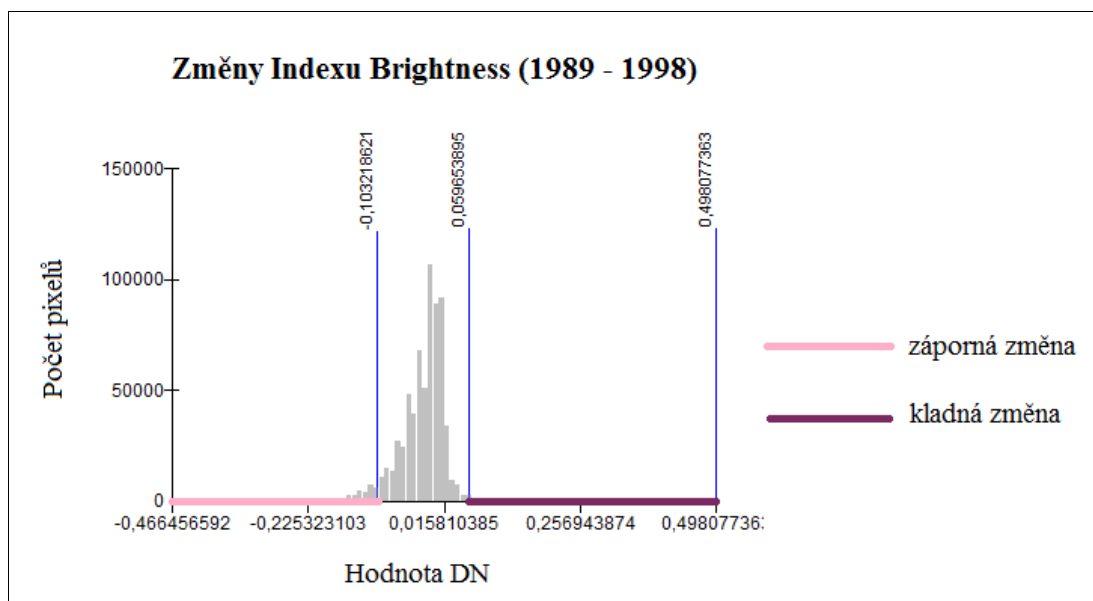


Obr. č.11 : Upravený histogram změn NDVI (1989 – 2006)

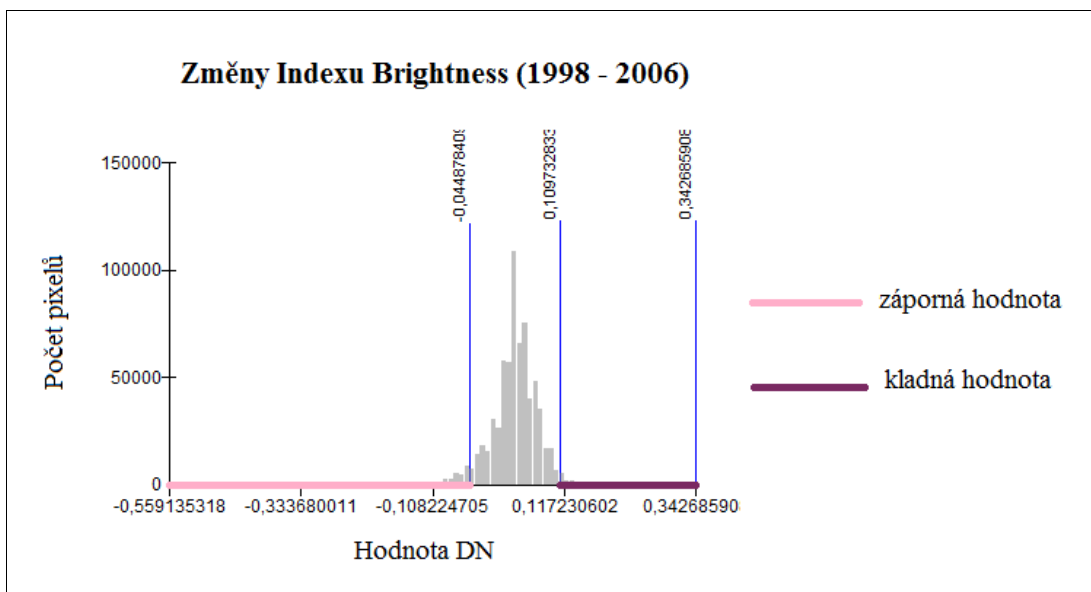
6.2 Mapování vegetace pomocí transformace Tasseled Cap

6.2.1 Index Brightness

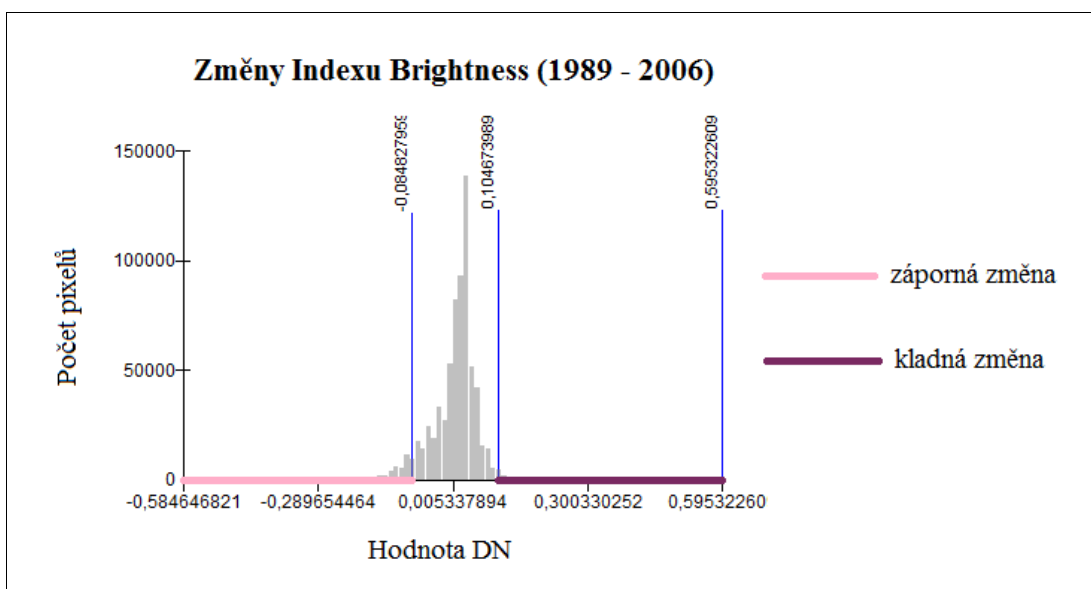
Odstíny Indexu Brightness na snímcích transformace Tasseled Cap (příloha č. 7, 8, 9) udávají hodnoty odrazivosti v závislosti na půdních poměrech. Holá půda se vyznačuje nejvyšší odrazivostí a proto má nejvyšší hodnoty DN. Vodní plochy a plochy pokryté vegetací mají nízkou hodnotu odrazivosti a mají výrazně menší hodnoty DN. Pro výsledné rozdíly mezi vybranými lety byly pomocí úpravy histogramů (obr. č. 12, 13, 14) zvýrazněny oblasti s poklesem hodnot odrazivosti (záporná změna) světle fialovou barvou a oblasti s nárůstem hodnot odrazivosti (kladná změna) tmavě fialovou barvou (příloha č. 10, 11 a 12).



Obr. č. 12: Upravený histogram změn Indexu Brightness (1989 – 1998)



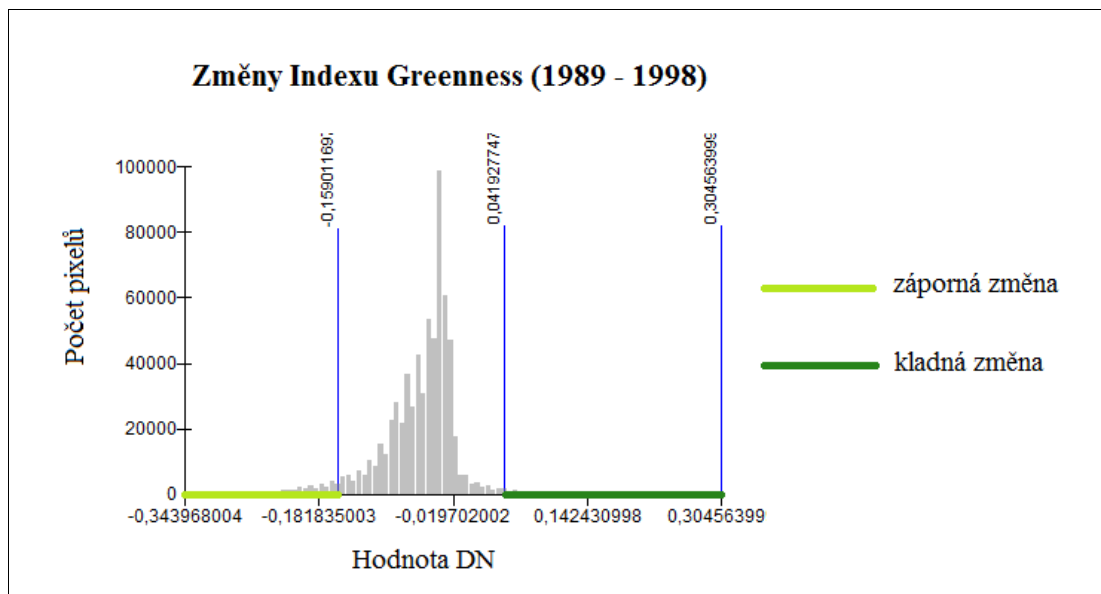
Obr. č. 13: Upravený histogram změn Indexu Brightness (1998 – 2006)



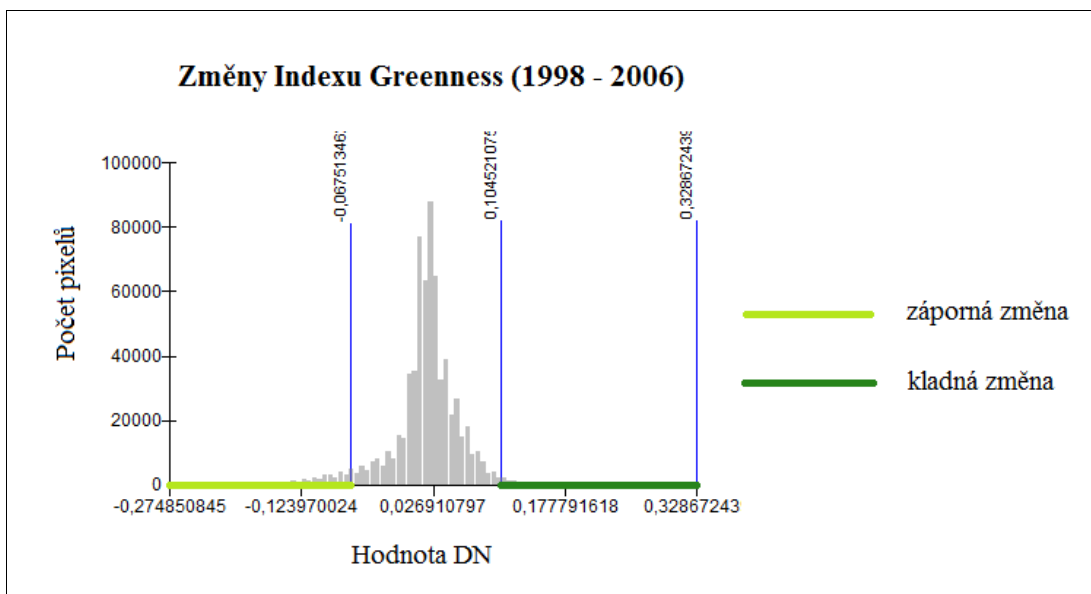
Obr. č. 14: Upravený histogram změn Indexu Brightness (1989 – 2006)

6.2.2 Index Greenness

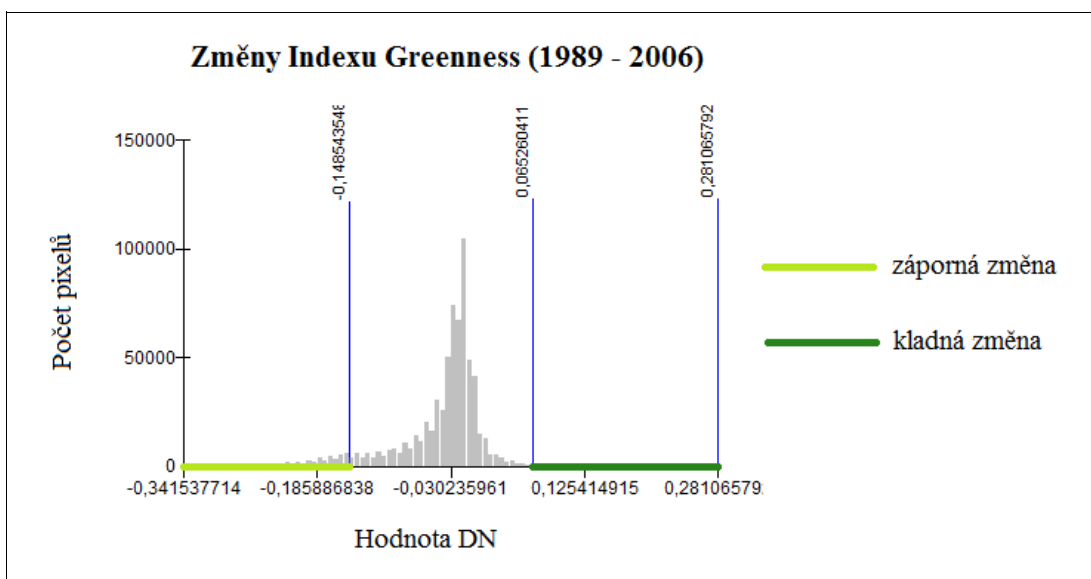
Index Greenness, označován jako index zeleně a je ukazatelem množství zelené hmoty v jednotlivých pixelech (příloha č. 13, 14, 15). Části s rozvinutým vegetačním krytem jsou na snímcích nejtmaší a dají se vizuálně přirovnat ke snímkům znázorňující hodnoty NDVI v jednotlivých letech. Odlišnosti mezi pozorovanými lety jsou vyznačeny zelenou barvou (příloha č. 16, 17, 18). Histogramy odečtených snímků jsou upraveny, oblasti s výrazně nižšími hodnotami DN (záporná změna) jsou zbarveny světle zeleným odstínem a oblasti s výrazně vyššími hodnotami DN (kladná změna) tmavě zeleným odstínem (obr. č. 15, 16, 17).



Obr. č. 15: Upravený histogram změn Indexu Greenness (1989 – 1998)



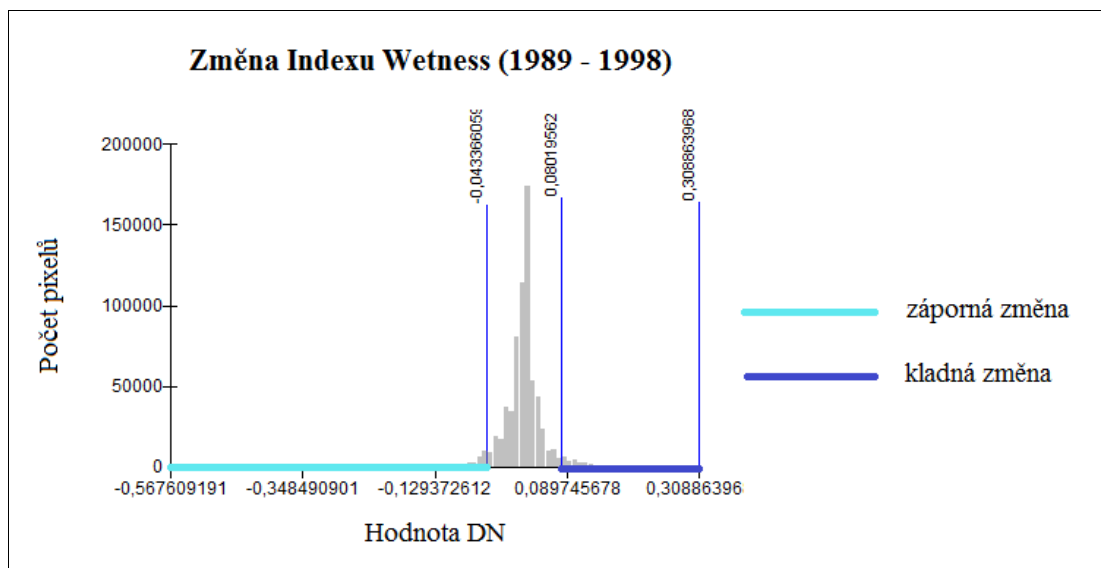
Obr. č. 16: Upravený histogram změn Indexu Greenness (1998 – 2006)



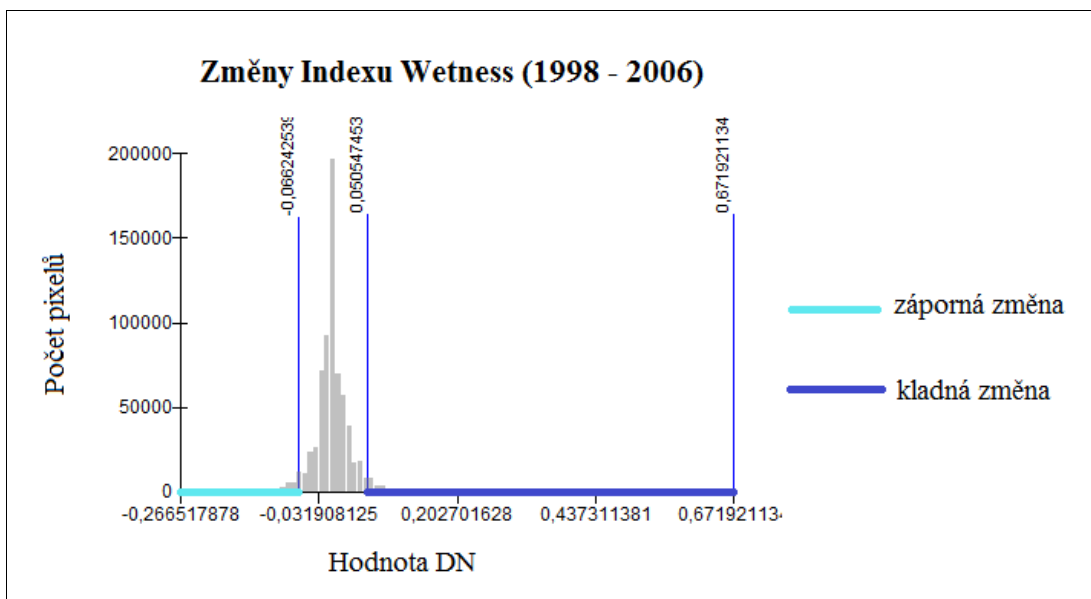
Obr. č. 17: Upravený histogram změn Indexu Greenness (1989 – 2006)

6.2.3 Index Wetness

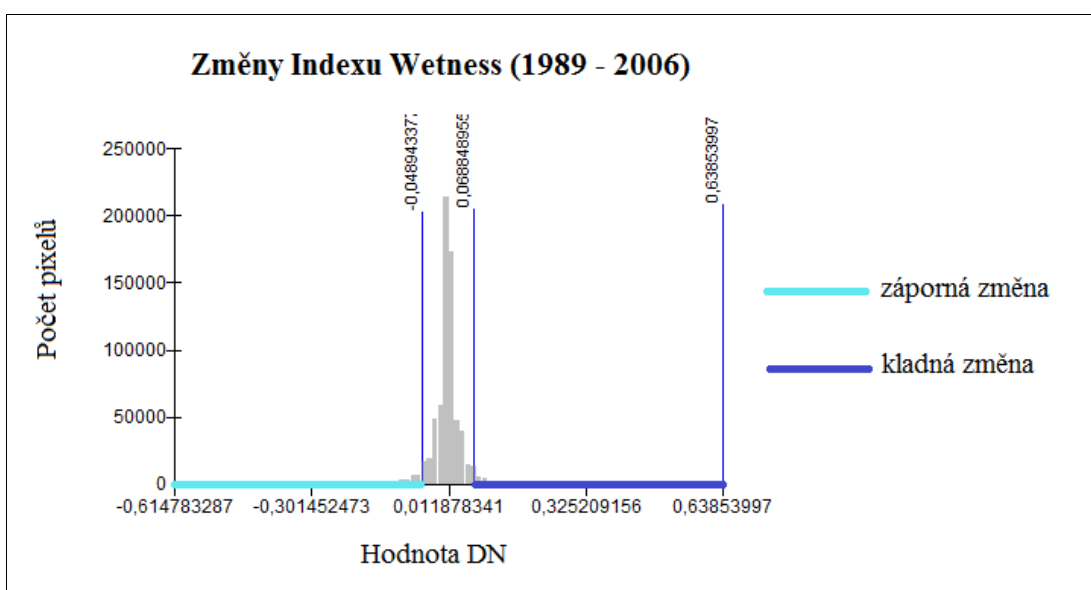
Vlhkost půdy a vegetace zásadně určují hodnoty odrazivosti indexu Wetness, proto mají plochy s vysokým obsahem vody nejvyšší DN hodnoty (příloha č. 19, 20, 21). Plochy s nejnižšími DN hodnotami potom reprezentují převážně suchou i holou půdu, zastavěnou plochu nebo místa s minimem vegetace. Na první pohled se snímky zdají být téměř inverzní k indexu Brightness. Oblasti se změnami mezi zkoumanými lety jsou zabarveny modře viz. příloha č. 22, 23, 24. Místa, která se vyznačují poklesem hodnot odrazivosti (záporná změna), představují světlý tón modré barvy a místa s nárůstem hodnot odrazivosti (kladná změna) naopak tmavý tón modré barvy. Výsledek rozdílů jednotlivých dvojic snímků Indexu Wetness byl opět upraven pomocí prahování histogramu na základě 10% hranice velikosti změn v obou směrech (obr. č. 18, 19, 20).



Obr. č. 18: Upravený histogram změn Indexu Wetness (1989 – 1998)



Obr. č. 19: Upravený histogram Indexu Wetness (1998 – 2006)



Obr. č. 20: Upravený histogram změn Indexu Wetness (1989 – 2006)

6.3 Porovnání vegetačních indexů

Z atributové tabulky reklasifikovaných snímků byly použity plošné údaje z každé změny vypočtených indexů. Tabulka č. 9 ukazuje statistické údaje velikosti změn indexů NDVI, Brightness, Greenness a Wetness mezi jednotlivými lety. Téměř u všech indexů lze konstatovat, že plocha oblastí s výrazným poklesem hodnot odrazivosti (záporné změny) mírně převažuje nad plochami oblastí s výrazným nárůstem hodnot odrazivosti (kladné změny). Převážná většina území však zůstala beze změn, což poukazuje na snahu správy CHKO Slavkovský les o ochranu přírody a krajiny.

Tabulka č. 9: Statistické údaje změn podle Indexů v CHKO Slavkovský les

CHKO Slavkovský les				
Kategorie	Změny mezi lety	1989 – 1998	1998 – 2006	1989 – 2006
NDVI	záporná změna [ha]	2758,23	2515,32	3699,99
	žádná změna [ha]	56970,90	57900,96	56940,84
	kladná změna [ha]	1512,54	825,39	600,84
Index Brightness	záporná změna [ha]	2672,64	2639,97	3159,00
	žádná změna [ha]	57797,55	57762,90	57589,47
	kladná změna [ha]	771,48	838,80	493,20
Index Greenness	záporná změna [ha]	2612,70	2888,46	3928,41
	žádná změna [ha]	57443,76	57459,15	65790,36
	kladná změna [ha]	1185,21	894,06	522,90
Index Wetness	záporná změna [ha]	1933,38	1810,89	2103,66
	žádná změna [ha]	57278,79	57339,00	57291,39
	kladná změna [ha]	2029,50	2091,78	1846,62

Následující tabulky 10, 11 a 12 představují korelační matice a porovnávají velikosti změn vegetačních indexů mezi sledovanými lety. Pro každou dvojici indexů byly vypočítány korelační koeficienty, díky kterým lze posoudit vzájemné vztahy. Z analýzy vyplývá, že existuje velmi úzký vztah mezi jednotlivými indexy a rozdíly mezi zvolenými kategoriemi jsou velmi malé.

Tab. č. 10: Korelační matice vegetačních indexů mezi lety 1989 – 1998 (hladina významnosti 0,05 %)

Kategorie	NDVI (1989 – 1998)	Index Brightness (1989 – 1998)	Index Greenness (1989 – 1998)	Index Wetness (1989 – 1998)
NDVI (1989 – 1998)	1	0,9999531288	0,9999966662	0,9997757929
Index Brightness (1989 – 1998)	0,9999531288	1	0,9999747956	0,9995239208
Index Greenness (1989 – 1998)	0,9999966662	0,9999747956	1	0,9997177835
Index Wetness (1989 – 1998)	0,9997757929	0,9995239208	0,9997177835	1

Tab. č. 11: Korelační matice vegetačních indexů mezi lety 1998 – 2006 (hladina významnosti 0,05 %)

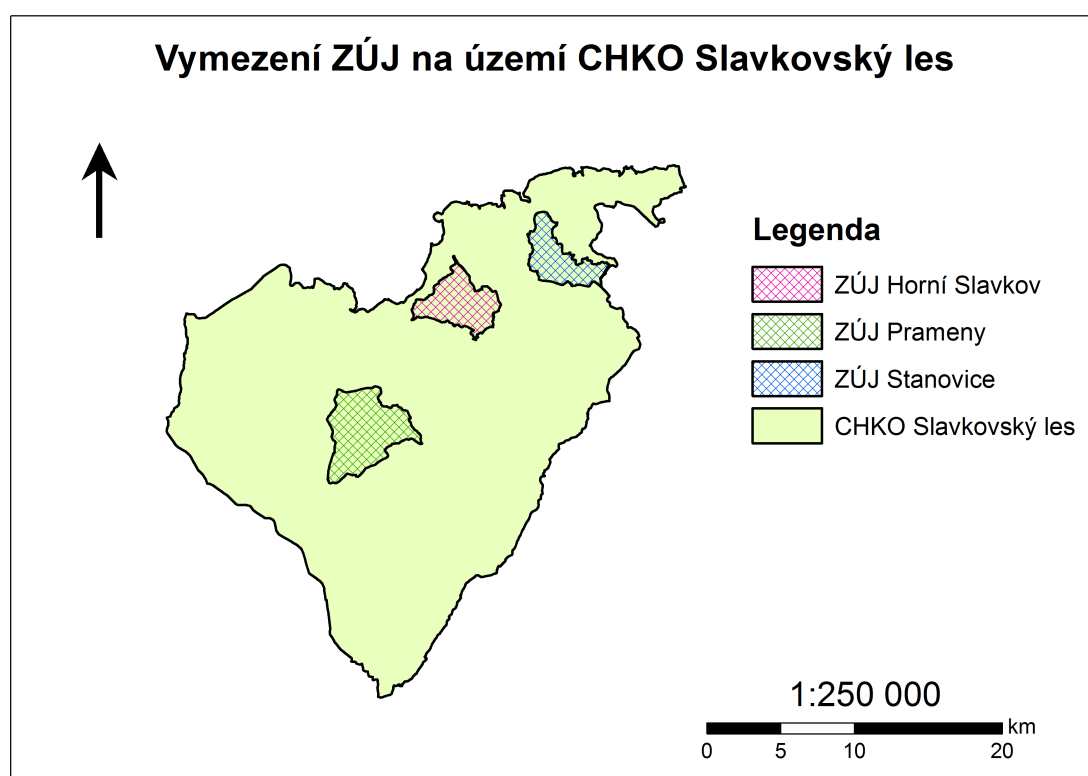
Kategorie	NDVI (1998 – 2006)	Index Brightness (1998 -2006)	Index Greenness (1998 – 2006)	Index Wetness (1998 – 2006)
NDVI (1998 – 2006)	1	0,9999983539	0,9999872415	0,9995375555
Index Brightness (1998 -2006)	0,9999983539	1	0,999994761	0,999480735
Index Greenness (1998 – 2006)	0,9999872415	0,999994761	1	0,999371197
Index Wetness (1998 – 2006)	0,9995375555	0,999480735	0,999371197	1

Tab. č. 12: Korelační matice vegetačních indexů mezi lety 1989 – 2006 (hladina významnosti 0,05 %)

Kategorie	NDVI (1989 – 2006)	Index Brightness (1989 – 2006)	Index Greenness (1989 – 2006)	Index Wetness (1989 – 2006)
NDVI (1989 – 2006)	1	0,9999713532	0,9999966666	0,9989911623
Index Brightness (1989 – 2006)	0,9999713532	1	0,9999875636	0,9993024562
Index Greenness (1989 – 2006)	0,9999966666	0,9999875636	1	0,9991037829
Index Wetness (1989 – 2006)	0,9989911623	0,9993024562	0,9991037829	1

6.4 Porovnání vývoje území s databází dlouhodobých změn Lucc

Pro získání statistických údajů byly vybrány index NDVI a transformace Tasseled Cap index Greenness. Snímky z let 1989, 1998 a 2006, byly na základě spektrální odrazivosti klasifikovány do jednotlivých kategorií krajinného pokryvu. Obrazy byly upraveny metodou řízené klasifikace, která pomocí tzv. trénovacích ploch agreguje pixely v obraze do skupin na základě podobných spektrálních vlastností. Zvoleny byly kategorie vodní plochy, lesy a ostatní plochy, kam spadají zemědělský půdní fond (dále ZPF), zástavba a jiné. Porovnány byly statistické údaje ze základních územních jednotek Prameny, Horní Slavkov a Stanovice (obr. č. 21).



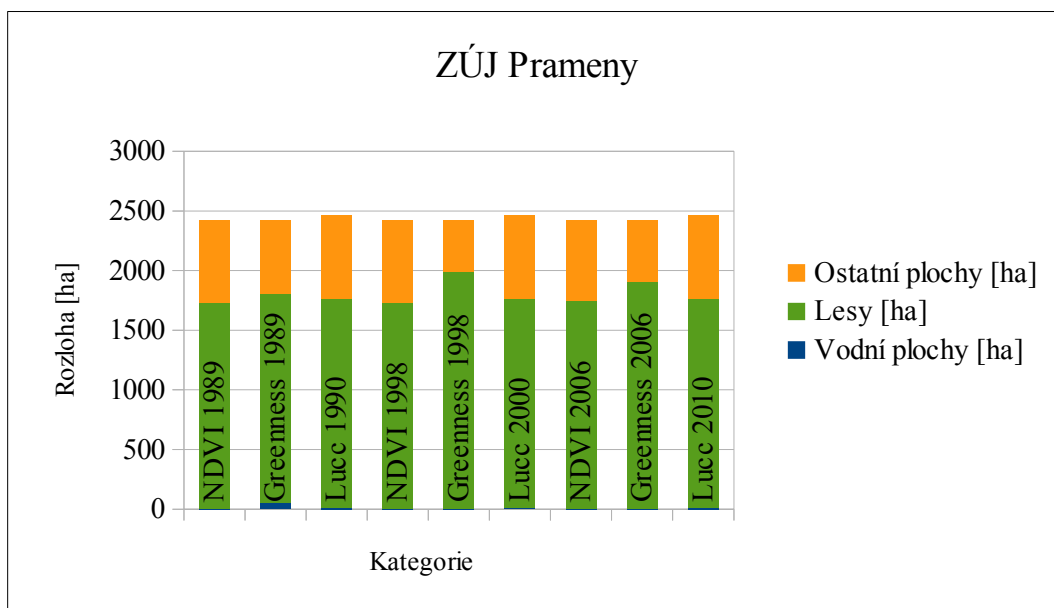
Obr. č. 21: Vymezení ZÚJ na území CHKO Slavkovský les

6.4.1 ZÚJ Prameny

Základní územní jednotka Prameny se nachází v centrální části CHKO Slavkovský les, v okrese Cheb. Jeho rozloha činí 2451 ha, leží zde Národní přírodní památka Tři křížky, Úpolínová louka pod Křížky a přírodní rezervace Mokřady pod Vlčkem. Převážná většina území je porostlá lesy (asi $\frac{3}{4}$), což potvrzují také výsledky klasifikace NDVI a Indexu Greenness (příloha č. 25 - 30). Velké statistické rozdíly lze nalézt u vodních ploch, kde se tzv. mixely přiřadily k ostatním plochám, zvláště v okrajových partiích. Naopak hodnoty orné půdy v západní části území jsou na základě Indexu Greenness z 18. září 1989 tak nízké, že vykazují stejné hodnoty jako voda a poukazují na holou půdu bez vegetace. Ty samé plochy se dle indexu Greenness z 10. srpna 1998 díky vysokým DN hodnotám osetých polí dostaly do kategorie lesů, což se projevilo ve statistických údajích (tab. č. 13 a obr. č. 22).

Tab. č. 13: Statistické údaje ZÚJ Prameny

Základní územní jednotka Prameny				
Kategorie	Vodní plochy [ha]	Lesy [ha]	Ostatní plochy [ha]	Celkem [ha]
NDVI 1989	1,5	1726,7	693,2	2421,4
Greenness 1989	54,4	1749,4	617,6	2424,4
Lucc 1990	15,3	1745,3	700,9	2451,6
NDVI 1998	1,5	1726,0	693,9	2421,4
Greenness 1998	1,9	1989,6	429,9	2421,4
Lucc 2000	15,1	1745,3	701,2	2451,6
NDVI 2006	1,5	1746,7	673,2	2421,4
Greenness 2006	1,6	1906,1	513,7	2421,4
Lucc 2010	15,9	1744,7	699,9	2460,5



Obr. č. 22: Graf podle statistických údajů ZÚJ Prameny

Pro korelační analýzu vhodnosti řízené klasifikace krajinných pokryvů pro statistické údaje bylo použito vztahů mezi indexem NDVI, indexem Greenness a databází Lucc. Porovnány byly vegetační indexy z roku 1989 s databází Lucc z roku 1990 (tab. č. 14) a vegetační indexy z roku 1998 s databází Lucc z roku 2000 (tab. č. 15). Z korelační matice vyplývá bližší vztah mezi NDVI a Lucc než mezi Greenness a Lucc.

Tab. č. 14: Korelační matice NDVI (1989), Greenness (1989) a Lucc (1990) v ZÚJ Prameny
(hladina významnosti 0,05 %)

Kategorie	NDVI 1989	Greenness 1989	Lucc 1990
NDVI 1989	1	0,9970048002	0,9999860418
Greenness 1989	0,9970048002	1	0,9973995136
Lucc 1990	0,9999860418	0,9973995136	1

Tab. č. 15: Korelační matice NDVI (1998), Greenness (1998) a Lucc (2000) v ZÚJ Prameny
(hladina významnosti 0,05 %)

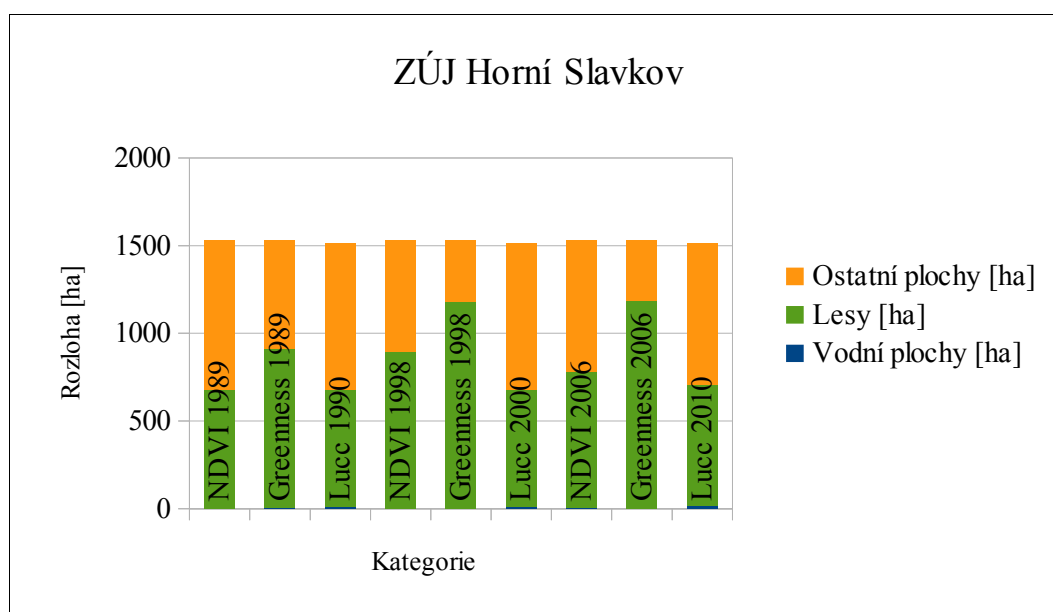
Kategorie	NDVI 1998	Greenness 1998	Lucc 2000
NDVI 1998	1	0,979193914	0,9999840107
Greenness 1998	0,979193914	1	0,9803257949
Lucc 2000	0,9999840107	0,9803257949	1

6.4.2 ZÚJ Horní Slavkov

Základní územní jednotka Horní Slavkov se nachází v severní části CHKO Slavkovský les na ploše 1513 ha. Zdejší příroda je dosud poznamenána důlní činností, která zde činila hlavní zdroj příjmů. V krajině dominuje ZPF a urbanizované území, ale i lesy zaujímají významnou plochu (příloha č. 31 – 36). Z hlediska statistiky na základě vegetačních indexů lze poukázat na výkyvy, které jsou závislé na době pořízení snímků. Opět stoupl počet pixelů přiřazených ke kategorii lesů Indexu Greenness z 10. srpna 1998, ale i v ostatních sledovaných letech. V důsledku vzrostlé vegetace na orné půdě, která má vysokou hodnotu odrazivosti, se projevují rozdíly v datech, především vzhledem k databázi dlouhodobých změn využití ploch Česka viz tab. č. 14 a obr. č. 23.

Tab. č. 16: Statistické údaje ZÚJ Horní Slavkov

Základní územní jednotka Horní Slavkov				
Kategorie	Vodní plochy [ha]	Lesy [ha]	Ostatní plochy [ha]	Celkem [ha]
NDVI 1989	0,7	677,0	834,0	1511,7
Greenness 1989	3,2	910,5	610,0	1523,7
Lucc 1990	15,2	661,8	836,8	1513,8
NDVI 1998	0,2	897,1	614,4	1511,7
Greenness 1998	1,7	1178,2	329,8	1511,7
Lucc 2000	15,2	662,1	835,5	1512,8
NDVI 2006	5,1	776,9	730,7	1512,7
Greenness 2006	2,3	1184,1	325,3	1511,7
Lucc 2010	17,7	688,2	807,8	1513,7



Obr. č. 23: Graf podle statistických údajů ZÚJ Horní Slavkov

Korelační analýza řízené klasifikace krajinných pokryvů a statistických údajů z databáze dlouhodobých změn v ZÚJ Horní Slavkov sleduje vzájemné vztahy mezi indexem NDVI, indexem Greenness a Lucc. Porovnány byly opět vegetační indexy z roku 1989 s databází Lucc z roku 1990 a vegetační indexy z roku 1998 s databází Lucc z roku 2000. Na první pohled je zřejmé, že Greenness (1989) a Lucc (1990) spolu méně korelují (tab. č. 17) než NDVI (1989) a Lucc (1990).

Tab. č. 17: Korelační matice NDVI, Greenness (1989) a Lucc (1990) v ZÚJ Horní Slavkov
(hladina významnosti 0,05 %)

Kategorie	NDVI 1989	Greenness 1989	Lucc 1990
NDVI 1989	1	0,8682571497	0,9999885493
Greenness 1989	0,8682571497	1	0,8658730345
Lucc 1990	0,9999885493	0,8658730345	1

V tabulce č. 18 mezi sebou nejméně korelují data Greenness (1998) a Lucc (2000). Důvodem výrazné odlišnosti je přiřazení pixelů osetých polí ve vegetačním období ke kategorii lesů, čímž došlo ke zkreslení statistických údajů.

Tab. č. 18: Korelační matice NDVI, Greenness (1998) a Lucc (2000) v ZÚJ Horní Slavkov
(hladina významnosti 0,05 %)

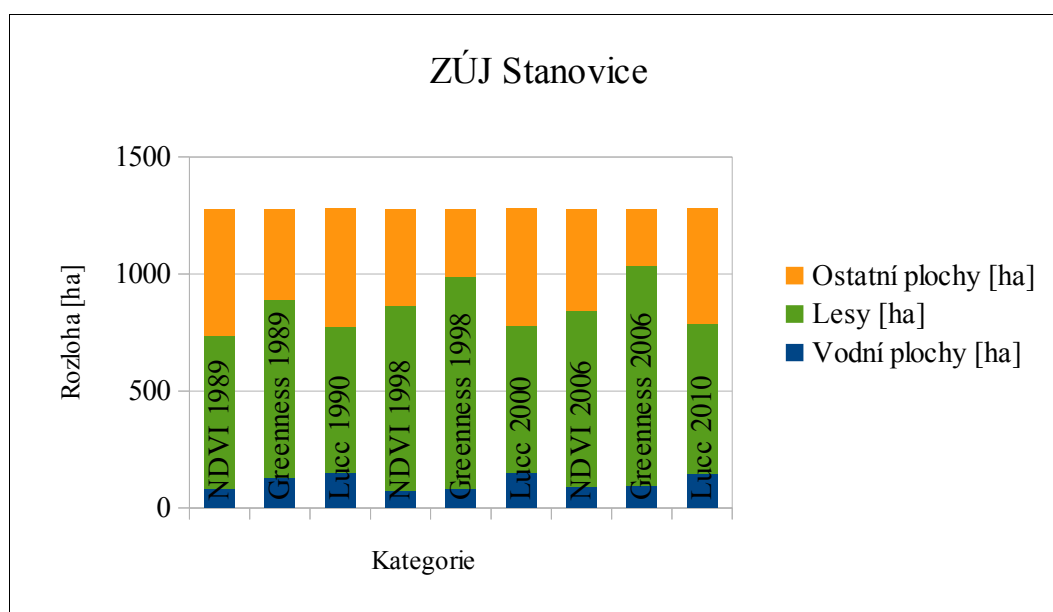
Kategorie	NDVI 1998	Greenness 1998	Lucc 2000
NDVI 1998	1	0,894113891	0,8819664726
Greenness 1998	0,894113891	1	0,5775062082
Lucc 2000	0,8819664726	0,5775062082	1

6.4.3 ZÚJ Stanovice

Základní územní jednotka Stanovice leží na severovýchodě CHKO Slavkovský les a vyznačuje se především vodním dílem Stanovice o ploše 150 ha. Největší plošnou výměru zaujímají lesy, následuje ZPF (příloha č. 37 – 42). Ve statistických údajích indexů NDVI a Greenness se projevuje přiřazení okrajových částí vodních ploch ke kategorii ostatní plochy. Rovněž vliv ZPF se vzrostlou vegetací anebo zcela bez vegetace zkrusluje statistiku v jednotlivých kategoriích, zejména Indexu Greenness (tab. č. 15 a obr. č. 24).

Tab. č. 19: Statistické údaje ZÚJ Stanovice

Základní územní jednotka Stanovice				
Kategorie	Vodní plochy [ha]	Lesy [ha]	Ostatní plochy [ha]	Celkem [ha]
NDVI 1989	82,9	651,4	542,8	1277,1
Greenness 1989	130,8	758,0	388,3	1277,1
Lucc 1990	150,4	624,0	504,7	1279,1
NDVI 1998	76,6	787,1	413,4	1277,1
Greenness 1998	81,7	908,5	286,9	1277,1
Lucc 2000	150,4	629,0	499,8	1279,1
NDVI 2006	89,4	753,5	434,2	1277,1
Greenness 2006	95,7	941,4	240,0	1277,1
Lucc 2010	148,1	638,9	492,1	1279,1



Obr. č. 24: Graf podle statistických údajů ZÚJ Stanovice

Z korelačních matic v ZÚJ Stanovice (tab. č. 20 a 21) vyplývá nejtesnější vztah mezi NDVI z roku 1989 a Lucc z roku 1990. Významně spolu korelují také NDVI z roku 1998 a Greenness z téhož roku. Naopak vztah mezi Greenness (1998) a Lucc (2000) spolu korelují nejméně.

Tab. č. 20: Korelační matice NDVI, Greenness (1989) a Lucc (1990) v ZÚJ Stanovice
(hladina významnosti 0,05 %)

Kategorie	NDVI 1989	Greenness 1989	Lucc 1990
NDVI 1989	1	0,9023480274	0,9979728529
Greenness 1989	0,9023480274	1	0,9279486531
Lucc 1990	0,9979728529	0,9279486531	1

Tab. č. 21: Korelační matice NDVI, Greenness (1998) a Lucc (2000) v ZÚJ Stanovice
(hladina významnosti 0,05 %)

Kategorie	NDVI 1998	Greenness 1998	Lucc 2000
NDVI 1998	1	0,9681679266	0,9583541593
Greenness 1998	0,9681679266	1	0,8563660428
Lucc 2000	0,9583541593	0,8563660428	1

7. Diskuse

Mapování vegetace za pomoci DPZ představuje moderní způsob monitorování změn zemského povrchu. Mnoho autorů se v současnosti zabývá studováním krajiny prostřednictvím digitálních dat. Tato metoda má však svá omezení, jak píše Halounová a Pavelka (2008). Výsledek kombinace spektrálních pásem mnohdy vede k vizuálnímu zkreslení. K definování vnitřních parametrů klasifikace obrazu se používá převážně spektrálních příznaků, které nemusejí být vždy jednoznačné a správné. Vhodné použití klasifikačních pravidel závisí na požadovaných informacích. Nejen Dobrovolný (1998; 2001) ale i Coppin a Bauer (1996) zdůrazňují, že údaje z TM jsou omezeny prostorovým rozlišením 30 x 30 m, proto by přidání snímků s vyšším rozlišením mohlo přispět ke správnému rozdělení krajinného pokryvu v obraze. Tyto informace mohou sloužit k plánování, modelování a hodnocení životního prostředí.

Pro monitorování zemského povrchu mohou posloužit tzv. vegetační indexy, na základě kterých byl v této práci posouzen vývoj území v CHKO Slavkovský les. Na vhodnost použití vegetačního indexu NDVI pro geografickou identifikaci změn krajiny poukazuje také Wen a kol. (2011), Aplan a Derse (2011) nebo Keles a kol. (2007). Na základě prezentovaných výsledků zpracovaných snímků z družice Landsat TM ve formě statistických údajů byla vytvořena korelační matice, která potvrzuje jistou provázanost NDVI s transformacemi Tasseled Cap Index Brightness, Greenness a Wetness. Tyto vegetační indexy jsou použity pro posouzení změn krajinného pokryvu ve sledovaném území, zejména Index Greenness prokazatelně koreluje s NDVI.

Transformace Tasseled Cap zlepšuje podle Crista a kol. (1986) oddělení zemědělských polí od lesa, kde se přes hluboké stíny vzrostlé vegetace odráží vlhkost rostlin a půdy. Nicméně velmi záleží na datu pořízeného snímku, kdy je třeba brát v úvahu rozdílnou hodnotu odrazivosti orné půdy v závislosti na vegetačním období. Přesnost odhadu ze satelitního snímkování, jak uvádí Bonan (1993), potřebuje důslednou identifikaci osetých a sklizených polí. To však vyžaduje mnoho zkušeností a doplňujících informací, které jsou důležité pro relevanci řešení. Hodnoty odrazivosti osetých polí v různých fenologických fázích pěstovaných plodin se mohou přiblížit

nebo dokonce překročit hodnoty odrazivosti lesních porostů a znesnadňují jednoznačné oddělení kategorií krajinného pokryvu. To se projevilo při řízené klasifikaci území ve zvolených ZÚJ. Zvláště u snímku ze srpna 1998, kdy byla pole s velkým množstvím zeleně přiřazena ke kategorii lesů. Naopak holá pole ze září 1989 vykazovala velmi nízkou hodnotu reflektance a místy se reklasifikovala jako vodní plochy. Také velikost pixelu snímaného území (0,09 ha) družice Landsat TM ovlivňuje do jisté míry správné přiřazení smíšených ploch tzv. mixelů (např. vegetace v zástavbě, stromový doprovod kolem silniční sítě apod.) do zvolených tříd a problémem jsou i okrajové části odlišných krajinných pokryvů.

Při porovnání zjištěných výsledků s databází dlouhodobých změn využití ploch Česka Lucc je třeba zohlednit mnoho faktorů, které znesnadňují klasifikaci území pomocí vegetačních indexů. Dosažené statistické údaje z NDVI a Indexu Greenness ve většině případů příliš nekorelují s údaji Lucc. Použití těchto dat k získávání statistických údajů kategorií krajinného pokryvu se ukazuje méně vhodné, avšak ve spojení s podpůrnými daty ne nemožné. Získání relevantních údajů vyžaduje mnoho vědomostí, zkušeností a dostatek času, aby byly jednotlivé pixely v obraze správně rozpoznány a rozříděny. Jensen (1986) vidí neúspěch při rozlišování objektů na základě spektrálního chování snímaných povrchů, pokud je jejich chování podobné okolí, v němž se nacházejí.

Jak ve své knize píše Dobrovolný (1998), družicové snímky obsahují řadu zkreslení, která je třeba odstranit, zpracovat a vhodně interpretovat. Dymond a kol. (2001) spatřují v dosažení přesnosti využití metod dálkového průzkumu Země důležitý úkol, zejména pro hospodaření v lesích. S takovým poznáním se dá jediné souhlasit. Woodcock a kol. (1994) prosazují aplikaci metod NDVI a Tasseled Cap zejména při mapování složení lesů, věku porostů, včetně struktury nebo odhadu poškození lesních porostů. Temporální analýza je pak vhodná pro odhalení odlesněných ploch (Cohen a kol., 1998; Fung, 1990), sledování vlhkosti půdy nebo vitality vegetace.

8. Závěr

Data DPZ jsou vhodná ke studiu časových změn a monitorování vývoje území. Detekce změn z projevů obrazových materiálů získaných distančním měřením provází mnohá úskalí, která se projevila i ve výsledcích této práce. Již výběr vhodného snímku vyžadoval vytrvalost, vzhledem k eliminaci množství oblačnosti nad hodnoceným územím, ve kterém je počet jasných dní v roce minimální. Faktor počasí tak velice snížil počet v úvahu připadajících snímků, které měly být pořízeny ve stejném ročním období a časově se přiblížit ke statistickým údajům databáze Lucc.

Jako další problém se ukázala přesnost klasifikace jednotlivých obrazů, jenž v ubranizovaném území představují smíšené povrchy. Na území CHKO Slavkovský les nedosahují tyto plochy velkých výměr, proto byla zástavba přiřazena ke kategorii ostatní plochy. Také hodnoty odrazivosti zemědělských ploch v závislosti na fenologické fázi vegetačního pokryvu neposkytují jednoznačné a správné informace pro zařazení do předem zvolených kategorií krajinného pokryvu. Výsledky ukazují, že metoda zjišťování statistických údajů na základě vegetačních indexů NDVI a transformace Tasseled Cap je nedostačující a je nutné zohlednit i jiné metody, včetně podpůrný dat.

9. Přehled literatury a použitých zdrojů

Použitá literatura:

ANDERSON J.R., HARDY E.E., ROACH J.T., WITMER R.E., 1976: *A land use and land cover classification system for use with remote sensor data*. U.S. Geological Survey Professional Paper 964, USGS , Washington, D.C., 28 s.

APLAN H., DERSE M. A., 2011: *CHange Detection in Southern Turkey Using Normalized Difference Vegetation Indey (NDVI)*. Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, 21:1, 12-18.

BARTOŠ J., MILOTA J., 2011: *Průvodce po minerálních pramenech IV., Minerální prameny Slavkovského lesa*. Český svaz ochránců přírody, ZO ČSPO Kladská, Mariánské Lázně, 80 s.

BERAN P., 1999: *Nerosty cíno-wolframových ložisek Slavkovského lesa*. Okresní muzeum a knihovna Sokolov, 287 s.

BÍNOVÁ L., CULEK., KOPECKÁ V., MÍCHAL I., PLESNÍK J., 1995: *Evropská ekologická síť - možný podíl České republiky*. Ochrana přírody, 50, 5: 141-146.

BONAN G. B., 1993: *Importance of leaf area index and forest type when estimating photosynthesis in boreal forests*. Remote Sensing of Environment, 43, 303–314.

BYTEL J., HARVÁNEK J., HORÁČEK J., NYKLES K., NEVEČEŘAL P., PROCHÁZKA V., SCHLOSSAR J., SUCHÁNEK K., ŠVANDRLÍK R., VYDROVÁ V., WIESER S., 1998: *Plán péče CHKO Slavkovský les*. Agentura ochrany a krajiny, Správa CHKO Slavkovský les, 303 s.

CAMPBELL J. B., 1996: *Introduction to Remote Sensing*. Taylor & Francis, London, 622 s.

COHEN W. B., FIORELLA M., GRAY J., HELMER E., ANDERSON K., 1998: *An efficient and accurate method for mapping forest clearcuts in the Pacific Northwest using Landsat imagery*. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 64, 293–300.

COPPIN P. R., BAUER M. E., 1996: *Digital change detection in forest ecosystems with remote sensing imagery*. *Remote Sensing Review*, 13, 207–234.

CRIST E. P., LAURIN R., CIDONE R. C., 1986: *Vegetation and soils information contained in transformed Thematic Mapper data*. In: *Proceedings of the IGARSS '86 Symposium, Zurich, Switzerland, Paris: ESA*, 1465–1470.

CULEK M. [ed.], 2005: *Biogeografické členění České republiky*. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 589 s.

DEMEK J., 1965: *Geomorfologie českých zemí*. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 335 s.

DEMEK J. [ed.], 1987: *Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny*. Academia, Praha, 584 s.

DI GREGORIO A., JANSEN L. J. M., 2000: *Land cover classification systém*. Food and Agriculture Organization (FAO) of the UN, Roma, 179 s.

DOBROVOLNÝ P., 1998: *Dálkový průzkum země, digitální zpracování obrazu*. Masarykova univerzita v Brně, 210 s.

DOBROVOLNÝ P., 2001: *Mapování vegetace s využitím družicových snímků*. [Online] 2001, cit. 3. 4. 2015

Dostupné z: < http://www.sci.muni.cz/~dobro/zemsky_povrch_vegetace.html.>

DYMOND C. C., MLADENOFF D. J., RADELOFF V. C., 2001: *Phenological differences in Tasseled Cap indices improve deciduous forest classification*. *Remote Sensing of Environment* 80 (2002), 460–472.

FERANEC J., 1992: *Analýza multitemporálních údajov DPZ – metodický nástroj geografických výzkumov*. Geografický časopis, vol. 44, 1, 40 – 49 s.

FUNG T., 1990: *An assessment of TM imagery for land cover change detection*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 28, 681–684.

HALOUNOVÁ L., 2009: *Zpracování obrazových dat*. České vysoké učení technické v Praze, 102 s.

HALOUNOVÁ L., PAVELKA K., 2008: *Dálkový průzkum Země*. České vysoké učení technické v Praze, 192 s.

HUANG C., WYLIE B., YANG L., HOMER C., ZYLSTRA G., 2002: *Derivation of a Tasseled Cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance*. International Journal of Remote Sensing, 23, 1741-1748.

HUETE A., A KOL., 1999: *MODIS vegetation index (MOD 13) algorithm theoretical basis document*. 129 s, [Online] 1999, cit. 28.1.2015
Dostupné z <http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf>

HUNTINGTON J., 1996: *The role of remote sensing in finding hydrothermal mineral deposits on earth*. Ciba Foundation symposium 02/1996; 202:214-31.

CHANDER G., HELDER D. L., MARKHAM B. L., 2009: *Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors*. Remote Sensing of Environment, 113, 893-903.

JENSEN J. R., 1986: *Introductory Digital Image Processing. A remote sensing perspective*. Prentice Hall, London, Sydney, Toronto, 379 s.

LILLESAND T. M., KIEFER R. W., 1994: *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 750 s.

- LILLESAND T., KIEFER R. W., CHIPMAN W. J., 2008: *Remote Sensing and Image Interpretation, 6th Edition*. John Wiley & Sons, New York, 753 s.
- KAŠPAROVÁ I., SKALOŠ J., 2012: *Landscape memory and landscape change in relation to mining*. *Ekological Engineering* 43: 60-69.
- KELES S., SIVRIKAYA F., CAKIR G., 2007: *Temporal changes in forest landscape patterns in Artvin forest planning unit, Turkey*. *Environmental Monitoring and Assessment* 129 (1-3): 483 – 490.
- MACKOVČIN P., ZAHRADNICKÝ J. [eds.], 2004: *Plzeňsko a Karlovarsko, Chráněná území ČR XI*. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 588 s.
- MAŤAŠOVÁ M., 2013: *Historický vývoj lesa v krajině vrchovin – případová studie CHKO Slavkovský les*. Bakalářská práce, ČZU, FŽP.
- MINISTR J., 1961: *Historický průzkum jednotných hospodářských celků Kynžvart I. a II.* Ústav pro hospodářskou úpravu lesů ve Zvoleni, pobočka Plzeň, 115 s.
- MINISTR J., 1964: *Historický průzkum lesů LHC Bečov I. a II.*, ÚHÚL Zvolen, pobočka Plzeň, 83 s.
- MYKIŠKA R. [ed.], 1968: *Geobotanická mapa ČSSR. 1. České země*.- Academia Praha, 208 s.
- NOŽIČKA J., 1957: *Přehled vývoje našich lesů*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 440 s.
- RÄDISCH J., 1961: *Zprávy o geologických výzkumech v roce 1960*. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 205 s.
- TOMÁŠEK M., 2000: *Půdy České republiky*. Český geologický ústav, 67 s.

VACEK S., 2003: *Horské lesy České republiky*. Praha, Ministerstvo zemědělství České republiky, 313 s.

VOGELMANN J. E., HOWARD S. M., YANG L., LARSON C. R., WYLIE B. K., VAN DRIEL J. N., 2001: *Completion of the 1990's National Land Cover Data Set for the conterminous United States*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 67, 650-662.

VÚLHM, 2011: *Rozvoj monitoringu zdravotního stavu lesa v rámci projektu Life+ „FutMon“ v České republice*. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i., 58 s.

WEN Y., KHOSROWPANAH S., HEITZ L., 2011: *Land cover change of watersheds in Southern Guam from 1973 to 2001*. Environmental Monitoring and Assessment 179(1–4): 521–529.

WIESER S., 2006: *Slavkovský les*. Olympia, Praha, 158 s.

WILLIAMS J., 1995: *Geographic Information from Space. Processing and Applications of Geocoded Satellite Images*. Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 210 s.

WOODCOCK C. E., COLLINS J. B., GOPAL S., JAKABHAZY V. D., LI X., MACOMBER S., RYHERD S., HARWARD V. J., LEVITAN J., WU Y., WARBINGTON R., 1994: *Mapping forest vegetation using Landsat TM imagery and a canopy reflectance model*. Remote Sensing of Environment, 50, 240–254.

ZONNEVELD I. S., 1995: *Land Ecology*. SPB Academic Publishing, Amsterdam.

Internetové zdroje:

<http://glovis.usgs.gov/>, cit. 2.10.2014

http://www.sci.muni.cz/~dobro/zemsky_povrch_vegetace.html, cit. 15.12.2014

<https://akela.mendelu.cz/~xfejfar/NSA/DPZ.pdf>, 11.1.2015

<http://energetika.tzb-info.cz/vytapime-plynem/5802-preventivni-opatreni-pro-spravnou-funkci-plynovych-zarizeni-ii>, cit. 23.3.2015

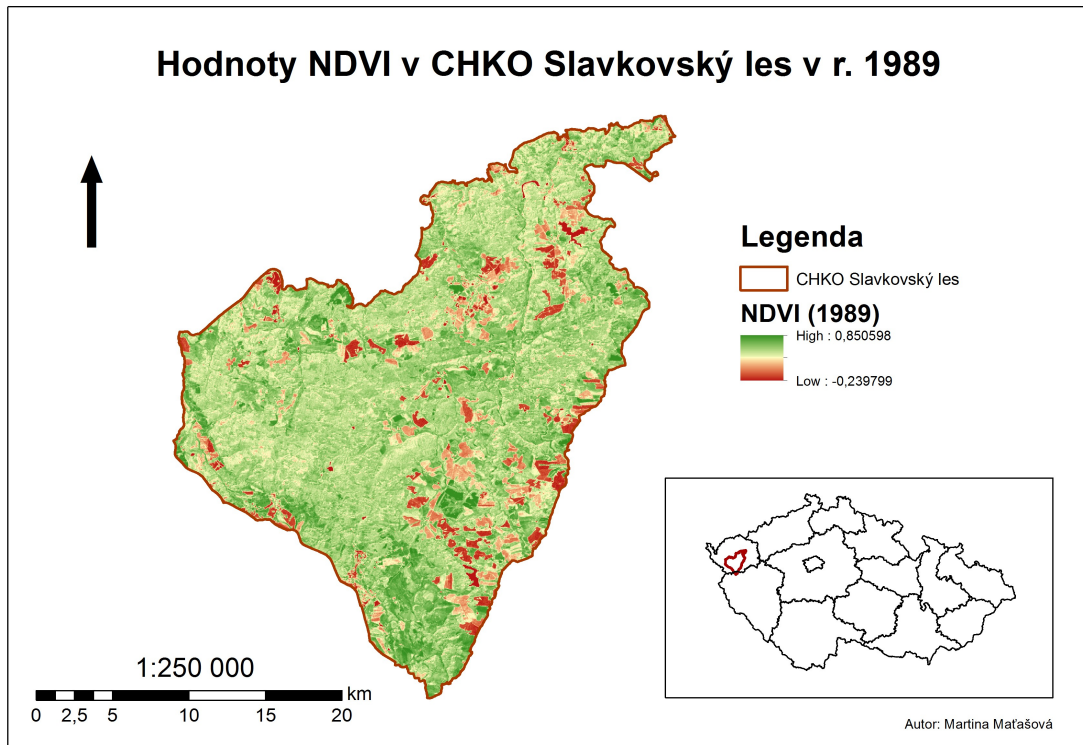
<http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/geograficka-data/druzicova-data/druzice-a-skenery/landsat/>, cit. 27.2.2015

http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php, cit. 10.4.2015

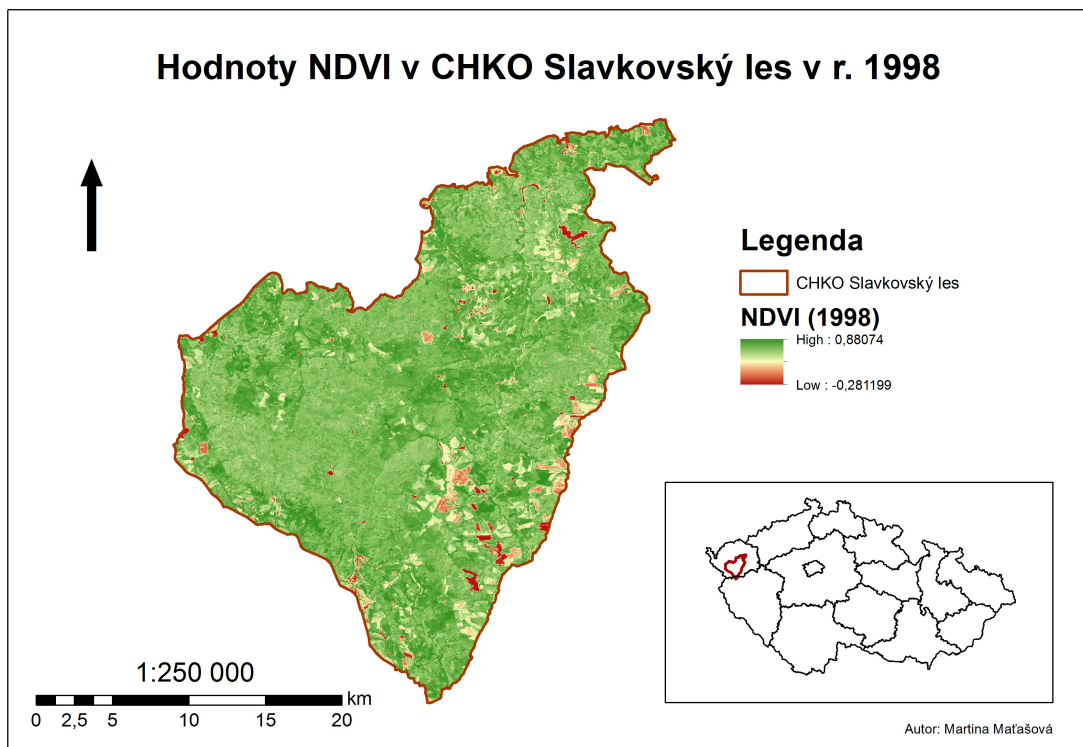
http://lucc.ic/lucc_data/, cit. 2.2.2015

10. Přílohy

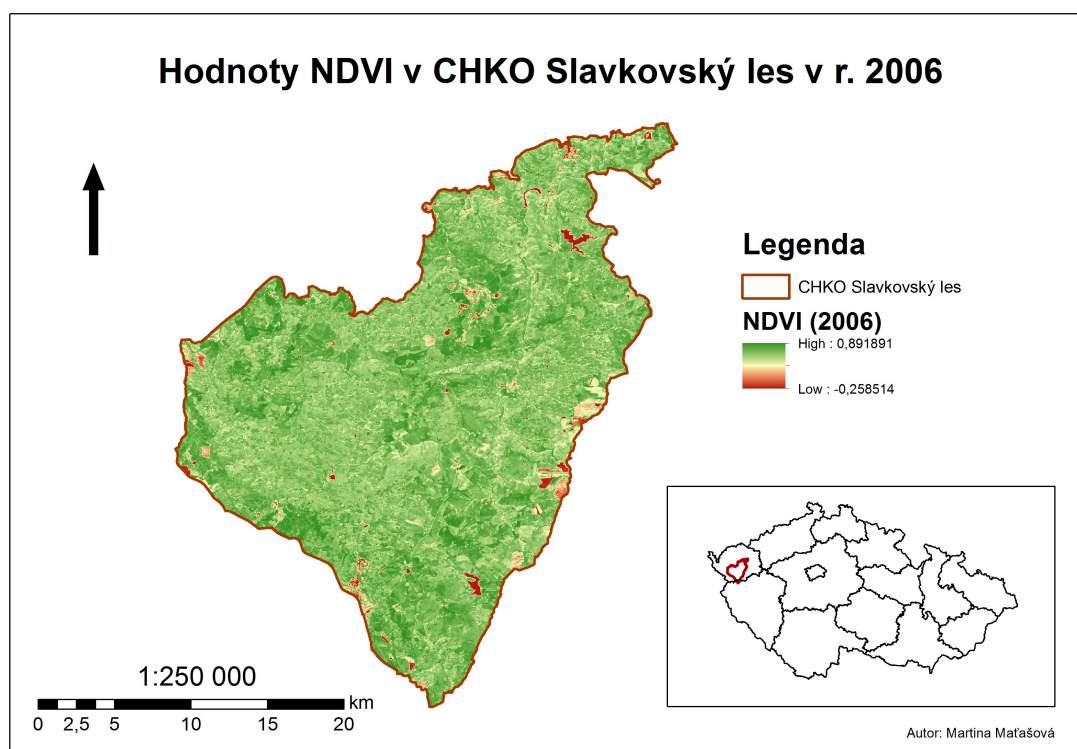
Příloha č. 1: Hodnoty NDVI v CHKO Slavkovský les v roce 1989



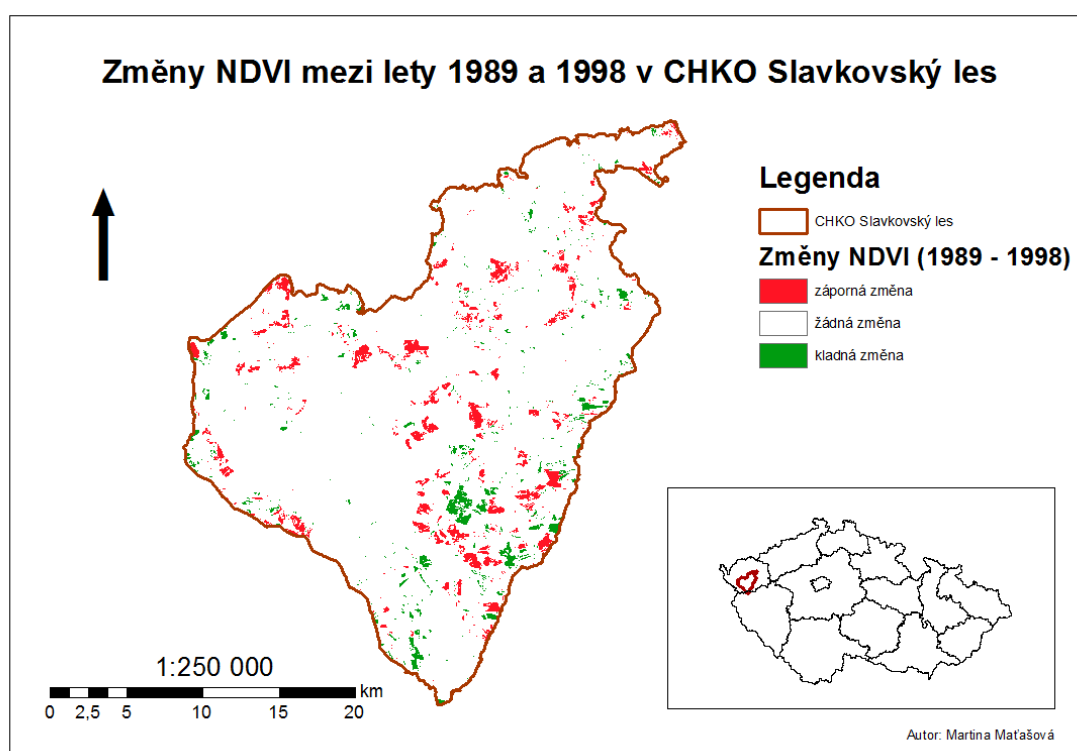
Příloha č. 2: Hodnoty NDVI v CHKO Slavkovský les v roce 1998



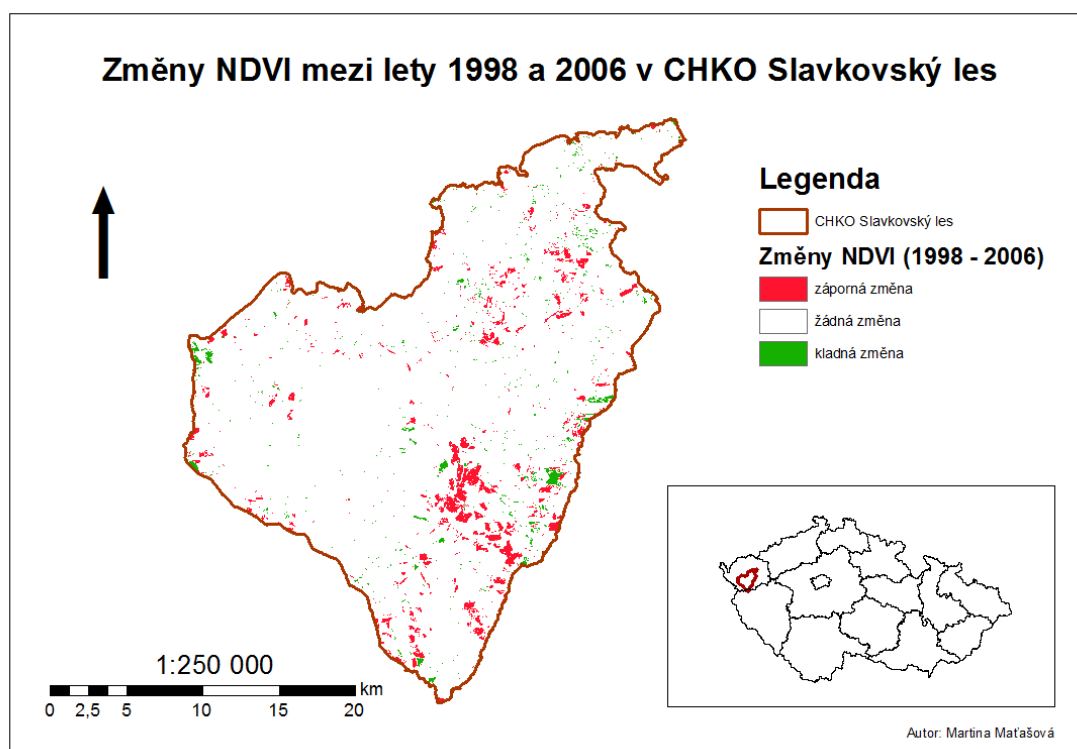
Příloha č. 3: Hodnoty NDVI v CHKO Slavkovský les v roce 2006



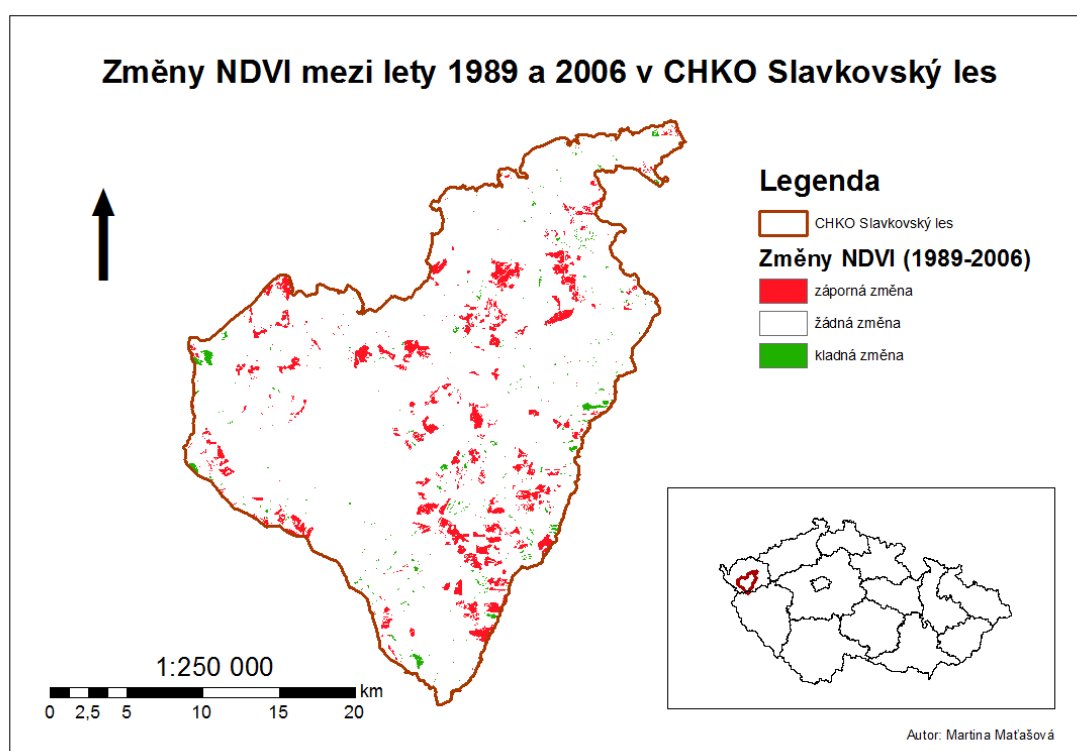
Příloha č. 4: Změny NDVI mezi lety 1989 a 1998 v CHKO Slavkovský les



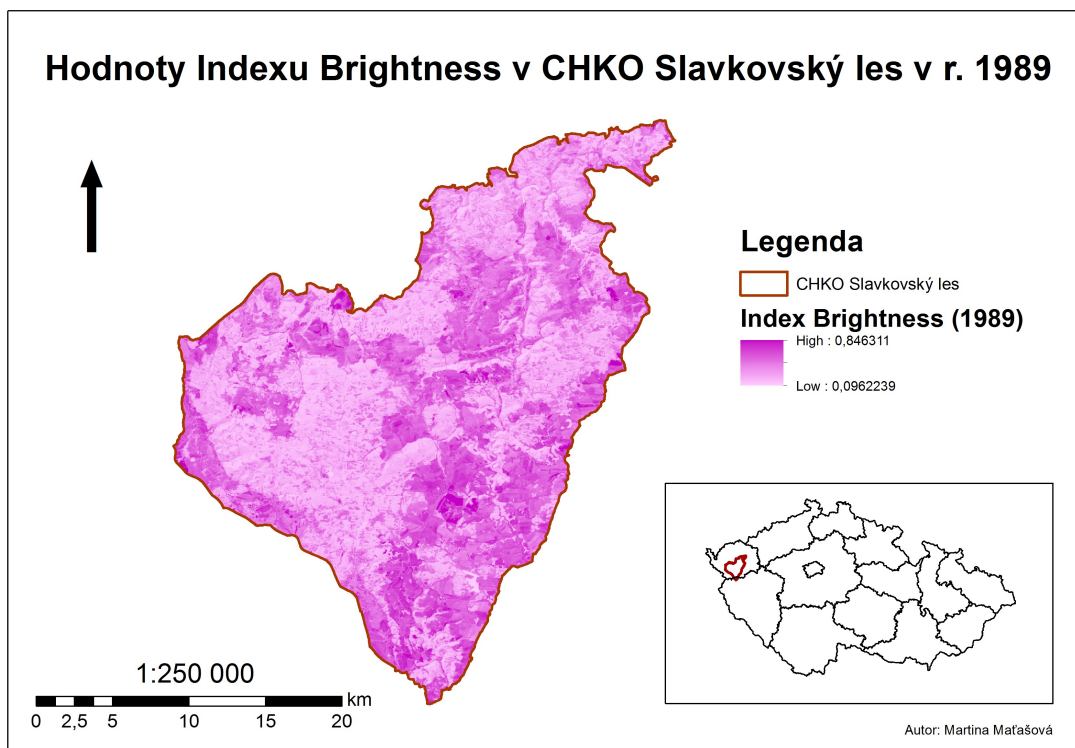
Příloha č. 5: Změny NDVI mezi lety 1998 a 2006 v CHKO Slavkovský les



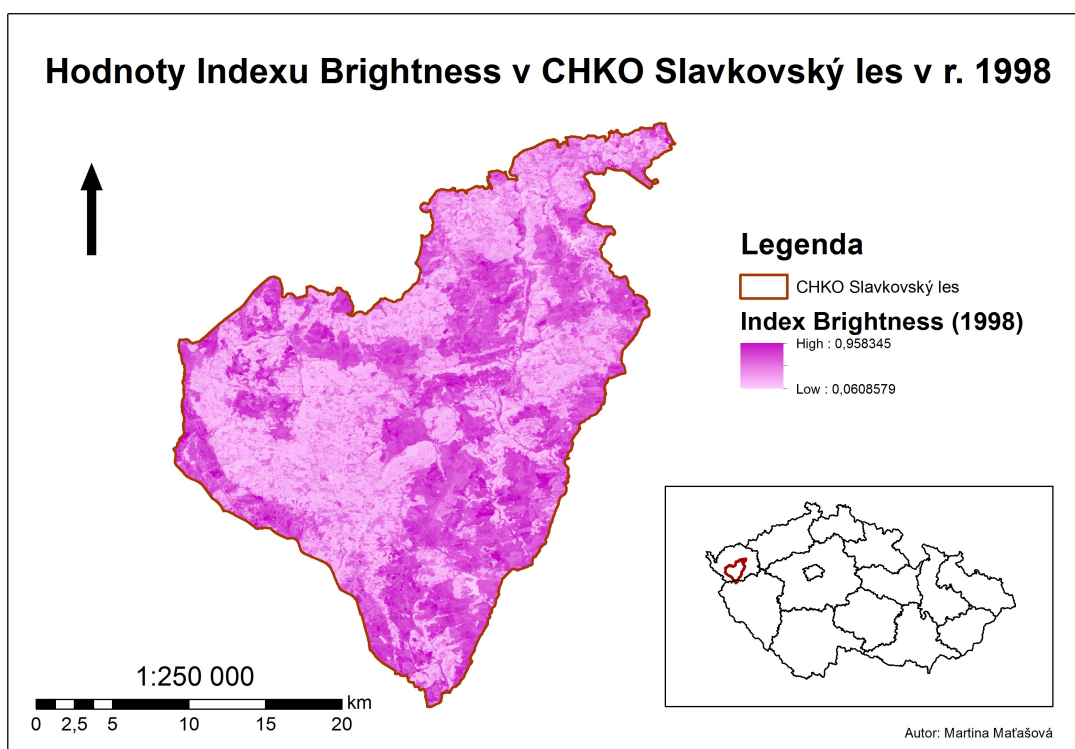
Příloha č. 6: Změny NDVI mezi lety 1989 a 2006 v CHKO Slavkovský les



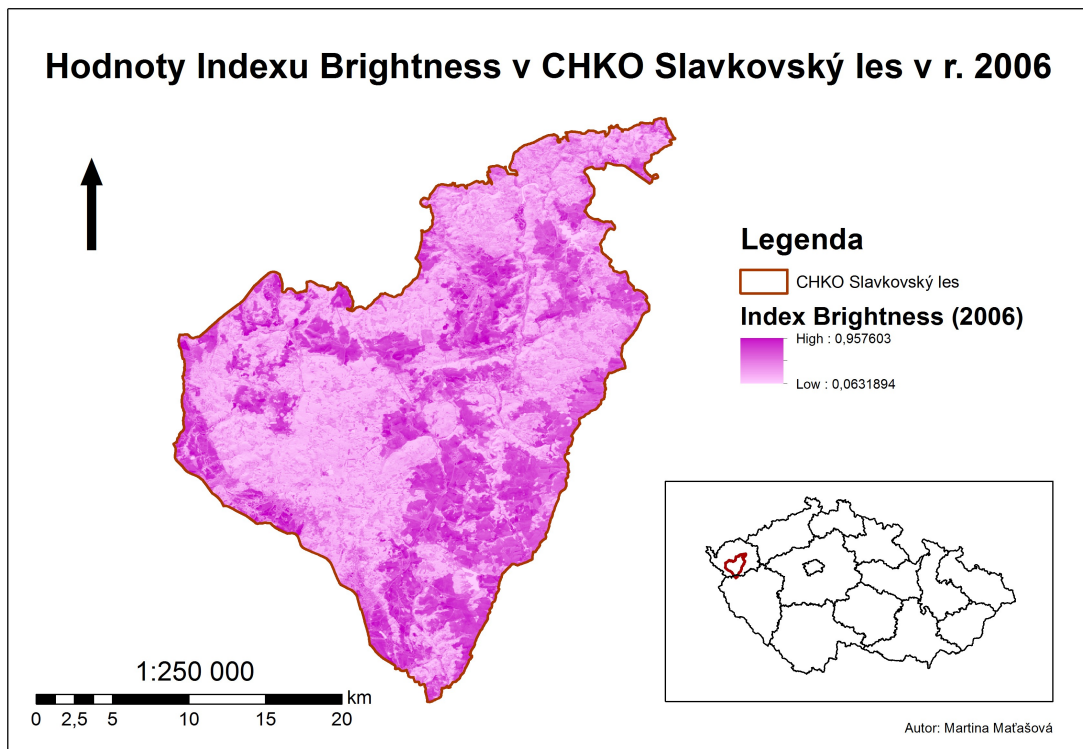
Příloha č.7: Tasseled Cap index Brightness v CHKO Slavkovský les v r. 1989



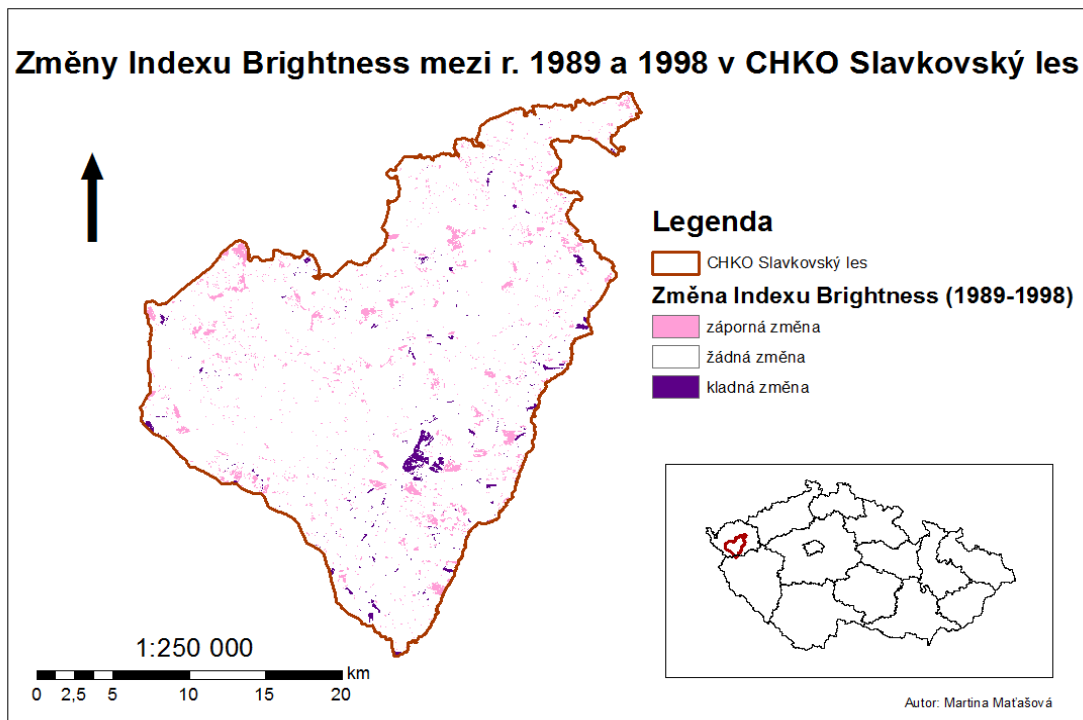
Příloha č. 8: Tasseled Cap index Brightness v CHKO Slavkovský les v r. 1998



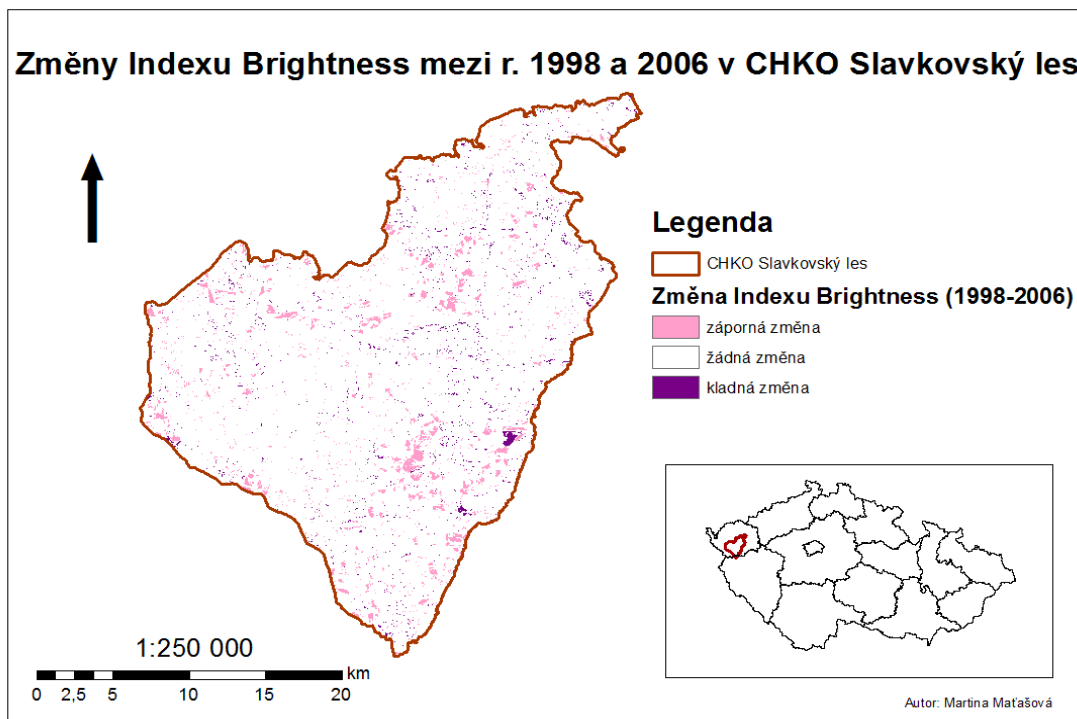
Příloha č. 9: Tasseled Cap index Brightness v CHKO Slavkovský les v r. 2006



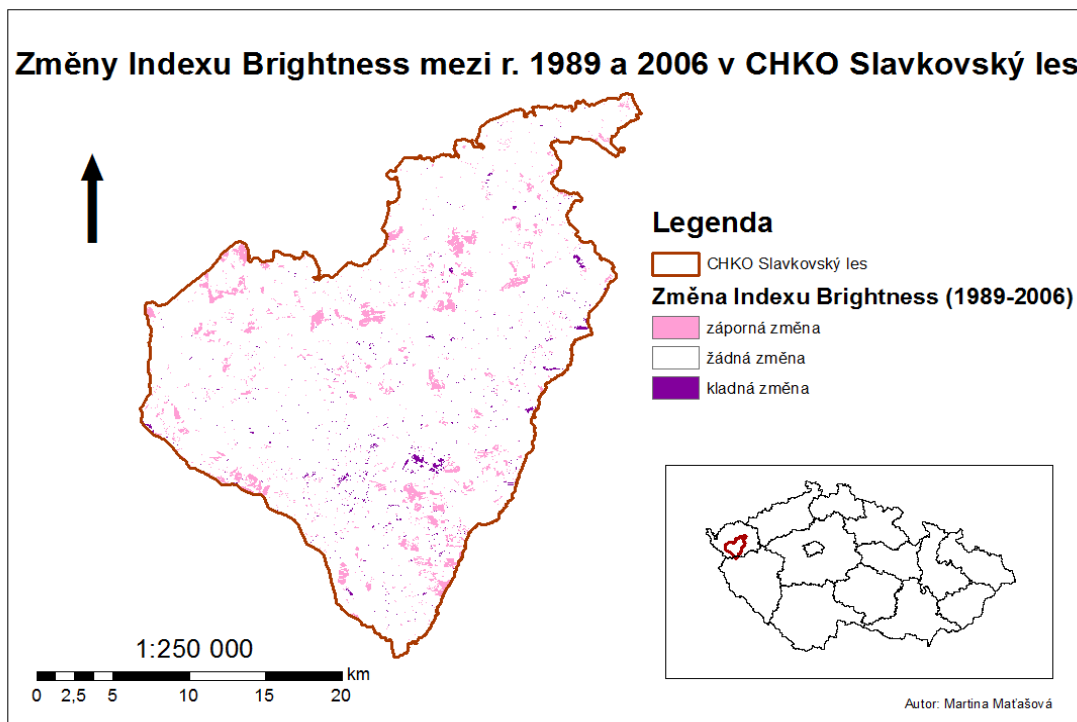
Příloha č. 10: Změny indexu Brightness mezi lety 1989 a 1998 v CHKO Slavkovský les



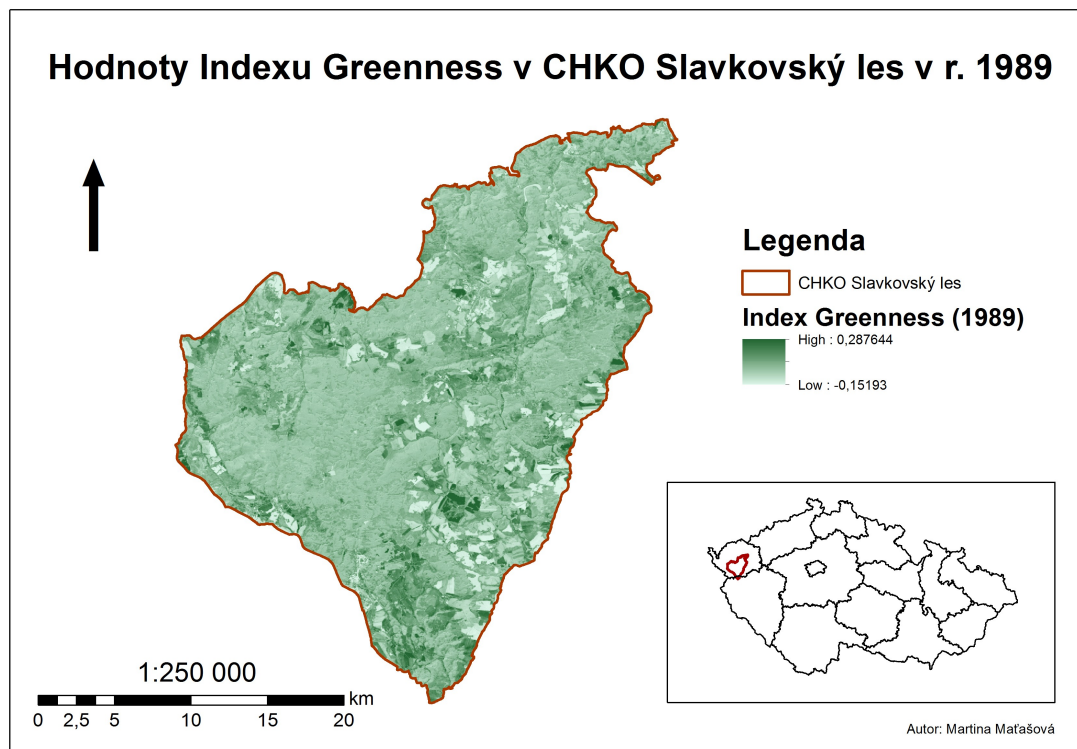
Příloha č. 11: Změny indexu Brightness mezi lety 1998 a 2006 v CHKO Slavkovský les



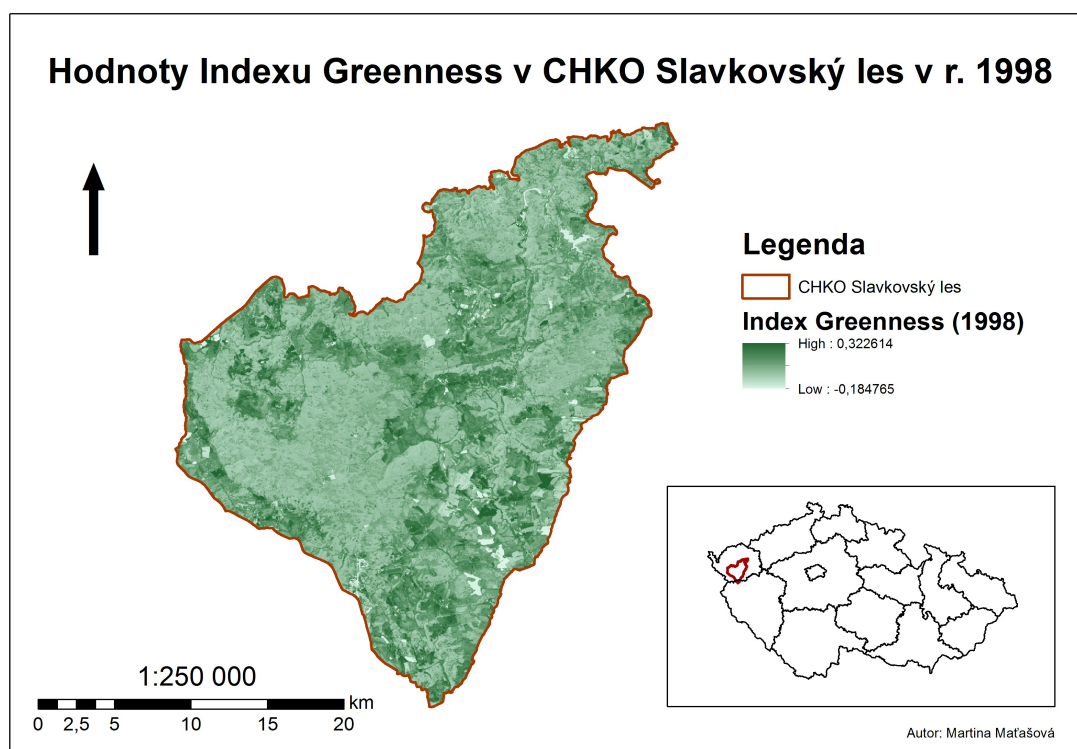
Příloha č. 12: Změny indexu Brightness mezi lety 1989 a 2006 v CHKO Slavkovský les



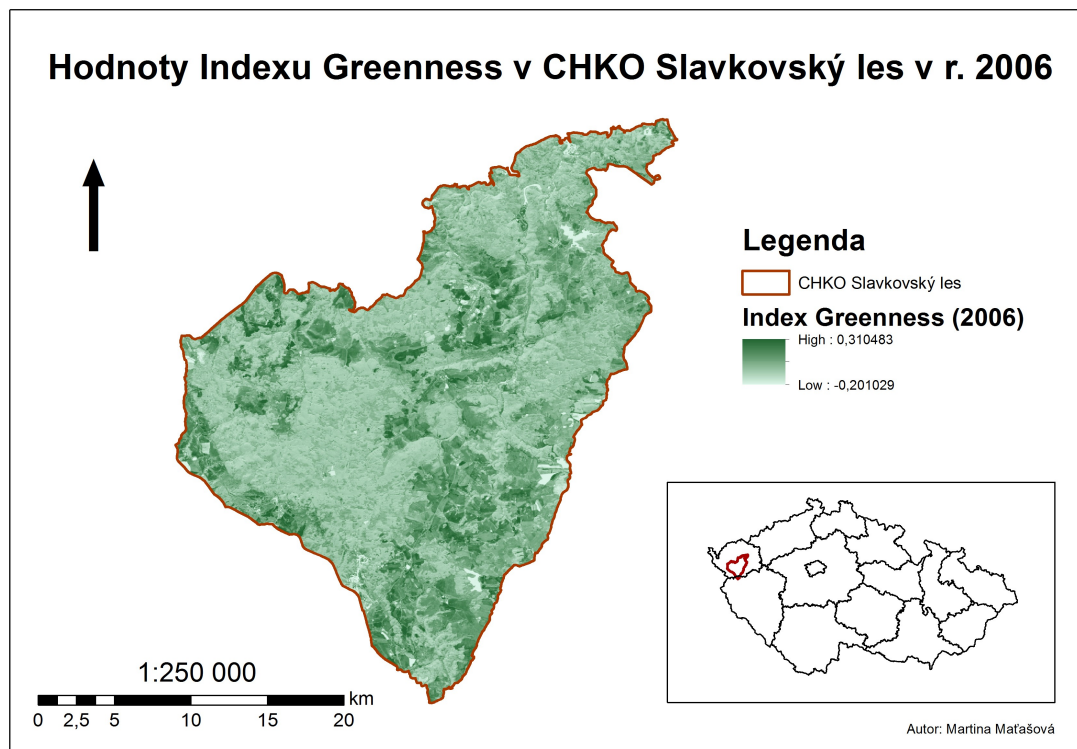
Příloha č. 13: Tasseled Cap index Greenness v CHKO Slavkovský les v roce 1989



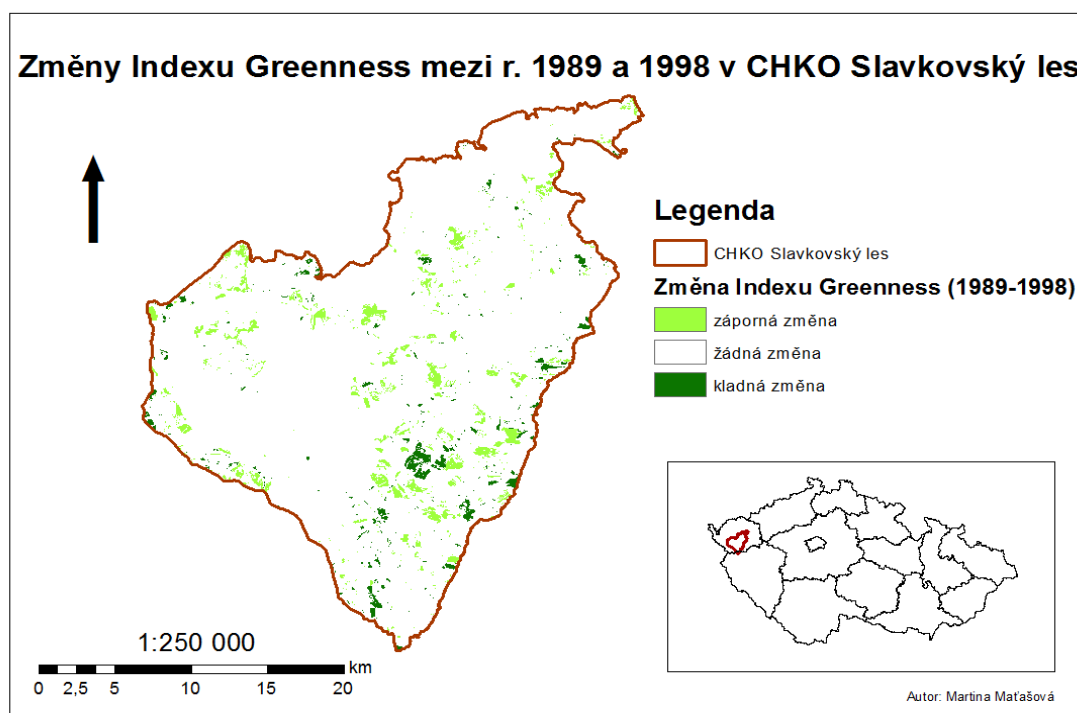
Příloha č. 14: Tasseled Cap index Greenness v CHKO Slavkovský les v roce 1998



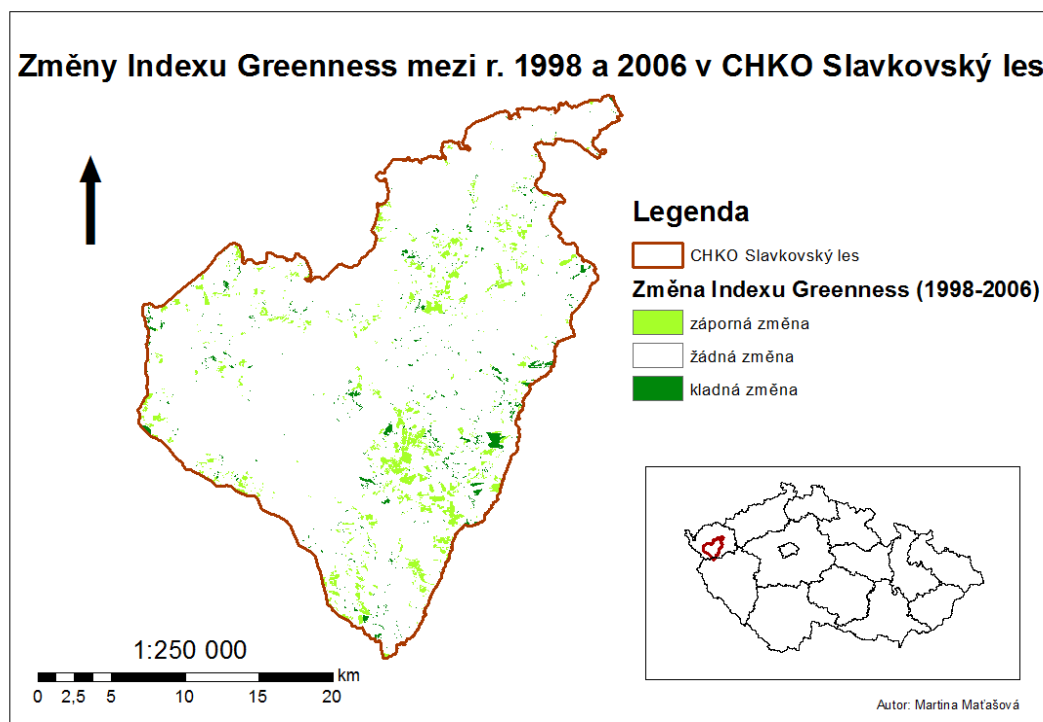
Příloha č. 15: Tasseled Cap index Greenness v CHKO Slavkovský les v roce 2006



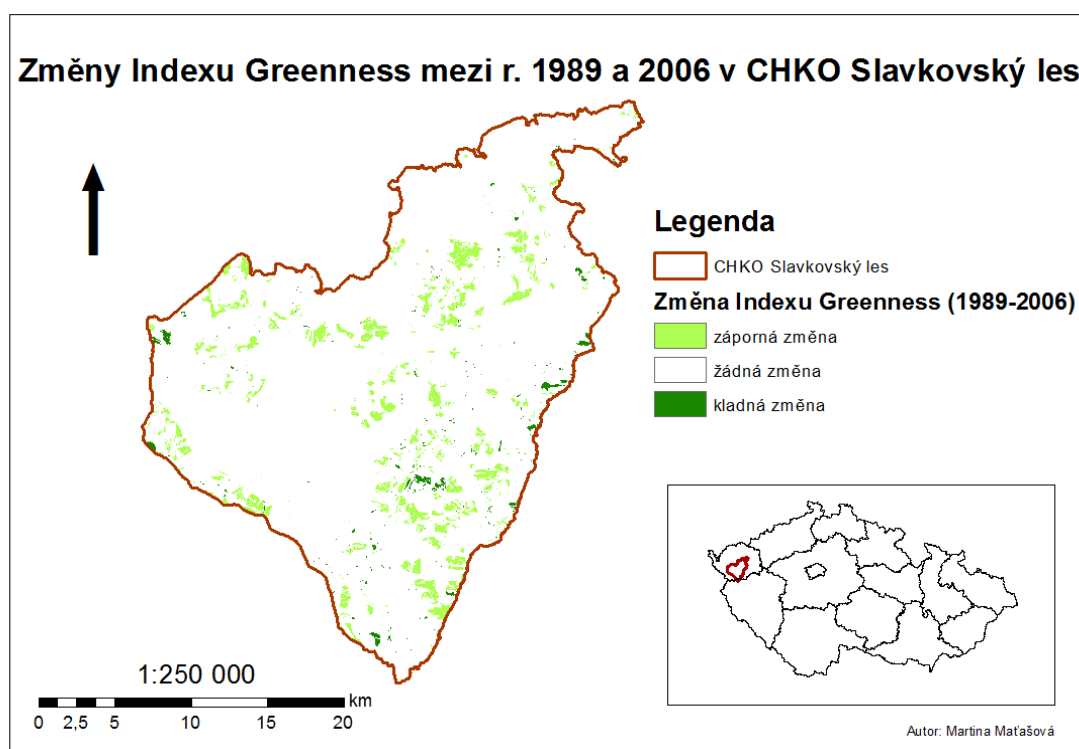
Příloha č. 16: Změny indexu Greenness mezi lety 1989 a 1998 v CHKO Slavkovský les



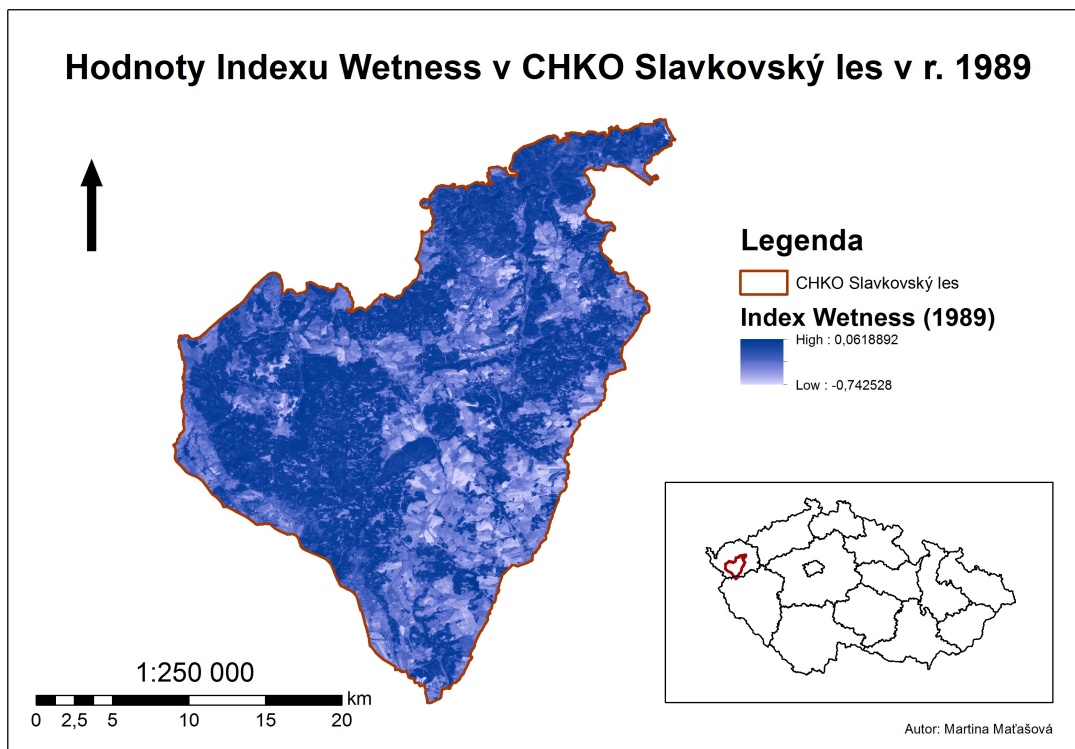
Příloha č. 17: Změny indexu Greenness mezi lety 1998 a 2006 v CHKO Slavkovský les



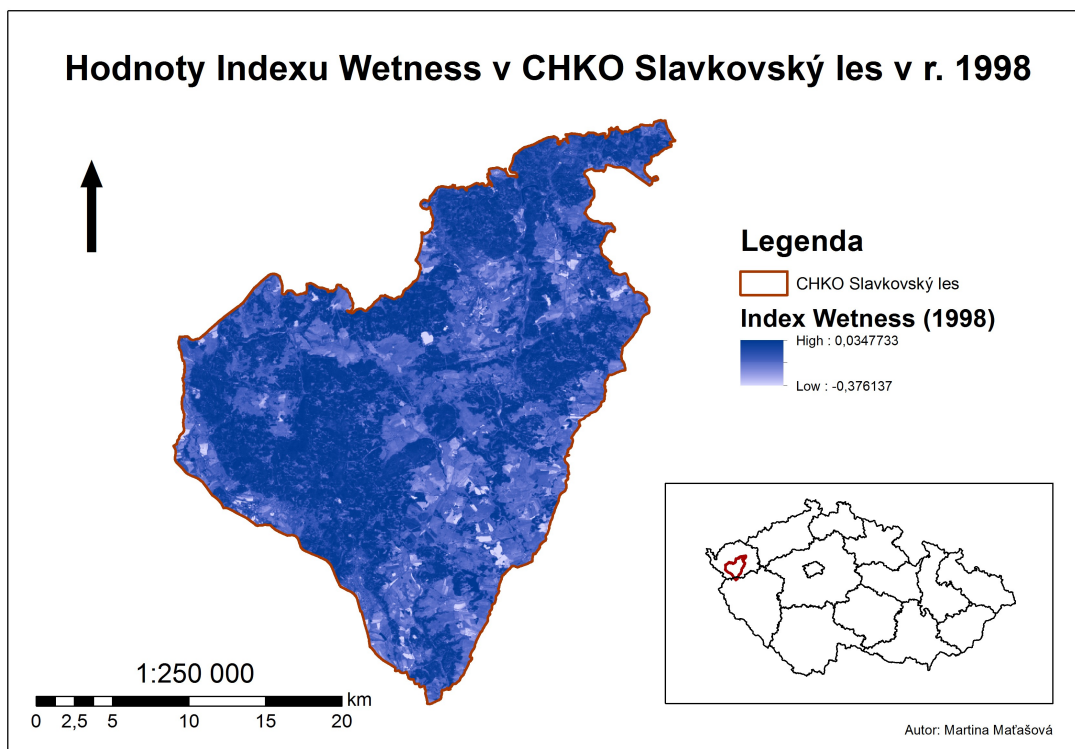
Příloha č. 18: Změny indexu Greenness mezi lety 1989 a 2006 v CHKO Slavkovský les



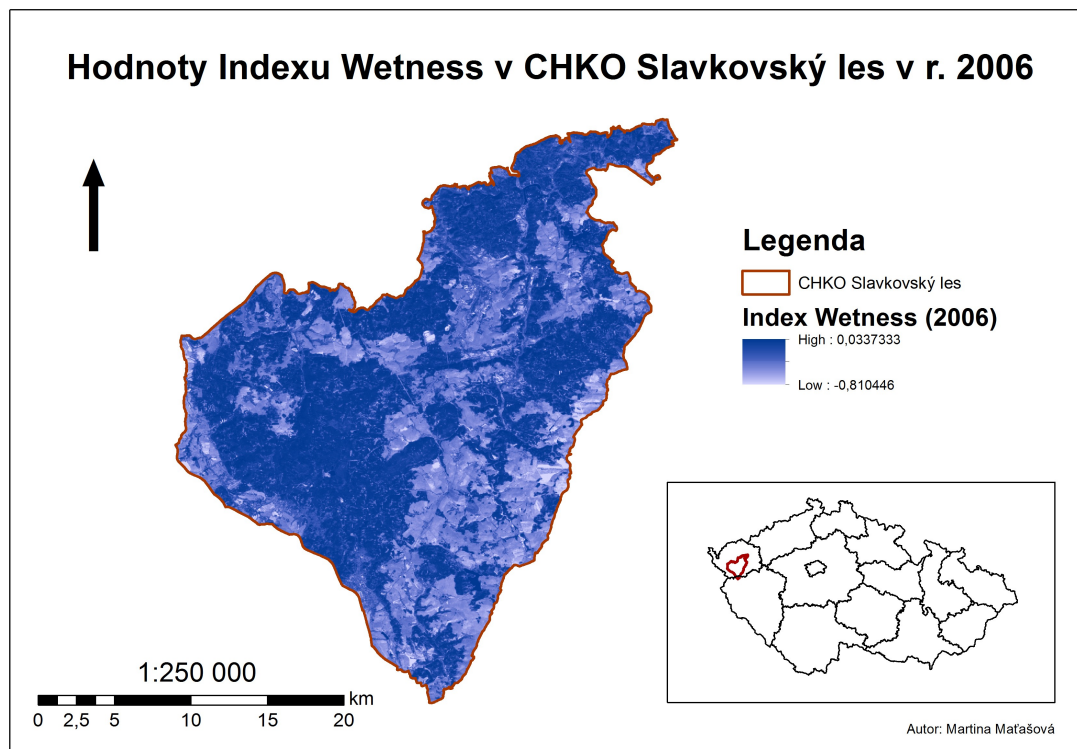
Příloha č. 19: Tasseled Cap index Wetness v CHKO Slavkovský les v roce 1989



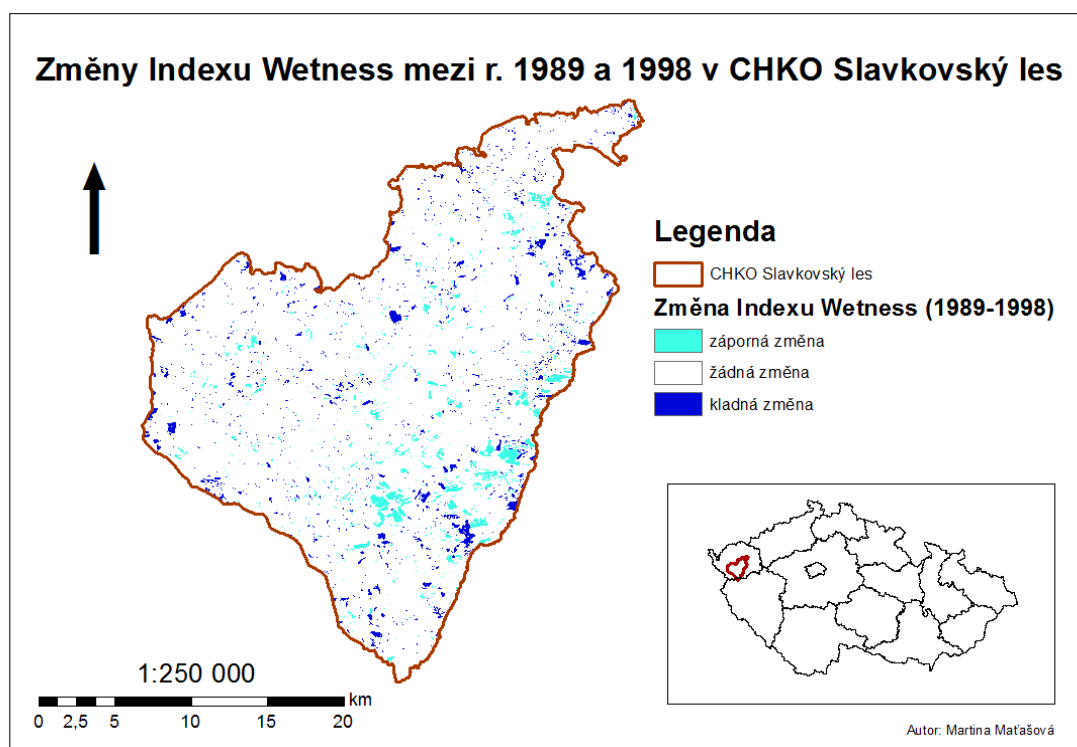
Příloha č. 20: Tasseled Cap index Wetness v CHKO Slavkovský les v roce 1998



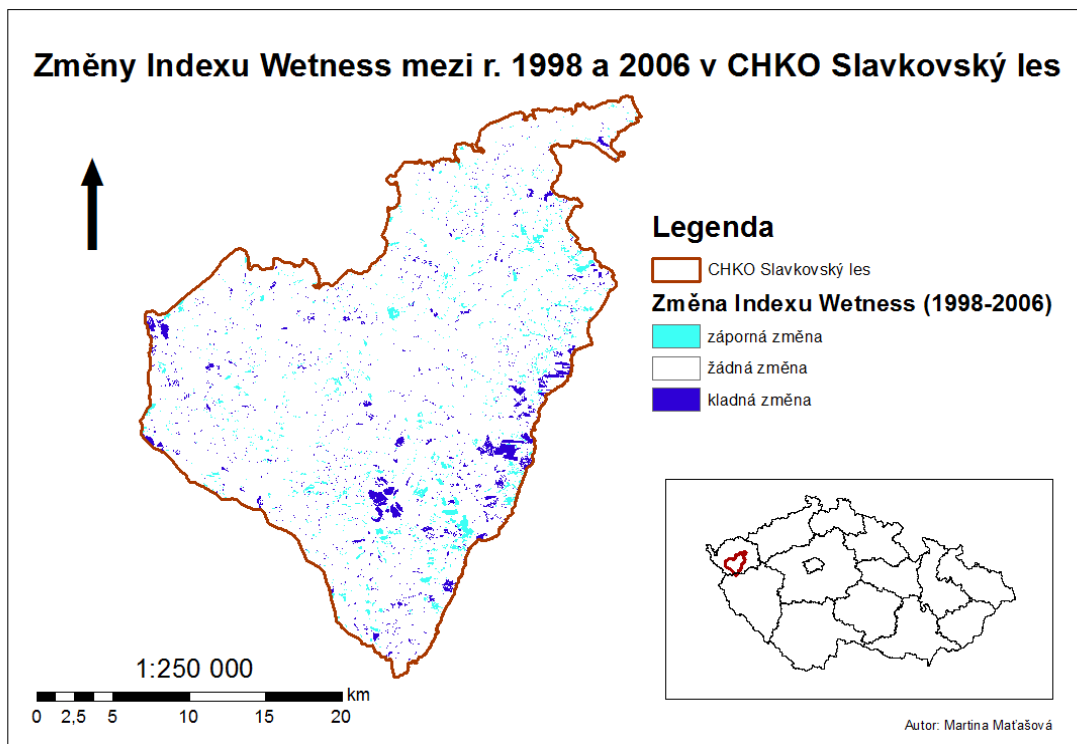
Příloha č. 21: Tasseled Cap index Wetness v CHKO Slavkovský les v roce 2006



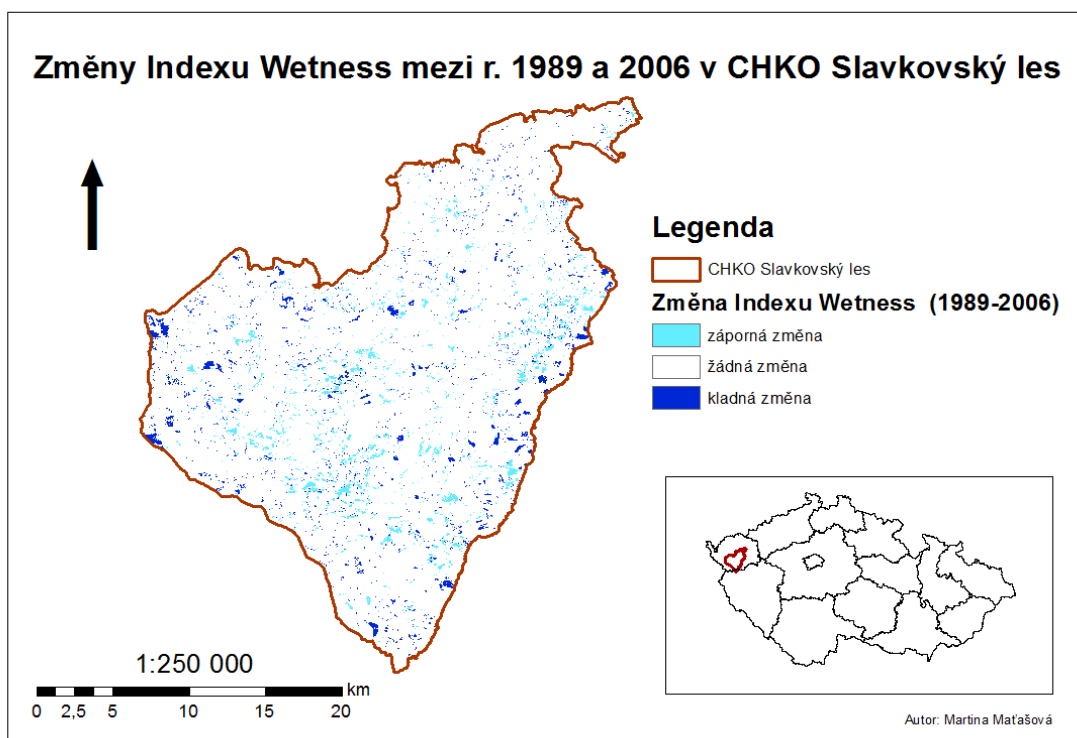
Příloha č. 22: Změny indexu Wetness mezi lety 1989 a 1998 v CHKO Slavkovský les



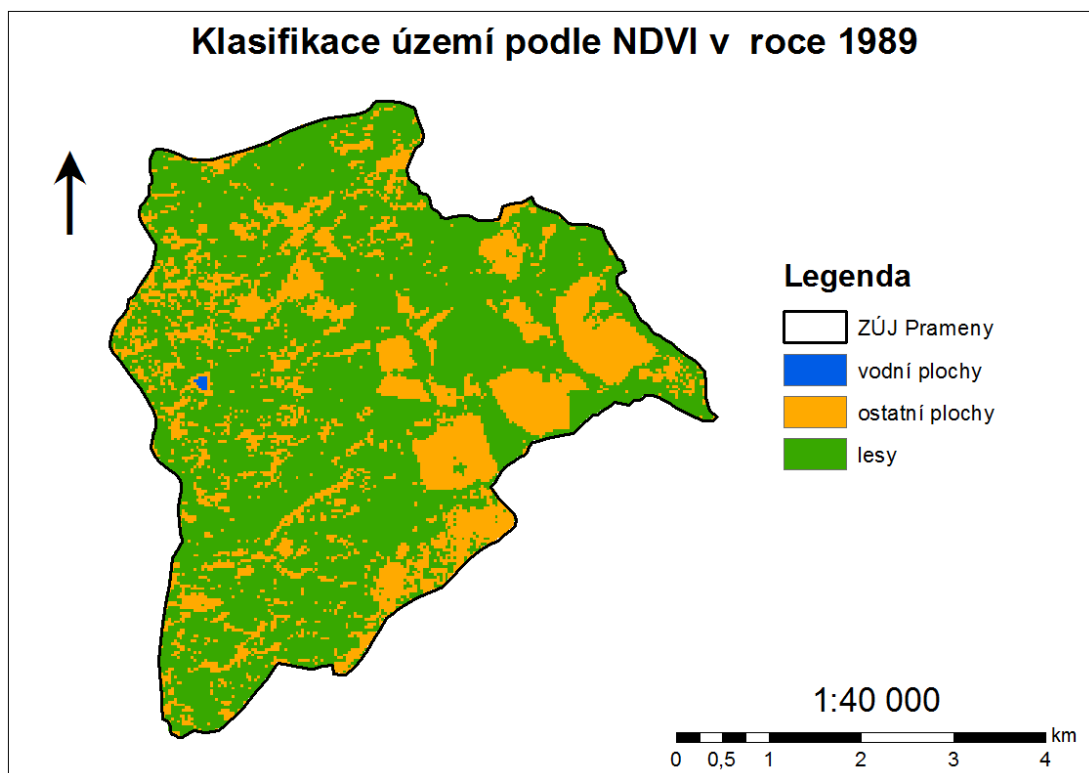
Příloha č. 23: Změny indexu Wetness mezi lety 1998 a 2006 v CHKO Slavkovský les



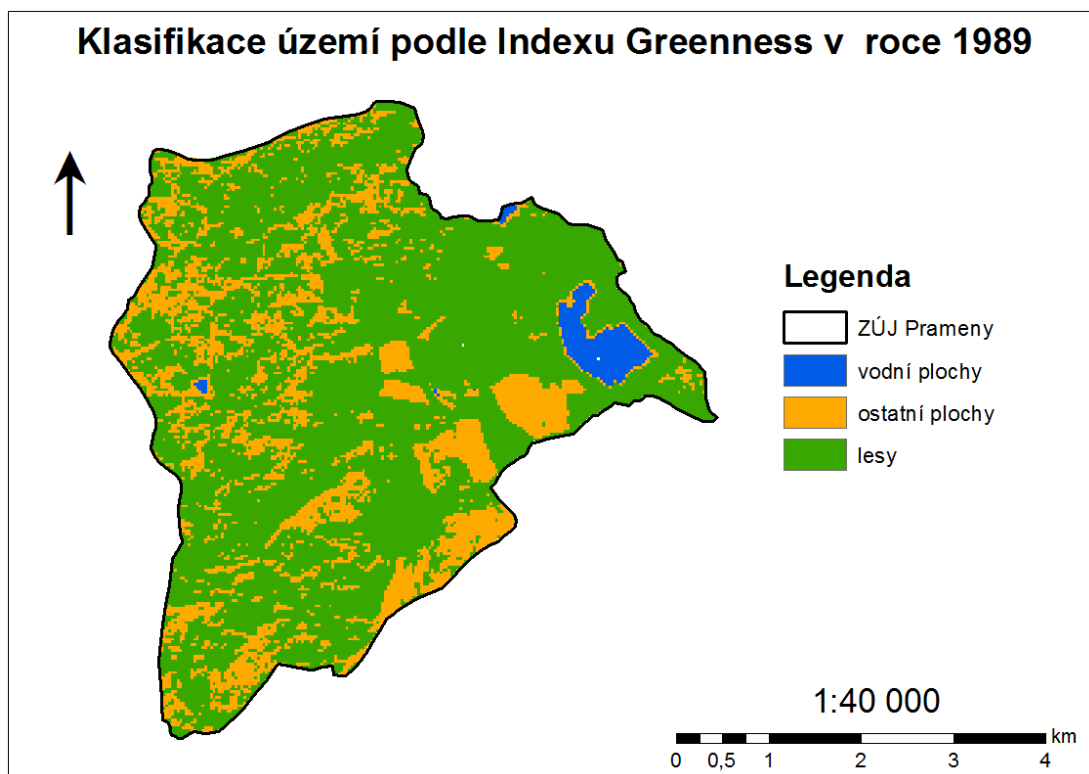
Příloha č. 24: Změny indexu Wetness mezi lety 1989 a 2006 v CHKO Slavkovský les



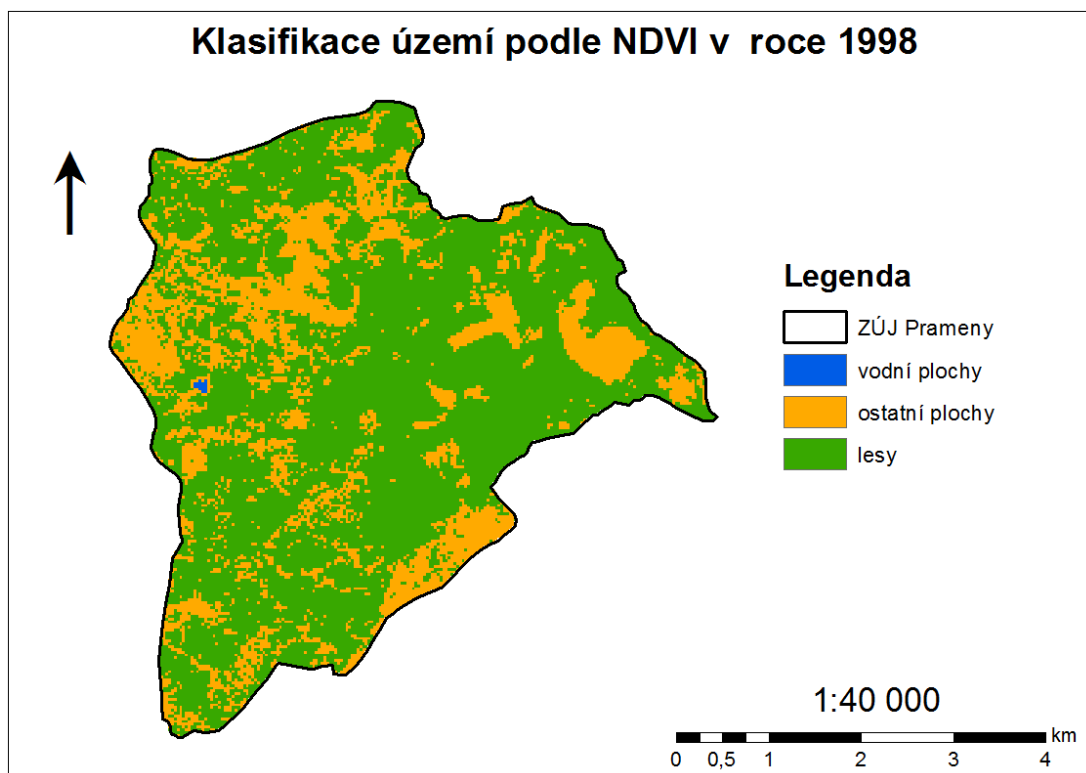
Příloha č. 25: Klasifikace ZÚJ Prameny podle NDVI v roce 1989



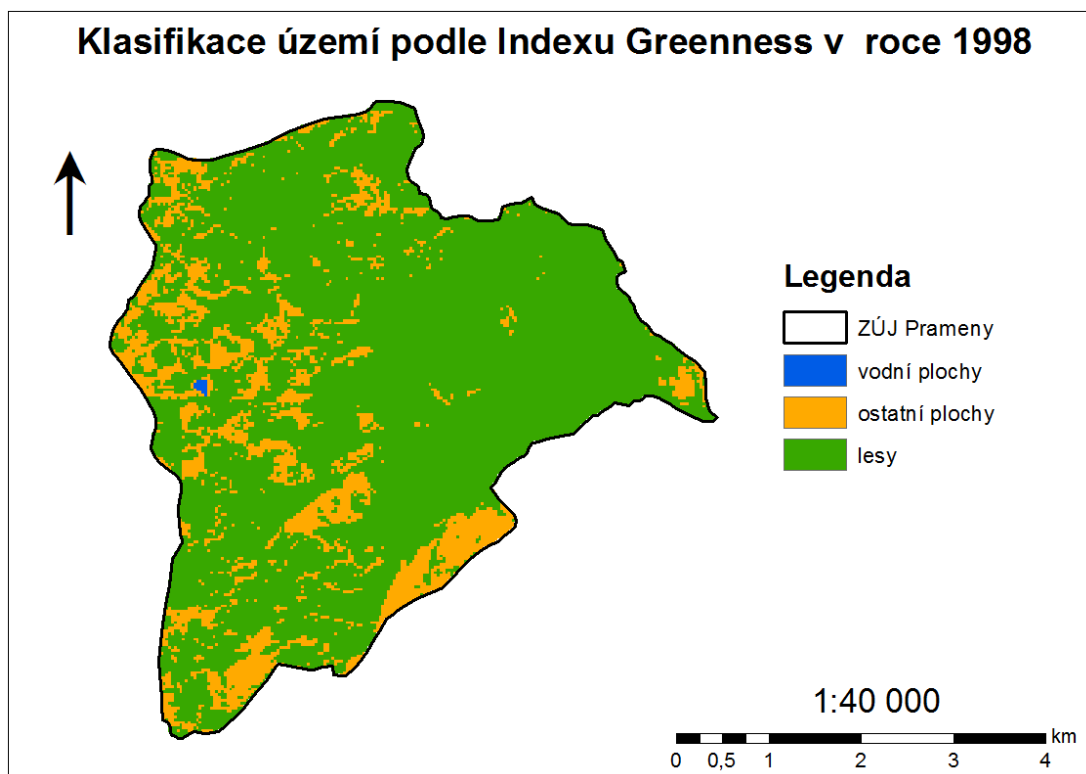
Příloha č. 26: Klasifikace ZÚJ Prameny podle Indexu Greenness v roce 1989



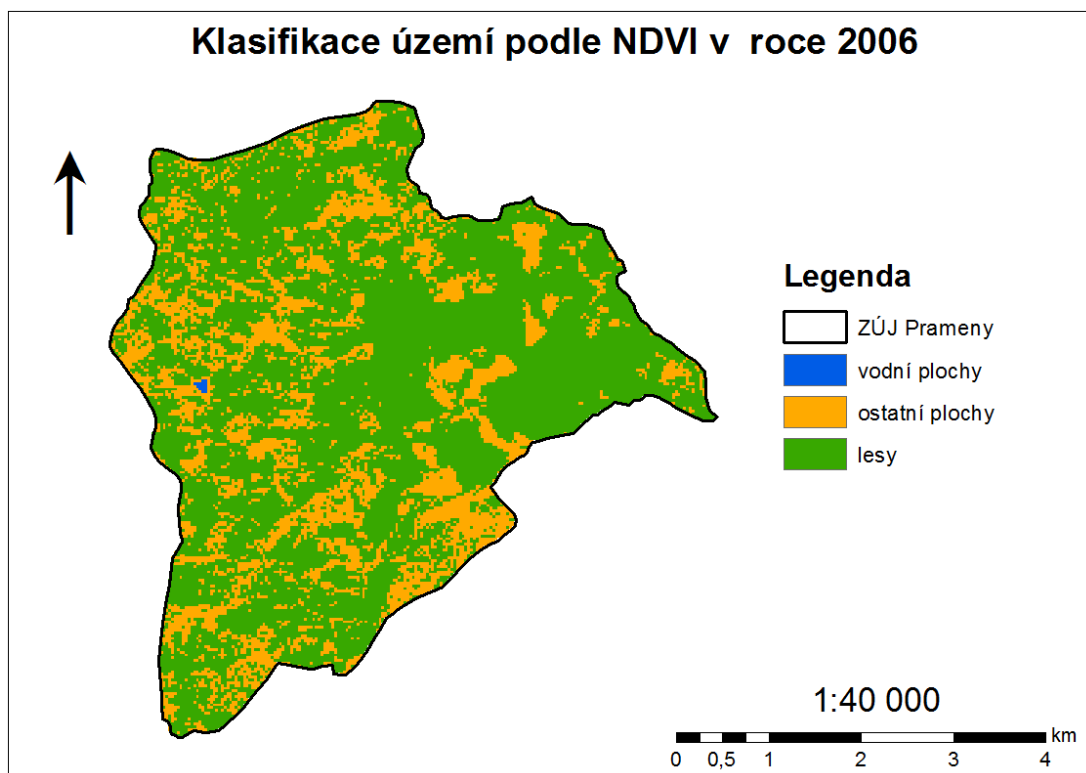
Příloha č. 27: Klasifikace ZÚJ Prameny podle NDVI v roce 1998



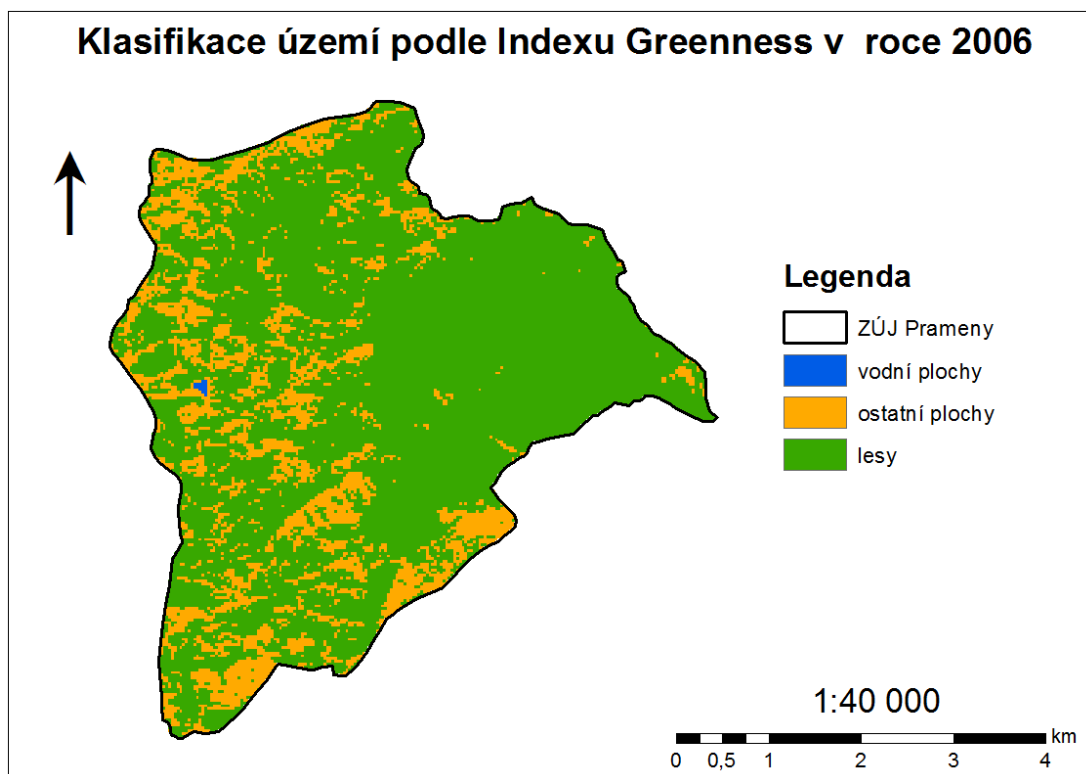
Příloha č. 28: Klasifikace ZÚJ Prameny podle Indexu Greenness v roce 1998



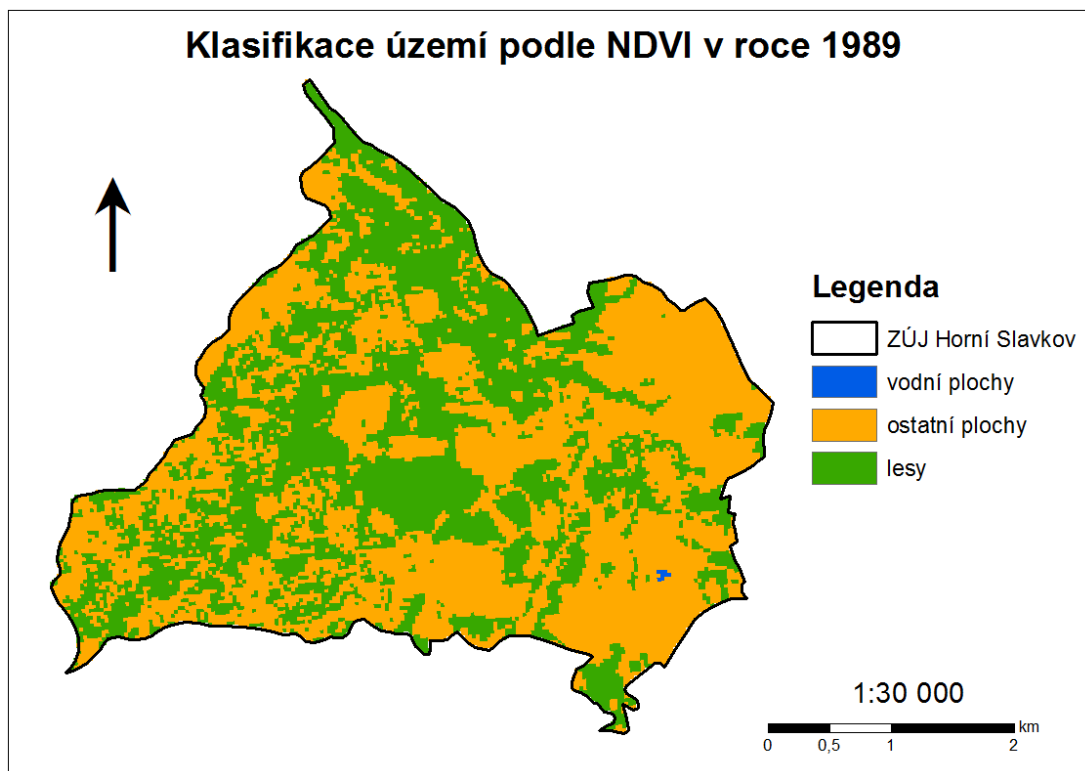
Příloha č. 29: Klasifikace ZÚJ Prameny podle NDVI v roce 2006



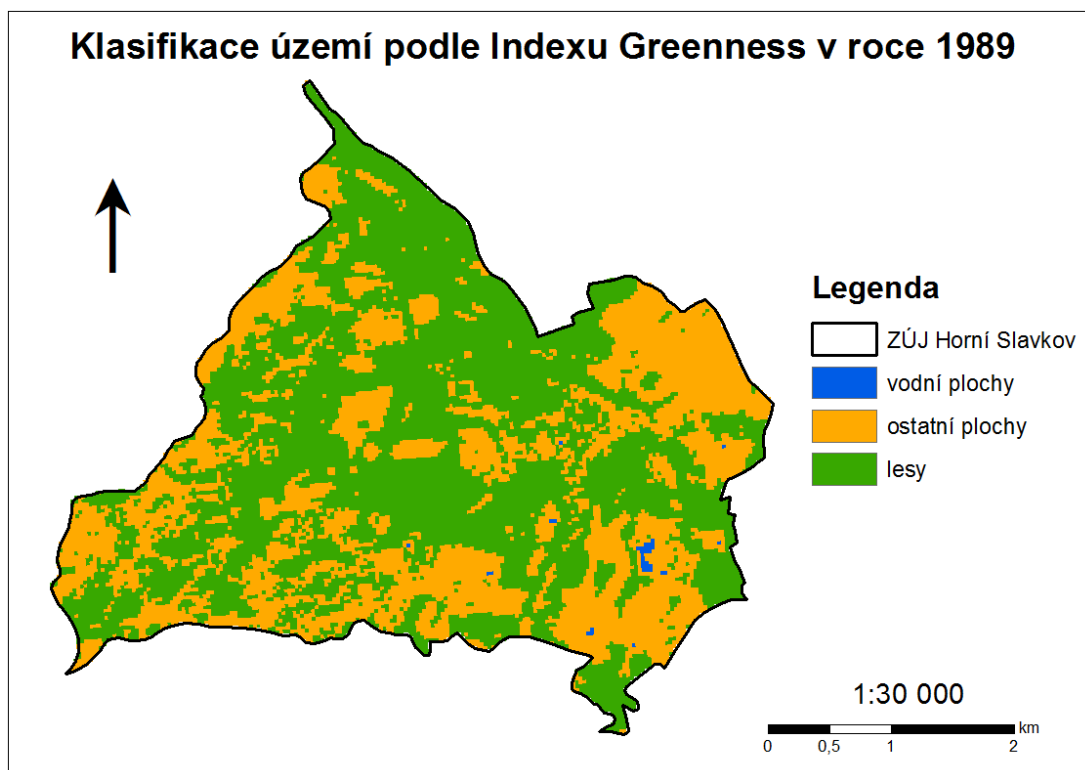
Příloha č. 30: Klasifikace ZÚJ Prameny podle Indexu Greenness v roce 2006



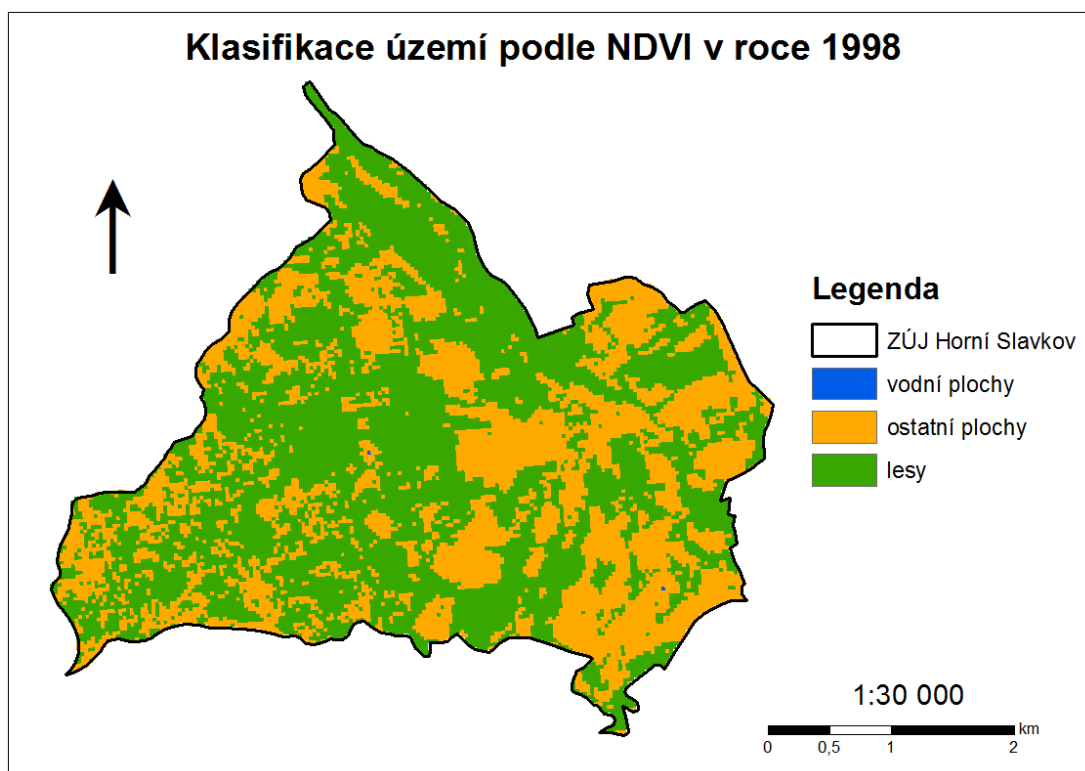
Příloha č. 31: Klasifikace ZÚJ Horní Slavkov podle NDVI v roce 1989



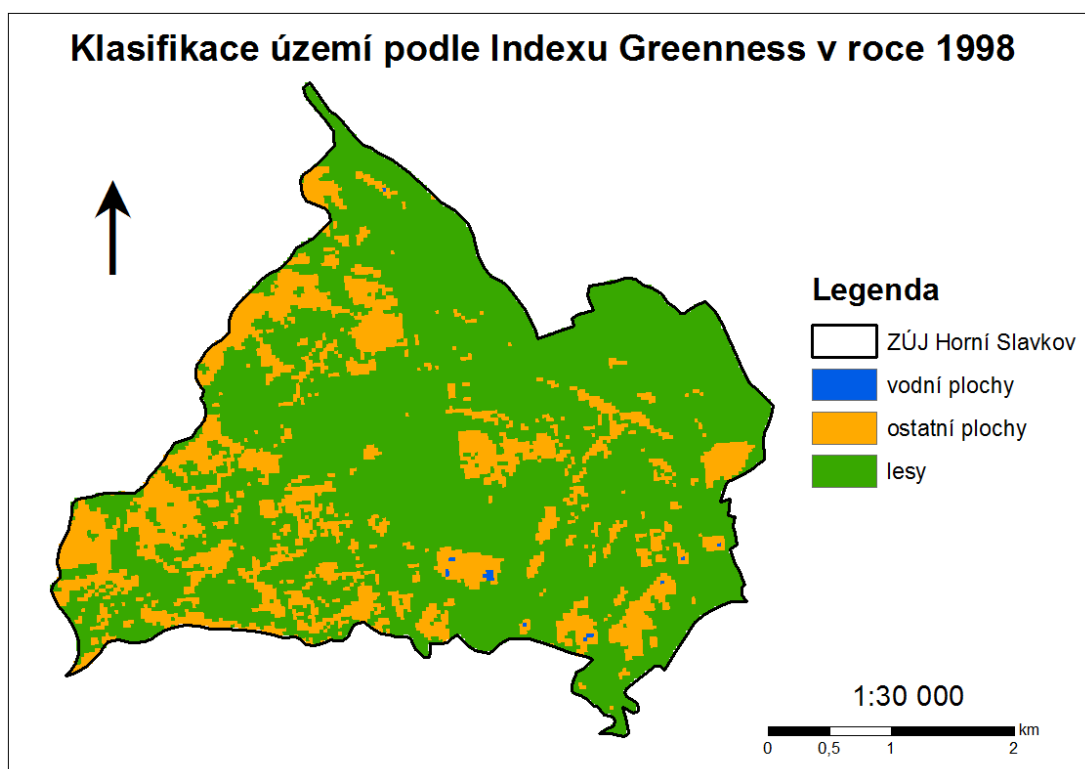
Příloha č. 32: Klasifikace ZÚJ Horní Slavkov podle Indexu Greenness v roce 1989



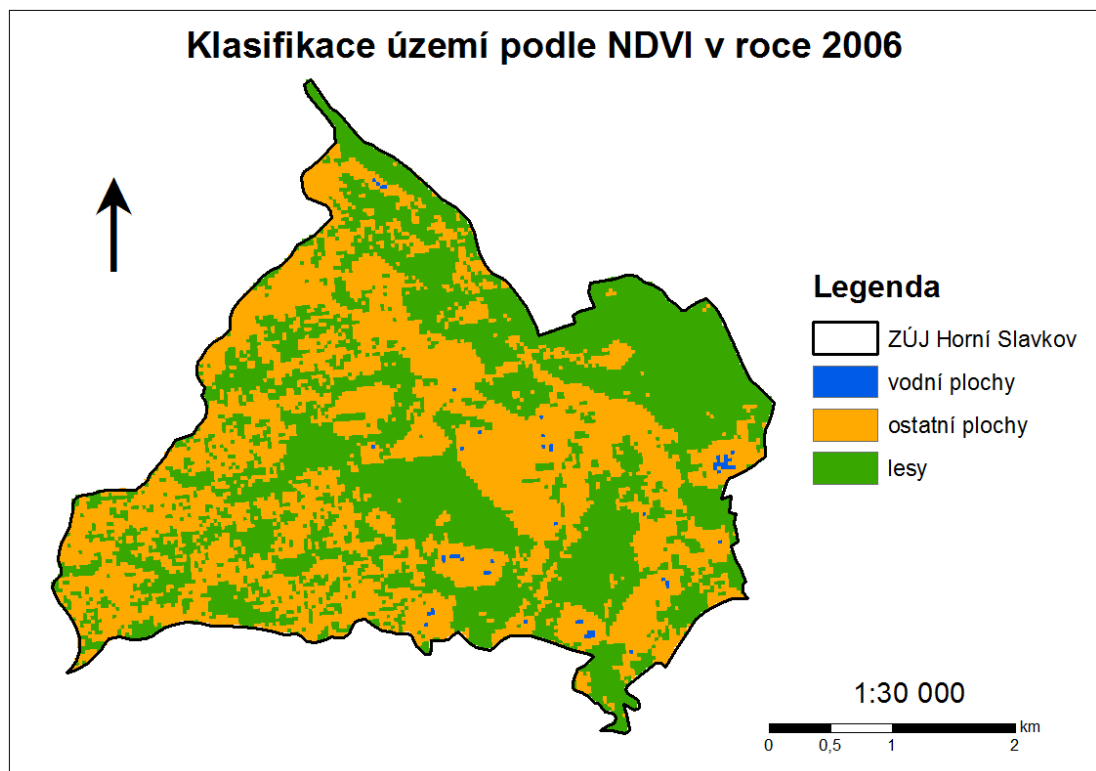
Příloha č. 33: Klasifikace ZÚJ Horní Slavkov podle NDVI v roce 1998



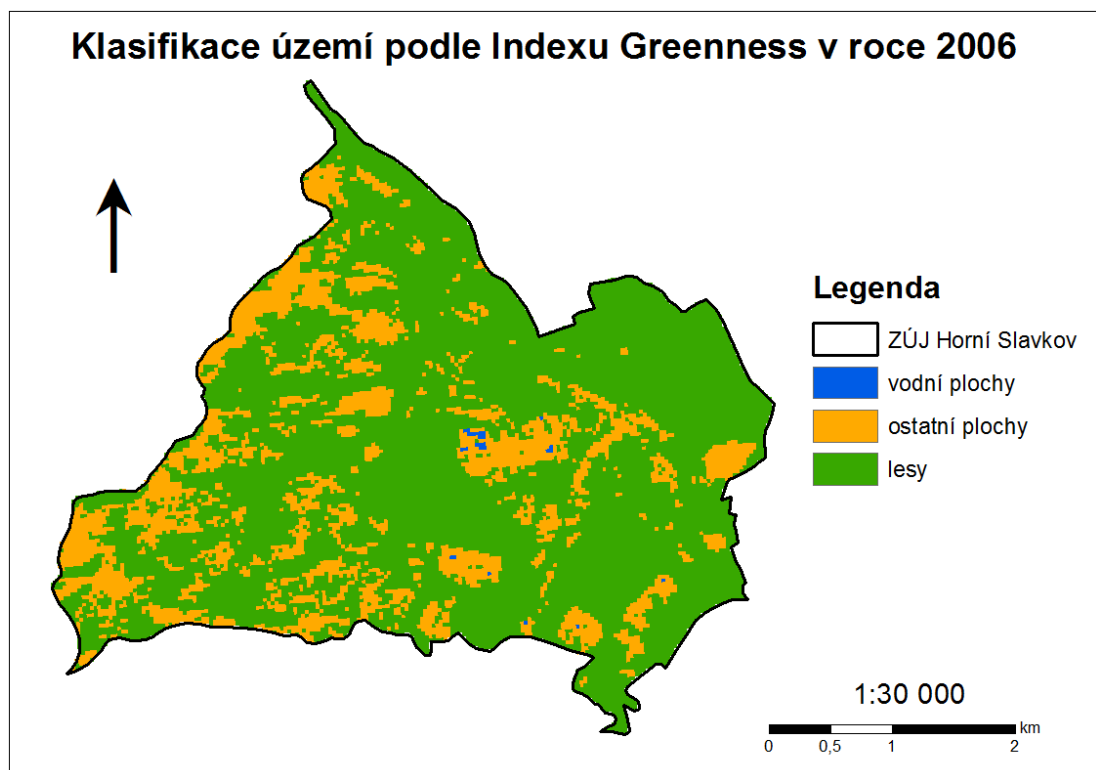
Příloha č. 34: Klasifikace ZÚJ Horní Slavkov podle Indexu Greenness v roce 1998



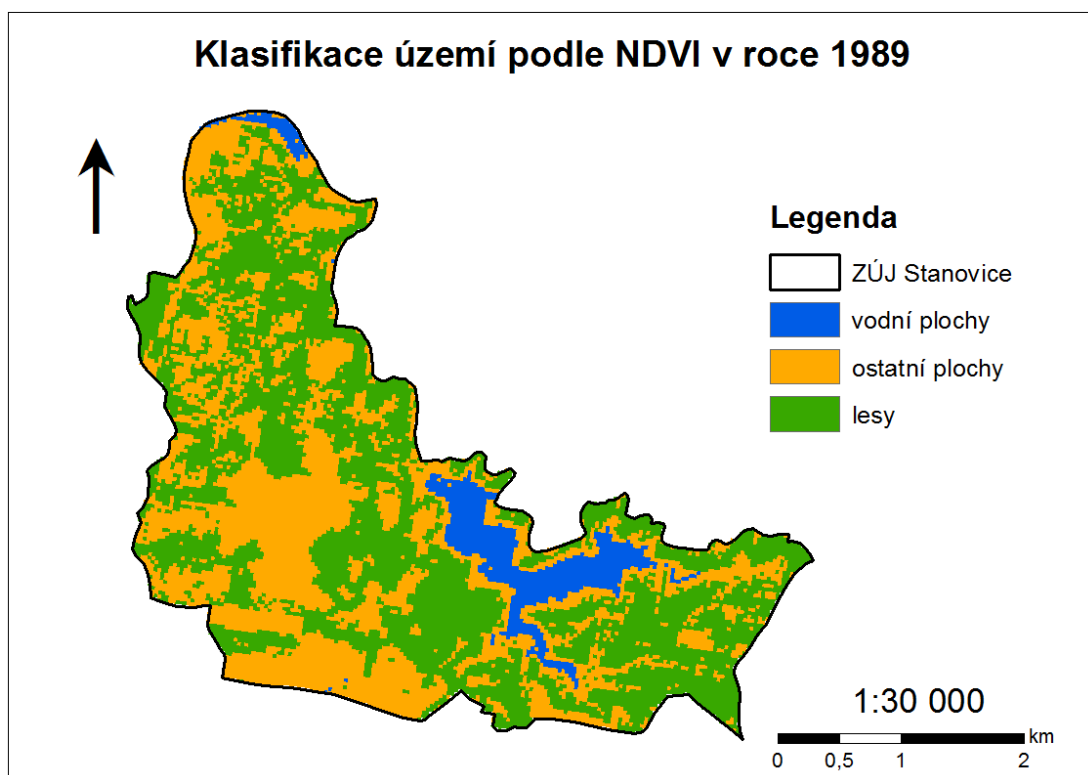
Příloha č. 35: Klasifikace ZÚJ Horní Slavkov podle NDVI v roce 2006



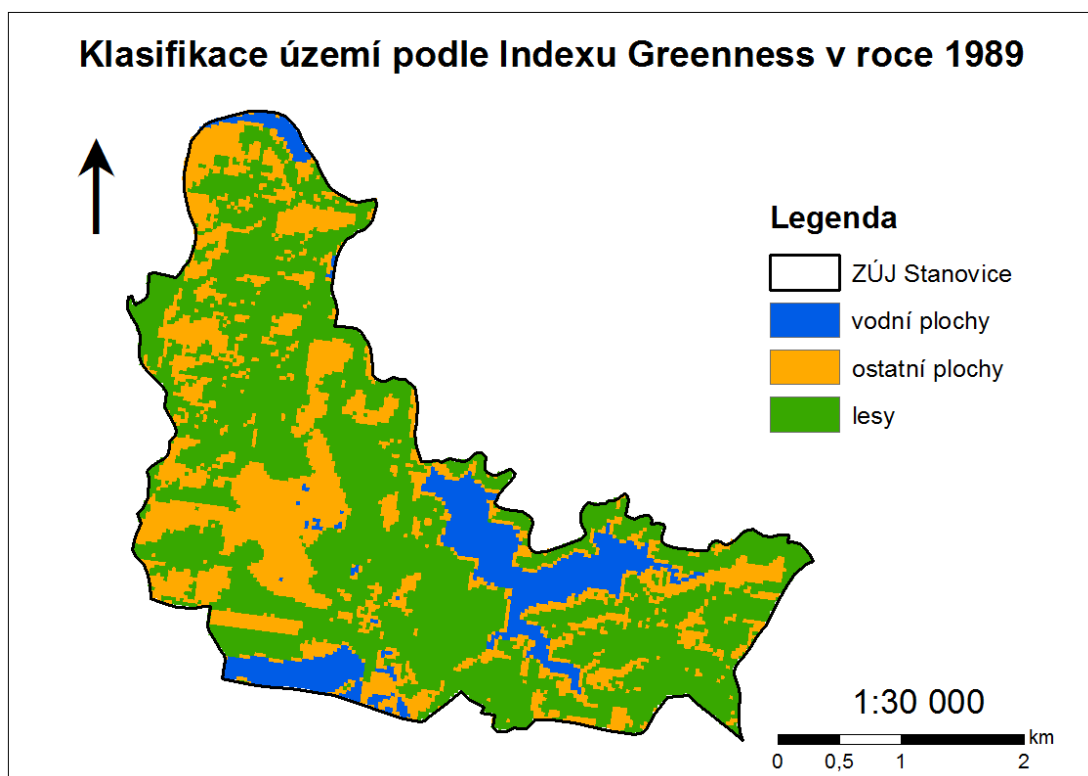
Příloha č. 36: Klasifikace ZÚJ Horní Slavkov podle Indexu Greenness v roce 2006



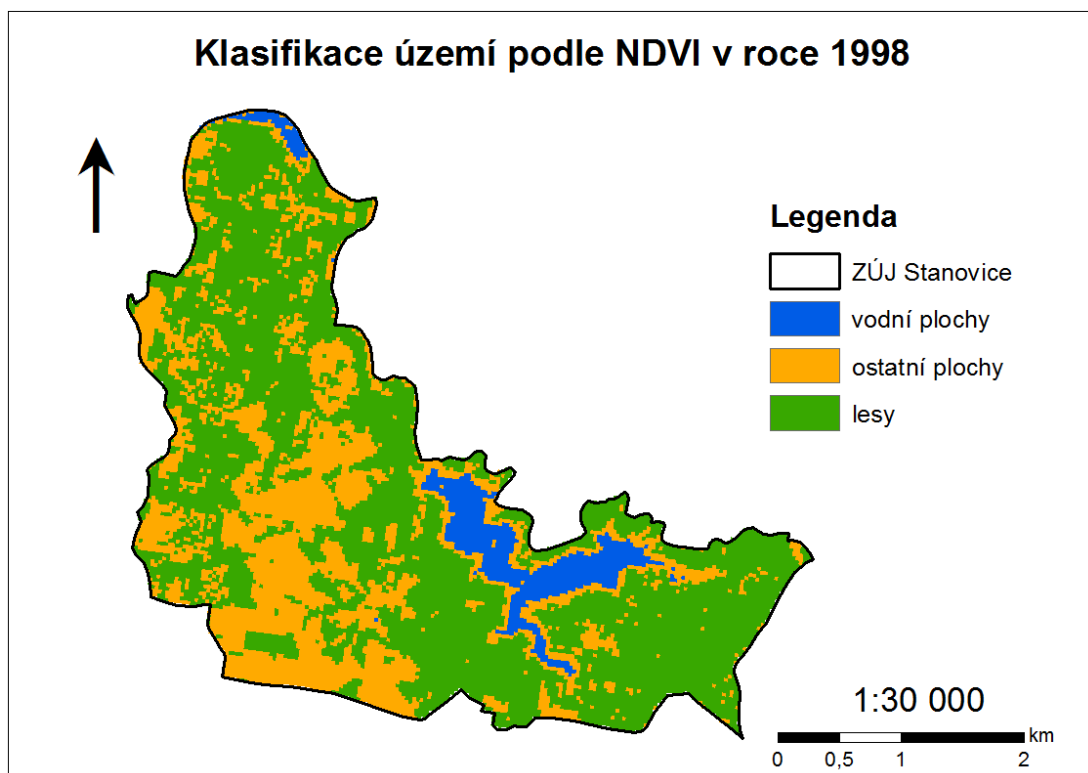
Příloha č. 37: Klasifikace ZÚJ Stanovice podle NDVI v roce 1989



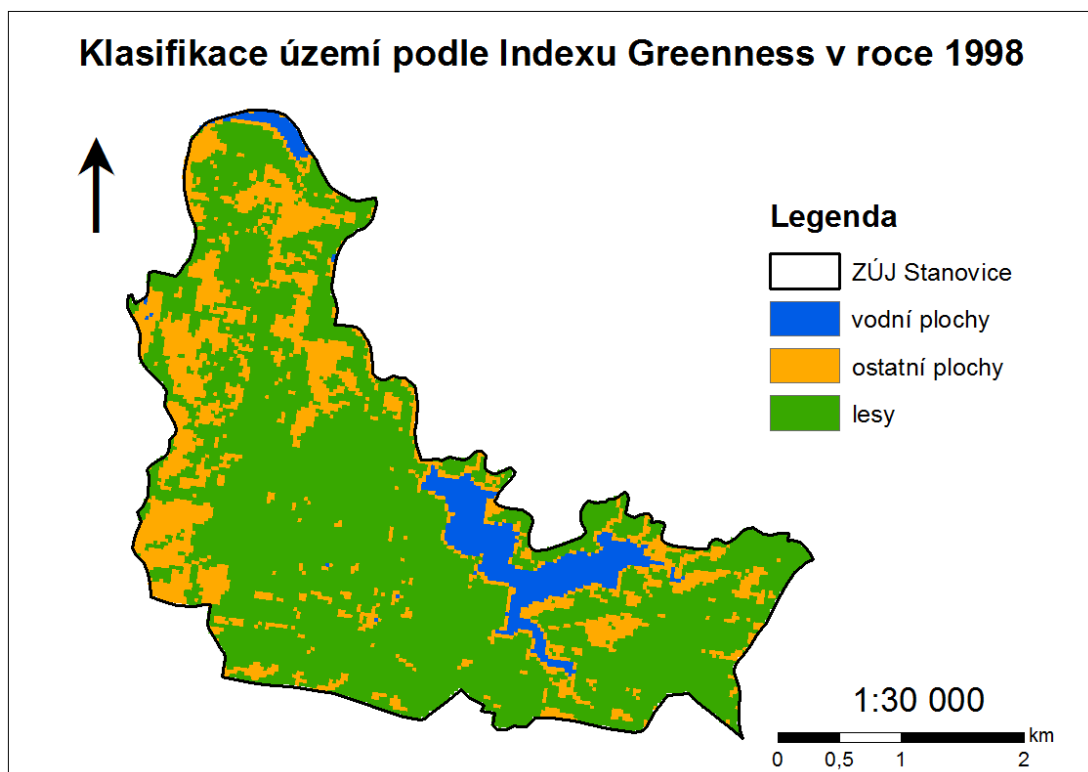
Příloha č. 38: Klasifikace ZÚJ Stanovice podle Indexu Greenness v roce 1989



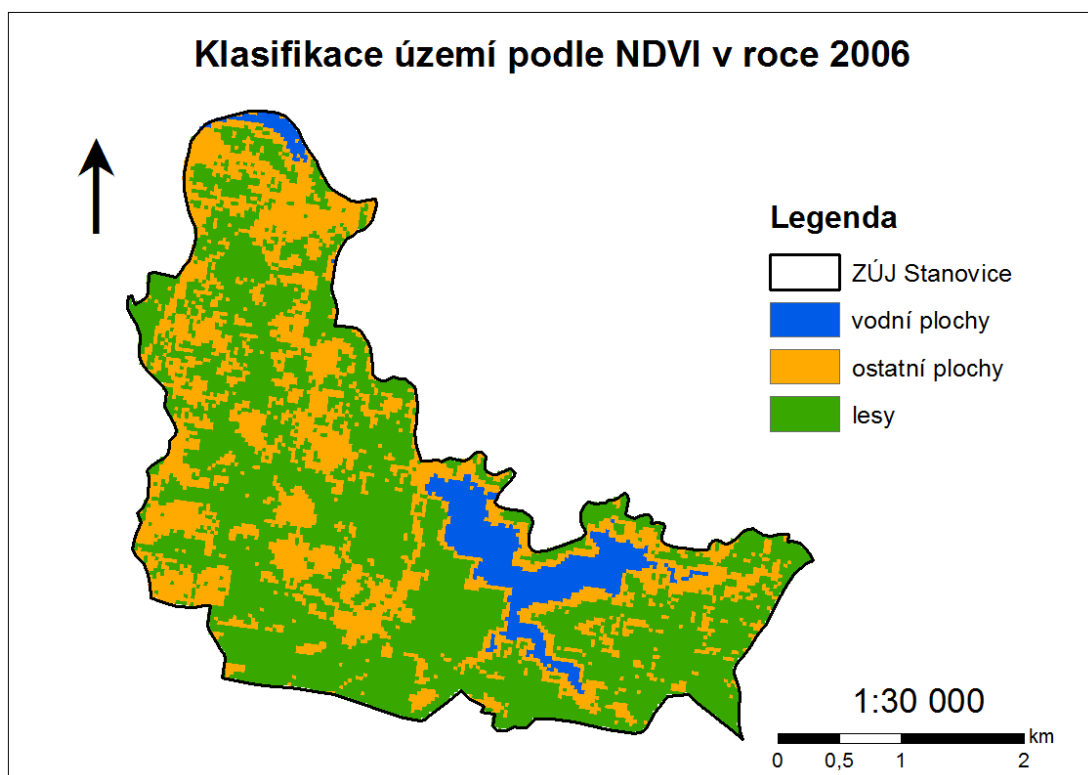
Příloha č. 39: Klasifikace ZÚJ Stanovice podle NDVI v roce 1998



Příloha č. 40: Klasifikace ZÚJ Stanovice podle Indexu Greenness v roce 1998



Příloha č. 41: Klasifikace ZÚJ Stanovice podle NDVI v roce 2006



Příloha č. 42: Klasifikace ZÚJ Stanovice podle Indexu Greenness v roce 2006

