

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie (navazující magisterské studium)

Studijní obor: Kartografie a geoinformatika



Bc. Eliška SKOKANOVÁ

HODNOCENÍ ZMĚN POKRYVU ZEMĚ POMOCÍ OBJEKTOVÝCH DETEKČÍ

EVALUATION OF LAND COVER CHANGES USING OBJECT DETECTION

Diplomová práce

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

Praha 2011

Vysoká škola: Univerzita Karlova v Praze

Fakulta: Přírodovědecká

Katedra: Aplikované geoinformatiky a kartografie

Školní rok: 2010/2011

Zadání diplomové práce

pro Elišku Skokanovou

obor Kartografie a geoinformatika

Název tématu: Hodnocení změn pokryvu Země pomocí objektových detekcí

Zásady pro vypracování

Jedním z nejdůležitějších zdrojů informací o stavu a změnách land cover a land use v České republice je databáze Corine Land Cover. Tato databáze je v nepravidelných periodách aktualizována a následně se vytváří doprovodná databáze změn. Pro účely užití v ČR má tato databáze několik negativ z důvodu požadovaného celoevropského pokrytí, jako například velkou mapovací jednotku.

Hlavním tématem diplomové práce je tvorba metody k určení změn land cover (change detection) za pomoci přístupu objektové detekce. Hodnoceny budou změny land cover v letech 2000 – 2006 a na podkladě dosažených výsledků bude provedeno zhodnocení přesnosti změnové databáze Corine 2000 – 2006. K tomuto účelu poslouží jak vektorová databáze Corine, tak i družicové snímky Landsat a Spot použité pro tvorbu této databáze. Prvním úkolem bude převzorkování těchto dat do jednotného rozměru pixelu. Následně bude provedena multi-data segmentace a za vytvořené segmenty budou vypočteny hodnoty odrazivosti, vegetačních indexů a další užitečné charakteristiky. Důležitým úkolem bude volba vhodného rozměru mapovací jednotky změn. Změny land cover budou hodnoceny ve vybraných lokalitách v Česku, k jejichž výběru poslouží jak změnová databáze Corine, tak i lokalizace překryvových ploch použitých scén.

V tvorbě metodiky bude využito pluginu Multivariate Alternation Detection (MAD) pro e-Cognition, který byl původně vyvinut pro detekci změn LC pomocí pixelové klasifikace, v současnosti je ale taktéž aplikovatelný pro klasifikaci objektovou. Princip nástroje spočívá ve využití statistických metod v hodnocení příznakových charakteristik krajinných segmentů. Statisticky budou zkoumány spektrální příznaky za rok 2000 a 2006 a v rámci vybraných tříd

budou hodnoceny změny. Tento Plugin bude testován z důvodu zjištění informace, kde dochází k výrazné spektrální změně a jak úspěšně je aplikovatelný pro určení změn land cover. Zjištěné změny budou srovnány s výsledky databáze Corine.

Konkrétními výsledky budou:

- Popis, testování a volba metody change detection
- Volba nejmenší mapovací jednotky, resampling, segmentace multi-date
- Testování Pluginu MAD v e-Cogniton
- Statistické zpracování výsledků change detection a jejich vyhodnocení
- Databáze a změnové mapy land cover
- Srovnání dosažených výsledků s Corine land cover change 2000-2006

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 40-80 stran

Seznam odborné literatury:

DOBROVOLNÝ, P. (1998): Dálkový průzkum Země, digitální zpracování obrazu. Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, katedra geografie. pp. 208

SCHOWENGERDT (2006): Remote sensing: Models and methods for image processing

KOLÁŘ, Jan; HALOUNOVÁ, Lena; PAVELKA, Karel. *Dálkový průzkum Země 10*. Praha : ČVUT v Praze, 2005. 164 s.

DI GREGORIO, A.; JANSEN, L. J.M. *FAO : The Food and Agriculture Organization of the United Nations* [online]. Rome : 2000. Land Cover Classification System (LCCS). Dostupné z: <<http://www.fao.org/docrep/003/x0596e/x0596e00.htm>>. ISBN 92-5-104216-0.

JOHN, A.; BACHMAN, F. *MAD-Transformation Pluginfor Definiens Developer 7.0* [pdf dokument]. 2007. Dostupné z:< http://tu-freiberg.de/fakult3/mage/geomonitoring/software/MAD_Manual.pdf>.

NIELSEN, A. A; CONRADSEN, K.; SIMPSON J.J. *Multivariate Alteration Detection (MAD) and MAF Postprocessing in Multispectral, Bitemporal Image Data: New Approaches to Change Detection Studies* [pdf dokument]. 1998. Dostupné z: < http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/views/publication_details.php?id=1220>.

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

Konzultant diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: prosinec 2010

Termín odevzdání diplomové práce: květen 2011

Platnost tohoto zadání je po dobu jednoho akademického roku.

.....
RNDr. Přemysl Štych, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

.....
Ing. Markéta Potůčková, Ph.D.

Vedoucí katedry

V Praze dne: 15. 12. 2010

Prohlášení

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

V Praze dne 29. 8. 2011

.....

podpis

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce RNDr. Přemyslu Štychovi, Ph.D. za odborné vedení mé diplomové práce a za jeho připomínky. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Lukáši Brodskému za věnovaný čas, cenné poznatky z praxe a užitečné rady, a firmě Gisat za poskytnutí dat a příjemného prostředí pro práci. Nakonec bych chtěla poděkovat své rodině a přáteli, kteří mě podporovali v průběhu celého studia.

Hodnocení změn pokryvu Země pomocí objektových detekcí

Abstrakt

Cílem práce je provést objektovou detekci změn land cover ve vybraných lokalitách České republiky. Vstupní data tvoří družicové snímky Landsat z roku 2000 a Spot z roku 2006. Ke zhodnocení změn je použita neřízená metoda detekce změn Multivariate Alteration Detection programu e-Cognition založená na statistických postupech. Výsledky detekce jsou na konci práce porovnány se změnovou databází Corine Land Cover za účelem zhodnocení míry shody detekovaných ploch. Z důvodu detekce změn menších rozměrů, které se nevyskytují v databázi Corine, je zvolena odlišná mapovací jednotka změn. V první části práce je provedena literární rešerše zaměřující se na postup zpracování satelitních snímků, popis spektrálního chování jednotlivých krajinných objektů, postup tvorby databáze Corine Land Cover a princip detekce změn pomocí MAD. Druhá část práce se zaměřuje na úpravu dat, provedení detekce změn sledovanou metodou a porovnání výsledků se změnovou databází Corine.

Klíčová slova: objektová detekce změn, družicové snímky, Corine Land Cover, mapovací jednotka změn, Multivariate Alteration Detection, e-Cognition

Evaluation of land cover changes using object detection

Abstract

The aim of the project is to perform object based change detection of land cover in specific areas of Czech republic. Landsat 2000 and Spot 2006 satellite images are used as input data. The method used for evaluation of changes is Multivariate Alteration Detection unsupervised method which is based on statistical procedures and is available from e-Cognition software. The results of detection are compared with Corine Land Cover changes database to evaluate degree of parity on detected areas. Different mapping unit is used to be able to detect smaller changes than Corine database. First part of the work is review of literature sources aimed on processing of satellite images, description of the spectral behavior of landscape objects, origins of Corine Land Cover database and principle of change detection using MAD. Second part deals with data adjustment, change detection process and comparison of reached results with Corine.

Keywords: object based change detection, satellite images, Corine Land Cover, mapping unit of changes, Multivariate Alteration Detection, e-Cognition

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| Přehled použitých zkratk | 9 |
| Seznam obrázků a tabulek | 11 |
| 1 Úvod | 13 |
| 2 Zpracování družicových dat | 15 |
| 2.1 Segmentace obrazu | 15 |
| 2.2 Klasifikace Land Cover | 19 |
| 2.2.1 <i>Obecné klasifikační přístupy</i> | 19 |
| 2.2.2 <i>Klasifikační metody</i> | 20 |
| 3 Spektrální charakteristiky objektů | 21 |
| 3.1 Spektrální odrazivost krajinných typů | 22 |
| 3.2 Vegetační indexy | 24 |
| 4 Corine Land Cover | 26 |
| 4.1 Základní informace o projektu..... | 26 |
| 4.2 Vývoj projektu CLC..... | 27 |
| 5 Detekce změn Land Cover | 31 |
| 5.1 Metody detekce změn | 31 |
| 5.2 Kanonická korelační analýza..... | 32 |
| 5.2.1 <i>Způsoby volby koeficientů a a b</i> | 32 |
| 5.3 Multivariate Alteration Detection (MAD)..... | 33 |
| 5.4 Iteratively Reweighted Multivariate Alteration Detection (IR-MAD)..... | 34 |
| 6 Data a software | 36 |
| 6.1 Použitá družicová data | 36 |
| 6.1.1 <i>Družice Landsat a jejich parametry</i> | 36 |
| 6.1.2 <i>Družice Spot a jejich parametry</i> | 37 |
| 6.2 Databáze CLC | 38 |
| 6.3 Software | 39 |

| | |
|--|-----------|
| 6.3.1 Geomatica | 39 |
| 6.3.2 e-Cognition | 39 |
| 7 Metodika..... | 40 |
| 7.1 Výběr lokalit | 40 |
| 7.2 Předpříprava dat | 41 |
| 7.2.1 Tvorba výřezů testovacích oblastí..... | 42 |
| 7.3 Postup detekce změn | 44 |
| 7.3.1 Segmentace obrazu..... | 44 |
| 7.4 Detekce změn pomocí vegetačních indexů | 45 |
| 7.4.1 NDVI..... | 45 |
| 7.4.2 Tasseled Cap | 47 |
| 7.5 Detekce metodou MAD | 48 |
| 7.5.1 Testovací oblast č. 1..... | 49 |
| 7.5.2 Testovací oblast č. 2..... | 51 |
| 7.5.3 Testovací oblast č. 3..... | 54 |
| 7.6 Tvorba TTA masek | 56 |
| 7.7 Porovnání změnových masek..... | 58 |
| 7.8 Postup detekce izolovaných změn..... | 60 |
| 8 Výsledky..... | 62 |
| 8.1 Vyhodnocení výsledků..... | 62 |
| 8.2 Detekované změny | 63 |
| 8.3 Zhodnocení na základě podobnosti | 68 |
| 9 Diskuze..... | 71 |
| 10 Závěr..... | 73 |
| Seznam zdrojů informací | 74 |
| Seznam příloh | 78 |

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

| | |
|---------------|--|
| CLC | Corine Land Cover |
| CNES | Centre National d'Études Spatiales |
| CNL | Cognition Network Language |
| CORINE | Coordination of Information on the Environment |
| DIODE | Détermination Immédiate d'Orbite par Doris Embarqué |
| DN | Digital Number |
| DORIS | Doppler Orbitography and Radio-positioning Integrated by Satellite |
| DPZ | Dálkový průzkum Země |
| EC | European Commission |
| EEA | European Environment Agency |
| EIONET | European Environment Information and Observation Network |
| ESA | European Space Agency |
| ESP | Estimation of Scale Parameter |
| ETCs | European Topics Centres |
| ETM+ | Enhance Thematic Mapper Plus |
| EU | European Union |
| FTS | Fast Track Services |
| GIS | Geographic Information System |
| GLCF | Global Land Cover Facility |
| GMES | Global Monitoring for Environment and Security |
| GPS | Global Positioning System |
| HRG | High Resolution Geometric |
| HRS | High Resolution Stereoscopic |
| HRV | High Resolution Visible |
| HRVIR | High Resolution Visible and Infrared |

| | |
|---------------|--|
| IR-MAD | Iteratively Reweighted Multivariate Alteration Detection |
| LC | Land Cover |
| LDCM | Landsat Data Continuity Mission |
| LISS | Linear Self Scanning |
| LV | Local Variance |
| MAD | Multivariate Alteration Detection |
| MAF | Maximum Autocorrelation Factor |
| MSS | Multispectral Scanner |
| NASA | National Aeronautics and Space Administration |
| NDVI | Normalised Differential Vegetation Index |
| NFP | National Focal Points |
| NIR | Near Infrared |
| NRC | National Reference Centres |
| OBIA | Object-oriented Image Analysis |
| PCA | Principal Component Analysis |
| PHARE | Poland and Hungary: Assistance for Restructuring their Economies |
| POAM | Polar Ozone and Aerosol Measurement |
| RBV | Return Beam Vidicon |
| SPOT | Système Probatoire d'Observation de la Terre |
| SWIR | Short Wavelength infrared |
| TIFF | Tagged Image File Format |
| TM | Thematic Mapper |
| USGS | U.S. Geological Survey |
| UTM | Universal Transverse Mercator |
| WGS | World Geodetic System |

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

| | | |
|---------|---|----|
| Obr. 1 | Srovnání původního snímku a tří typů segmentace | 16 |
| Obr. 2 | Rozdíly v segmentaci při použití odlišného scale parametru | 18 |
| Obr. 3 | Porovnání parametrů hladkosti a kompaktnosti | 18 |
| Obr. 4 | Porovnání křivek spektrální odrazivosti | 22 |
| Obr. 5 | Vícenásobný odraz ve vrstvách listu..... | 23 |
| Obr. 6 | Spektrální křivky jednotlivých typů umělého povrchu..... | 24 |
| Obr. 7 | Znázornění vývoje vegetace na základě hodnot transformovaných pásem B a G..... | 25 |
| Obr. 8 | Státy Evropy účastníci se monitorání LC v rámci projektu GMES | 27 |
| Obr. 9 | Znázornění tří úrovní Corine Land Cover | 28 |
| Obr. 10 | Schéma pořadí komponent MAD | 33 |
| Obr. 11 | Výsledky detekce žádné změny metodami MAD a IR-MAD po 30ti iteracích | 35 |
| Obr. 12 | Mapový zákres vytipovaných testovacích oblastí | 43 |
| Obr. 13 | Nárůst odrazivosti vegetace mezi pásmy RED a NIR | 45 |
| Obr. 14 | NDVI snímku Landsat a Spot | 46 |
| Obr. 15 | Komponenta MAD2 po transformaci Tasseled Cap a MAD | 47 |
| Obr. 16 | Komponenty MAD1 a MAD2 jarní scény testovací oblasti č. 1..... | 49 |
| Obr. 17 | Komponenty MAD, MAD2, MAD3, MAD4 jarní scény testovací oblasti č. 1 | 50 |
| Obr. 18 | Komponenty MAD1 a MAD2 podzimní scény testovací oblasti č. 1 | 50 |
| Obr. 19 | Komponenty MAD1 a MAD2 jarní scény testovací oblasti č. 2..... | 52 |
| Obr. 20 | Komponenty MAD, MAD2, MAD3, MAD4 jarní scény testovací oblasti č. 2 | 53 |
| Obr. 21 | Komponenty MAD1 a MAD2 podzimní scény testovací oblasti č. 2 | 53 |
| Obr. 22 | Komponenty MAD1 a MAD2 jarní scény testovací oblasti č. 3 | 54 |
| Obr. 23 | Komponenty MAD, MAD2, MAD3, MAD4 jarní scény testovací oblasti č. 3 | 55 |
| Obr. 24 | Komponenty MAD1 a MAD2 podzimní scény testovací oblasti č. 3 | 56 |
| Obr. 25 | Porovnání změn z CLC Change s jarní a podzimní maskou MAD | 64 |
| Obr. 26 | Porovnání změn z CLC Change s maskou MAD vytvořenou z multitemporálních dat | 65 |
| Obr. 27 | Znázornění změn CLC Change s jarní maskou MAD a multitemporální maskou | 66 |
| Obr. 28 | Znázornění změn CLC Change s jarní maskou MAD a podzimní maskou MAD | 67 |
| Obr. 29 | Znázornění změn CLC Change s maskou MAD vytvořenou z multitemporálních dat | 67 |

| | | |
|---------|--|----|
| Tab. 1 | Seznam příznaků používaných při vizuální interpretaci obrazu..... | 19 |
| Tab. 2 | Porovnání základních charakteristik družicových dat použitých pro CLC | 29 |
| Tab. 3 | Porovnání specifických parametrů jednotlivých databází CLC | 30 |
| Tab. 4 | Vývoj ploch vybraných tříd LC mezi lety 2000– 2006 na území ČR | 40 |
| Tab. 5 | Porovnání souřadnic tří testovacích oblastí | 43 |
| Tab. 6 | Doporučené kombinace pásem pro zobrazení snímků | 44 |
| Tab. 7 | Volba komponent a stanovené hodnoty meze pro detekci změn LC | 58 |
| Tab. 8 | Porovnání velikostí ploch sledovaných tříd po morfologii | 62 |
| Tab. 9 | Porovnání velikostí ploch sledovaných tříd před morfologií | 62 |
| Tab. 10 | Velikosti ploch sledovaných tříd multitemporální detekce před a po morfologii..... | 63 |
| Tab. 11 | Velikosti změnových ploch testovací oblasti č. 1 detekovaných metodou MAD před a po úpravě | 64 |
| Tab. 12 | Velikosti změnových ploch testovací oblasti č. 1 detekovaných metodou MAD z multitemporálních dat před a po úpravě..... | 65 |
| Tab. 13 | Velikosti změnových ploch testovací oblasti č. 2 detekovaných metodou MAD před a po úpravě | 66 |
| Tab. 14 | Velikosti změnových ploch testovací oblasti č. 3 detekovaných metodou MAD před a po úpravě | 68 |
| Tab. 15 | Míra shody změnové masky MAD v porovnání s vizuální maskou a CLC Change 2000–2006 | 69 |
| Tab. 16 | Míra shody změnové masky MAD multitemporálních dat v porovnání s vizuálními maskami a CLC Change 2000–2006 | 70 |
| Tab. 17 | Porovnání míry shody změnové masky MAD multispektrálních a multitemporálních dat s CLC Change 2000–2006 | 70 |

KAPITOLA 1

Úvod

Pojem land cover je celosvětově rozšířený termín označující krajinný pokryv země. Spolu s daty land use (využití půdy) tvoří primární vstup pro mnoho aplikací a programů, které mohou tato data, získaná především dálkovým průzkumem Země, zpracovávat, klasifikovat, modelovat či následně vizualizovat.

S pojmem land cover úzce souvisí termín detekce změn (z angl. „change detection“). Jedná se o proces, který zkoumá kde a jak se změnily atributy vybrané lokality v určitém časovém období. Z obecného hlediska je smyslem procesu detekce změn na základě spektrálních charakteristik zjistit, zda a k jaké změně na daném území došlo a určit čas, kdy tyto změny nastaly. Proces detekce změn nachází uplatnění v různých odvětvích, zaměřujících se na monitorování stavu životního prostředí, nakládání s přírodními zdroji, nebo sledování rozvoje měst.

K jednomu z nejdůležitějších zdrojů informací o stavu a změnách land cover a land use v České republice patří databáze Corine Land Cover. S využitím konkrétních družicových dat dochází k tvorbě databáze změn krajinného pokryvu, která se užívá pro aktualizaci předchozí databáze. Pro detekci změnových ploch má tato databáze stanovenou vyšší mapovací jednotku, díky které v ní nejsou zahrnuty změny menších rozměrů, jejichž detekce by konkrétně pro území České republiky ještě měla smysl. Proto bylo jedním z úkolů práce zvolit vhodnou velikost mapovací jednotky změn.

Protože se v posledních letech zvýšila nejen nabídka leteckých či družicových snímků, ale také prostorové rozlišení obrazových snímačů, objevily se výzvy spojené se získáním přesnější a detailnější informace z datových produktů. Jedním z nabízejících se řešení bylo tedy nahrazení tradičního pixelového přístupu objektovým.

Hlavním cílem diplomové práce je zjistit změny land cover na území České republiky mezi lety 2000–2006 s využitím přístupu objektové detekce. K tomu bude použita metoda Multivariate Alteration Detection (MAD), kterou je možné implementovat do programu e-Cognition pomocí veřejně dostupného pluginu. MAD funguje na principu neřízené automatické detekce změn na základě spektrálních charakteristik objektů s využitím statistických postupů založených na kanonické korelační analýze. V této práci bude testováno, jak funguje algoritmus MAD a jakým způsobem provádí detekci změn.

Jako vstupní data pro tuto práci byly vybrány družicové snímky Landsat z roku 2000 a snímky Spot z roku 2006. Jedná se o stejné snímky, které byly využity při tvorbě změnové databáze Corine Land Cover 2000–2006. Zkoumané lokality byly vybrány v závislosti na hlavních trendech ve změnách pokryvu země na území ČR.

V závěru práce bude posouzeno, zda je metoda detekce pomocí MAD vhodná pro určení objektů, u kterých došlo ke změně spektrálních vlastností v průběhu času. Výsledky detekce touto metodou budou rovněž srovnány s CLC Change 2000–2006 s cílem zjistit, jestli a do jaké míry jsou tyto metody detekce porovnatelné, a zda měla volba menší mapovací jednotky pozitivní vliv při určení nových plošně menších změnových objektů.

KAPITOLA 2

Zpracování družicových dat

Primárním úkolem dálkového průzkumu Země (DPZ) je získání dat nasnímaných pomocí družic obíhajících kolem Země. Družicový systém poskytuje opakovaný a neustálý pohled na Zemi v podobě družicových snímků, které slouží jako neocenitelný zdroj informací pro sledování krátkodobých i dlouhodobých změn krajiny (Schowengerdt, 2007). Neupravená družicová data však mají limitní vypovídající úroveň, proto musí být následně zpracována pomocí sofistikovaných software s využitím konkrétních metod a postupů.

V procesu hodnocení krajinného pokryvu se v dálkovém průzkumu využívá objektivě zaměřené metody, poněvadž pixely samy o sobě neposkytují mnoho informací o obsahu obrazu. K automatickému seskupování sousedních pixelů do souvislých regionů na základě podobných pixelových vlastností se využívají obrazové segmentační techniky. Prostřednictvím segmentace obrazu dochází k modelování prostorové informace do sousedících regionů, které jsou poté s využitím statistiky klasifikovány na základě spektrálních a texturálních vlastností, včetně jejich tvaru. Pomocí těchto atributů dojde ke sloučení regionů. Výsledné shluky pixelů se poté zařadí do odpovídajících kategorií land cover/land use, které si definuje sám uživatel (Aksoy; Akcay, 2005).

2.1 Segmentace obrazu

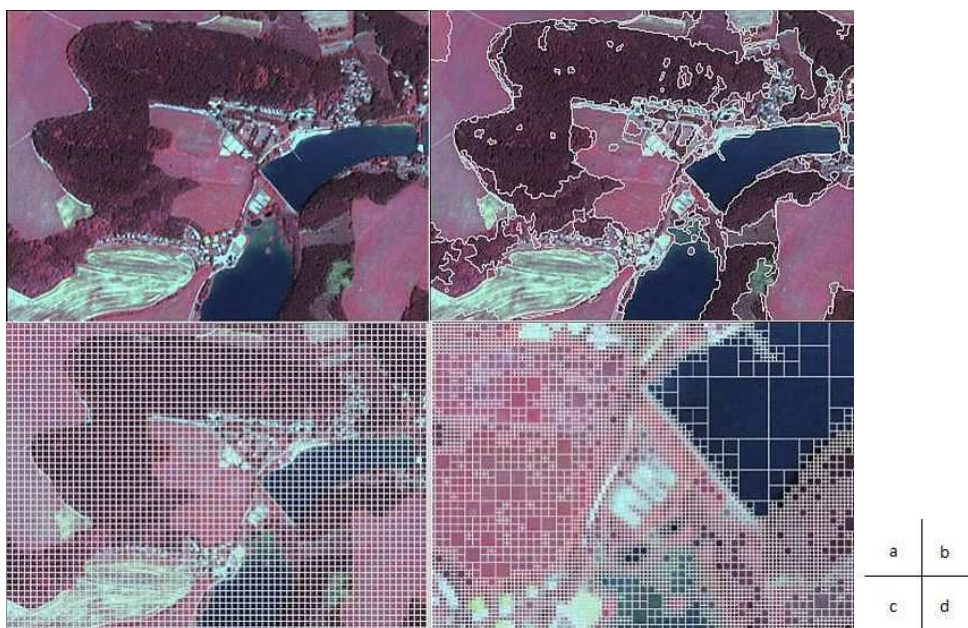
Při digitálním zpracování obrazu je jedním z prvních a zároveň nejdůležitějších kroků segmentace. Jedná se o skupinu metod, jejímž úkolem je rozdělení obrazu na jednotlivé oblasti (segmenty) s podobnými vlastnostmi, které korespondují s danými objekty obrazu (URL 20). Znamená to tedy, že každému pixelu je prostřednictvím segmentace přiřazen index segmentu, jenž reprezentuje konkrétní objekt (Španěl; Beran, 2005). Takto rozsegmentovaný obraz má rozsáhlé možnosti využití, jako například při zpracování lékařských obrazových dat, při identifikaci objektů v obrazu, analýze snímků, klasifikaci nebo při modelování objektů ve 3D (URL 20). Důležité je, aby segmentační algoritmus bral v potaz jak spektrální, tak tvarové charakteristiky (Potůčková, 2010).

K segmentaci existuje nespočet přístupů založených na odlišných definicích homogenity. Jedním z nich je segmentace řízená a neřízená nebo segmentace top-down (shora-dolů) a bottom-up (zdola-nahoru).

Segmentace bottom-up je technika slučování regionů, při které se k dílčímu pixelu postupně přidávají další pixely až do té doby, než vznikne objekt na základě zvolené míry homogenity. Objekty vytvořené tímto přístupem podstupují optimalizační proces, který se snaží minimalizovat vnitřní váženou heterogenitu každého objektu. Jakmile vlastnosti objektu překročí práh heterogenity definovaný scale parametrem (viz dále), proces přidávání pixelů a tím i růst objektu se zastaví (Aksoy; Akcay, 2005). U segmentace top-down naopak dochází k rozdělení celého snímku na menší části.

Samotné dělení obrazových dat na objekty je založeno na segmentačních algoritmech. Mezi hlavní segmentační algoritmy implementované v programu e-Cognition patří chessboard segmentation, quadtree segmentation, spectral difference segmentation a multiresolution segmentation.

Segmentace chessboard („šachovnice“) je nejjednodušším segmentačním algoritmem, který rozděluje obraz na čtverce o stejné velikosti. Nevýhodou tohoto typu segmentace je vznik silně nehomogenních objektů, poněvadž se může v jednom čtverci vyskytovat více typů krajinného pokryvu. Segmentace quadtree („kvadrantový strom“) dělí stejně jako předchozí typ obraz do čtverců, avšak o různé velikosti. Výsledkem jsou větší čtverce homogenních oblastí a menší čtverce reprezentující silně nehomogenní oblasti. Narozdíl od segmentace chessboard vzniknou objekty spektrálně homogenní, zato tvarově hodně nepřírozené. Oba výše zmíněné typy segmentace se řadí do přístupu top-down. Segmentace spectral difference provádí spojení objektů na základě kritéria maximálního rozdílu. Jedná se o přístup bottom-up, který slučuje spektrálně podobné obrazové objekty. Všechny tři typy segmentace jsou znázorněny na následujícím obr. 1.



Obr. 1: Srovnání původního snímku a tří typů segmentace: a) původní snímek; b) spectral difference; c) chessboard; d) quadtree segmentation
(zdroj: Potůčková, 2010)

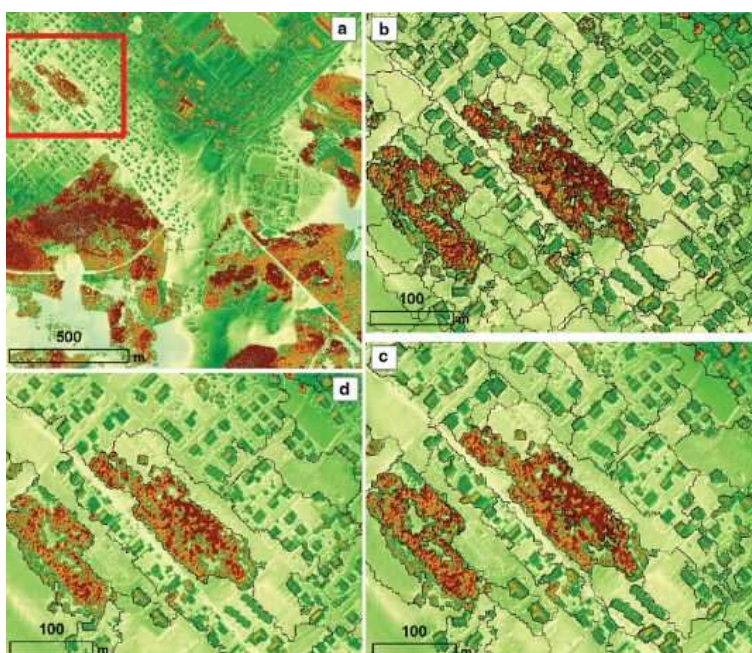
Posledním zmíněným typem je segmentace multiresolution. Jedná se o metodu Region Growing Segmentation, která byla implementována do software e-Cognition pod názvem multiresolution segmentation (URL 11). Ta tvoří jakýsi rozumný kompromis mezi spektrálně homogenním přístupem a vznikem tvarově přirozených objektů, podobajících se realitě. Tento typ segmentace využívá také segmentačního přístupu bottom-up. Funguje na principu seskupování oblastí s podobnou hodnotou pixelu do objektů. Poněvadž se jedná o víceúrovňový hierarchický typ segmentace, vytváří propojenou hierarchii segmentů na různých úrovních. Tyto úrovně se používají k zachycení detailů nacházejících se přirozeně v odlišných strukturách.

Samotné multiresolution segmentaci předchází nastavení několika parametrů, které mají velký vliv na konečný výsledek. Jedním z nich je tzv. scale parametr. Jedná se o abstraktní pojem, jenž určuje velikost objektů po segmentaci a zároveň zabraňuje vzniku příliš heterogenních objektů. Pro volbu scale parametru neexistuje definitivní pravidlo, ale je nutné využít metody pokus-omyl ke zjištění optimální velikosti segmentů použitelných pro další klasifikaci (Aksoy; Akcay, 2005).

Estimation of Scale Parameter (ESP) je algoritmus usnadňující volbu vhodných vah pro míru segmentace (Dragut; Tiede; Levick, 2009). Tento nástroj je založen na myšlence místního rozptylu (LV – local variance) objektové heterogenity v rámci scény. ESP opakovaně generuje obrazové objekty na víceměřítkové úrovni využívající přístupu bottom-up a počítá LV pro každé měřítko. ESP automaticky rozděluje uživatelem definovaná data s pevným přírůstkem scale parametru a počítá místní rozptyl jako střední směrodatnou odchylku pro každou objektovou úroveň získanou segmentací. Rozdílnost v heterogenitě je zkoumaná hodnocením LV vyneseno na odpovídající stupnici. Prahové hodnoty rychlosti změn LV ukazují počet úrovní, na které může být obraz co nejvhodnějším způsobem rozdělen vzhledem k vlastnostem dat. Nástroj ESP je naprogramován pomocí modulárního programovacího jazyka Cognition Network Language (CNL) v prostředí software e-Cognition.

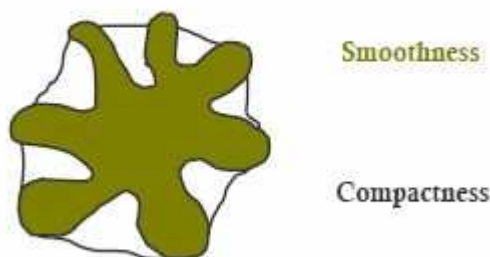
Výsledkem výzkumu na různých typech snímků bylo rychlé zpracování a přesné výsledky. Jednoduchý, ale přesto robustní nástroj ESP umožňuje rychlý a objektivní odhad scale parametru při provádění segmentace obrazu a má velký potenciál pro objektově orientované aplikace.

Následující obrázek (obr. 2) znázorňuje odlišnost segmentace při použití různého scale parametru. Použité hodnoty byly zjištěny pomocí výše zmíněné techniky ESP.



Obr. 2: Rozdíly v segmentaci při použití odlišného scale parametru: a) celý snímek s výběrem testovací lokality; b) scale parametr 14; c) scale parametr 45; d) scale parametr 82 (zdroj: Dragut; Tiede; Levick, 2009)

Dalšími volitelnými kritérii jsou parametry colour a shape, které zvažují při vzniku segmentů důležitost barvy \times tvaru. Tyto parametry se navzájem ovlivňují. Platí zde pravidlo, že čím více důležitější je vliv barvy, tím menší vliv má tvarová charakteristika. Součet obou těchto parametrů je 1. Blíže lze poté specifikovat jednotlivé vlivy kritéria shape – compactness (kompaktnost) a smoothness (hladkost). Nastavením těchto parametrů se volí vlastnosti objektů, tedy zda je upřednostňovaná jejich kompaktnost nebo hladkost. Výsledný součet je stejně jako v předchozím případě 1 (Potůčková, 2010). Vizuální porovnání těchto parametrů nabízí obr. 3. Segmentace multiresolution se hojně používá z důvodu uspokojivých výsledků, avšak z hlediska nastavení a výpočtů je mnohem náročnější.



Obr. 3: Porovnání parametrů hladkosti a kompaktnosti (zdroj: Aksoy; Akcay, 2005)

Mezi další segmentační algoritmy řadíme např. segmentaci watershed (využívající prahování), contrast split a contrast filter, texture, multi-threshold a další (URL 11).

2.2 Klasifikace Land Cover

2.2.1 Obecné klasifikační přístupy

Pojem klasifikace (z latinského *classis* = třída) se používá pro proces třídění či zařazení naměřených dat dle příslušnosti ke konkrétní třídě. Klasifikace dat DPZ představuje rozsáhlé množství metod a přístupů založených na automatizovaném vyhodnocení snímku pomocí počítačů (URL 11). Předpis, podle kterého jsou prvky řazeny do jedné z hledaných tříd, se nazývá klasifikační pravidlo. Aplikaci tohoto pravidla pro zařazení naměřeného datového souboru provádějí algoritmy, nazývané klasifikátory. Klasifikační algoritmy využívají při sestavení klasifikačních pravidel tzv. příznaků. Příznaky jsou významné a typické změny radičních hodnot vzhledem ke změně stavového či druhového parametru. Pro sestavení klasifikačního pravidla se používají příznakové složky, jež definují příznakový prostor (Kolář; Halounová; Pavelka, 1997).

Rozlišujeme tři základní typy příznaků – prostorové, časové, spektrální. Prostorový příznak je spojen se změnou prostorových parametrů včetně změny jeho vnitřní textury. Tento plošný prvek vymezuje hranice objektů na základě jejich velikosti, tvaru či vzájemného sousedství. Časové příznaky vyjadřují dynamické změny vlastností objektů v čase. Spektrální příznak charakterizuje vlastnosti objektu na základě jeho spektrálního chování (odrazivost v různých vlnových délkách, vyzařovací vlastnosti, emisivita) (Kolář; Halounová; Pavelka, 1997).

Zařadit pixely do tříd je možné také na základě vizuálního vyhodnocení, tedy interpretace. Při ní člověk využívá již nabyté zkušenosti z pozorování okolních objektů prostřednictvím lidského zraku. Na základě vnímání jsou pixely seskupovány do shluků reprezentujících dané objekty. Na rozdíl od počítačové klasifikace však lidské oko nedokáže rozlišit tak přesné detaily, poněvadž je při klasifikaci možné pracovat až se třemi spektrálními kanály najednou (Potůčková, 2010). Příznaky, se kterými je možné pracovat při vizuální interpretaci obrazu znázorňuje tab. 1.

Tab. 1: Seznam příznaků používaných při vizuální interpretaci obrazu (zdroj: Kolář; Halounová; Pavelka, 1997)

| SPEKTRÁLNÍ PŘÍZNAKY | Primární prvky | odstín šedi |
|---------------------|------------------------------|----------------|
| | | barevný odstín |
| PROSTOROVÉ PŘÍZNAKY | Odvozeniny primárních prvků | výška |
| | | stín |
| | Prostorové rozložení odstínů | velikost |
| | | tvar |
| | | textura |
| | | vzorek |
| | Kontextuální prvky | místo |
| | | vztah k okolí |

2.2.2 Klasifikační metody

Z hlediska způsobu klasifikace rozlišujeme metodu „per-pixel“ (pixelová klasifikace) a objektově orientovanou klasifikaci (OBIA). Metoda per-pixel funguje na principu zařazení jednotlivých pixelů v obrazu do zvolených tříd. Algoritmy pracují buď s každým z pixelů samostatně nebo berou při rozhodování v potaz i okolí pixelu (URL 11). Nevýhodou této klasifikace je fakt, že dokáže vyhodnocovat snímky pouze ze spektrálního hlediska, nikoliv z hlediska geografického (Potůčková, 2010). Tato metoda klasifikace je historicky starší metodou zpracování obrazových dat.

Poměrně moderní a v dnešní době nejpoužívanější metodu představuje objektově orientovaná klasifikace, u které není základní jednotkou klasifikace pixel, ale skupina vzájemně souvisejících pixelů s podobnými vlastnostmi. Objektová klasifikace se nachází na pomezí klasických klasifikací a interpretace. Snahou tohoto přístupu je napodobit a automaticky nahradit vizuální interpretaci člověkem. Výhodou objektově orientované klasifikace oproti pixelové je skutečnost, že pro rozpoznání jednotlivých objektů využívá nejen barevných (spektrálních) příznaků, ale také tvarových, texturálních, velikostních a kontextuálních charakteristik (URL 11). Samotné objektové klasifikaci však musí předcházet proces segmentace (viz kapitola 2.1), při které je snímek rozdělen do homogenních celků. Na takto rozdělený obraz pak lze aplikovat klasifikační algoritmy.

V této práci budou změny krajinného pokryvu hodnoceny metodou objektové detekce založené na vyhodnocení vizuálních charakteristik snímků pomocí specializovaného software.

KAPITOLA 3

Spektrální charakteristiky objektů

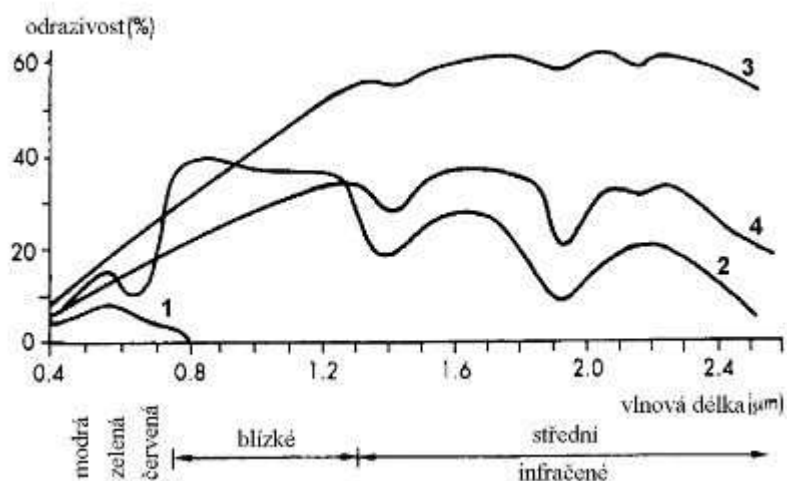
Při procesu detekce změn krajinného pokryvu se využívá skutečnosti, že každý objekt rozdílným způsobem reaguje na příchozí elektromagnetické záření, charakterizované elektromagnetickými vlnami. Tyto nehomogenity prostředí pak umožňují získávat informace o objektech prostřednictvím dálkového průzkumu Země. Po dopadu elektromagnetické vlny na objekt či zemský povrch dochází v místě interakce k oscilačnímu pohybu částic s elektrickým nábojem, jehož výsledkem je vznik sekundární elektromagnetické vlny (Kolář; Halounová; Pavelka, 1997).

Z hlediska směru šíření sekundární vlny může dojít ke třem situacím. První z nich je odrazení elektromagnetického záření zpět do prostředí, ze kterého na těleso dopadlo, a to buď jednosměrně nebo rozptýleně. Druhým případem je pohlcení záření (neboli absorpce), ke kterému dochází v případě, že se elektromagnetická vlna šíří dál dovnitř objektu. Pokud má objekt menší rozměry nebo nedojde k úplné absorpci, jedná se o záření prošlé (Kolář; Halounová; Pavelka, 1997).

Vlastnosti objektu jako druh látky (charakterizované druhovými parametry), jeho fyzikální stav (stavové parametry) a také stav v jeho okolí (např. aktuální stav atmosféry) mají vliv na intenzitu odraženého i emitovaného záření.

Každý objekt na zemském povrchu se vyznačuje specifickým spektrálním chováním, které se liší v jednotlivých vlnových délkách. Závislost odrazivosti na vlnové délce se znázorňuje pomocí spektrální křivky odrazivosti. Přestože se mohou dva objekty z hlediska odrazivosti chovat v jednom pásmu podobně, mohou mít v jiném pásmu zcela odlišné vlastnosti. Z tohoto důvodu se odvozují spektrální pásma vhodná pro měření konkrétních typů objektů. Je však třeba počítat s tím, že jsou spektrální vlastnosti jednotlivých typů krajinného pokryvu proměnlivé v čase z důvodu měnících se stavových parametrů (Kolář; Halounová; Pavelka, 1997).

Na následujícím obrázku (obr. 4) jsou porovnány obecné průběhy spektrálních křivek základních krajinných typů objektů.



Obr. 4: Porovnání křivek spektrální odrazivosti; 1) voda, 2) vegetace, 3) suchá půda, 4) vlhká půda (zdroj: Kolář; Halounová; Pavelka, 1997)

3.1 Spektrální odrazivost krajinných typů

A. Vegetace

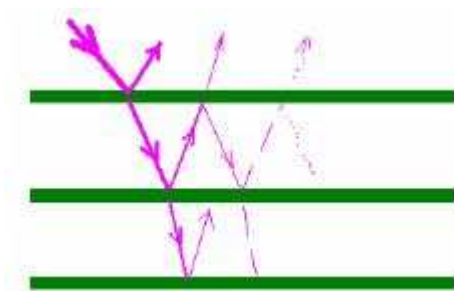
V případě vegetačního pokryvu hrají důležitou roli následující parametry: vnější uspořádání rostlinného krytu, vnitřní uspořádání částí rostlin, obsah vody a minerálů, množství a výskyt pigmentačních látek a zdravotní stav vegetace. Spektrální chování vegetace je časově hodně proměnlivé a její spektrální křivka má v jednotlivých ročních obdobích charakteristický průběh, na jejímž základě lze sledovat stadia růstu nebo výskyt konkrétního rostlinného druhu. V závislosti na jejím průběhu v jednotlivých vlnových délkách rozlišujeme tři základní oblasti (Kolář; Halounová; Pavelka, 1997).

1. oblast pigmentační absorpce (0,4 μm –0,7 μm)

Na odrazivost mají vliv především tyto pigmentační látky – chlorofyl, karoten, anthokyan a xantofyl. Nejrozšířenější chlorofyl tvoří až 65 % listového pigmentu. V červeném a modrém pásmu dochází k pohlcení záření, oblast zeleného pásma ve vlnové délce 0,54 μm se vyznačuje maximální odrazivostí. Z tohoto důvodu také vidíme vegetaci zelenou. Proces stárnutí vegetace doprovází úbytek chlorofylu, při kterém se začne projevovat vliv ostatních pigmentačních látek, díky kterým pak mají listy žluté nebo červené zbarvení (Kolář; Halounová; Pavelka, 1997).

2. oblast vysoké odrazivosti neboli buněčné struktury (0,7 μm –1,3 μm)

Charakteristickými vlastnostmi je nízká pohltivost a zároveň vysoká odrazivost způsobená především vícenásobným odrazem uvnitř listu (viz obr. 5). V rámci první vrstvy listu je 50 % záření odraženo a 50 % emitováno. Druhá vrstva odrazí už jen 25 % původního záření, přičemž jen polovina je propuštěna ven z listu. Stěžejní vliv na odrazivost v blízkém infračerveném záření má vnitřní struktura listu (Kolář; Halounová; Pavelka, 1997).



Obr. 5: Vícenásobný odraz ve vrstvách listu (zdroj: Horák, ?)

3. oblast vodní absorpce (1,3 μm –3 μm)

Pro vlnovou délku středního infračerveného záření jsou typické absorpční pásy vody – konkrétně na 1,4 μm , 1,9 μm . Hlavní vibrační pás vody je na vlnové délce 2,7 μm , vedlejší na 0,96 μm a 1,1 μm (Kolář; Halounová; Pavelka, 1997). V této oblasti tedy dochází k poklesu odrazivosti vlivem vyššího obsahu vody v rostlině.

B. Voda

Spektrální vlastnosti vody se výrazně liší od ostatních typů krajinného pokryvu a její výskyt v objektech a množství má dominantní vliv na výslednou odrazivost. Voda se může vyskytovat ve skupenství pevném, kapalném a plynném.

Pro vodu v kapalném skupenství je typická nízká odrazivost a vyšší absorpce na všech vlnových délkách. K maximální odrazivosti dochází na vlnové délce 0,48 μm . Částice jako je plankton, kal nebo písek mají vliv na zvýšení odrazivosti vody. Nejinak tomu je u tekoucích vod, jež vykazují vyšší hodnoty odrazivosti než vodní plochy bez průtoku. V pásmu infračerveného záření se odrazivost blíží hodnotě nula, voda se tedy v této části spektra chová jako černé těleso (Kolář; Halounová; Pavelka, 1997).

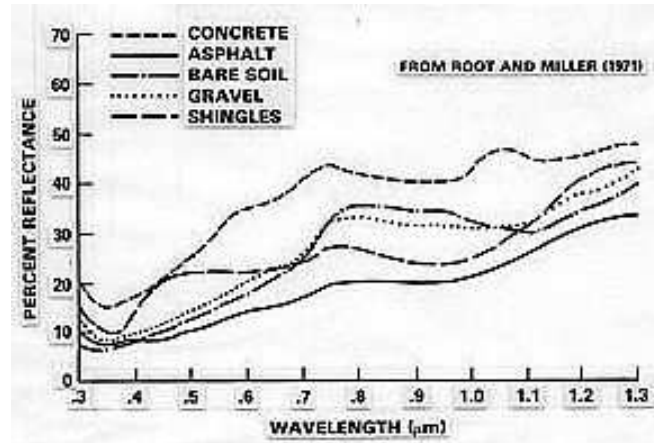
C. Povrch bez vegetace

Tento typ krajinného pokryvu zahrnuje povrch přírodní i uměle vytvořený. Spektrální vlastnosti holé půdy se odlišují v závislosti na následujících faktorech: obsahu organických látek (humusu), struktuře půdy, vlhkosti, stupni erozních procesů a výskytu minerálů a hornin (Kolář; Halounová; Pavelka, 1997).

Obecně dochází s nárůstem vlnové délky ke zvýšení odrazivosti v rámci viditelného a blízkého IČ spektra. Vyšší obsah humusu se projevuje snížením odrazivosti ve viditelném záření. Co se týče struktury půdy, platí pravidlo, že čím větší nerovnosti a nehomogenní prvky půda obsahuje, tím větší má i odrazivost. Vyšší obsah vody naopak snižuje hodnoty odrazivosti. Důležitou roli hraje i půdní typ, který určitým způsobem souvisí právě s obsahem vody v půdě. Jílovité a hlinité půdy jsou v porovnání s písčítými půdami vlhčí, a tudíž je jejich odrazivost nízká (Kolář; Halounová; Pavelka, 1997).

Antropogenní povrchy se vyznačují podobným chováním jako povrchy bez vegetace. S rostoucí vlnovou délkou se zvyšuje i odrazivost (viz obr. 6). Prvky jako beton, asfalt nebo střechy budov

mají vysokou emisivitu a dají se dobře odlišit v tepelné části spektra. Mikrovlnné záření se používá pro rozlišení struktury prvků – drsnost, vlhkost či hladkost kovových materiálů (Kolář; Halounová; Pavelka, 1997).



concrete = beton
 asphalt = asfalt
 bare soil = holá půda
 gravel = štěrk
 shingles = obložky

Obr. 6: Spektrální křivky jednotlivých typů umělého povrchu (zdroj: Short, 2005)

3.2 Vegetační indexy

Pro vegetaci je typické, že velmi silně absorbuje červené světlo (RED) a vykazuje vysoké hodnoty odrazivosti v infračervené části spektra (NIR). Mezi těmito vlnovými délkami tedy dochází k obrovskému nárůstu odrazivosti.

Vztah mezi odrazivostí v těchto dvou pásmech udávají tzv. vegetační indexy, které slouží jako účinné indikátory hustoty vegetace a jejího zdraví (Dobrovolný, 200?). Protože existuje velké množství vegetačních indexů, budou zde uvedeny jen některé z nich pro ilustraci.

$VI = NIR - RED$ Jednoduchý rozdílový vegetační index

Poměrové indexy: dává do poměru odrazivost v pásmech RED a NIR.

$$RVI = \frac{NIR}{RED} \quad \text{Jednoduchý poměrový vegetační index}$$

$$TVI = \sqrt{\frac{NIR - RED}{NIR + RED}} + 0,5 \quad \text{Transformovaný vegetační index}$$

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad \text{Normalizovaný diferenční vegetační index}$$

Ortogonální indexy: Vznik lineární kombinací původních pásem.

$$PVI = \sqrt{(RED_p - RED_v)^2 + (NIR_p - NIR_v)^2} \quad \text{Perpendicular vegetation index}$$

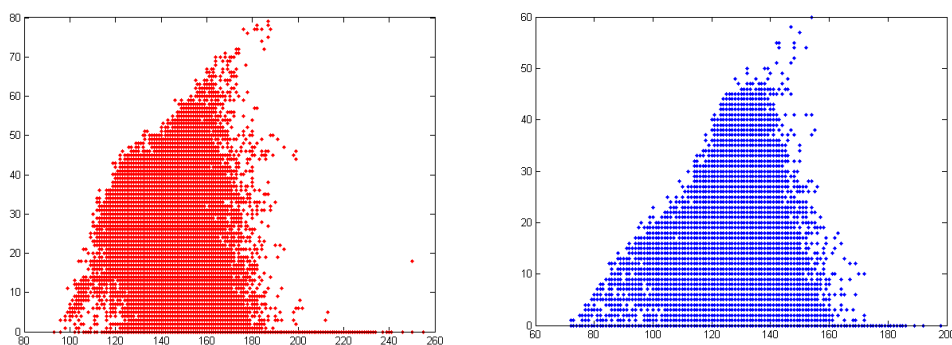
– indexy p a v označují odrazivost půdy a vegetace

Tasseled Cap:

Provádí transformaci původních pásem multispektrálního obrazu, ze kterých jsou následně vypočtena pomocí lineární kombinace pásma nová. Výsledkem jsou tři kanály – **Brightness** (odrazivost půdy), **Greenness** (množství zeleně), **Wetness** (vlhkost půdy a vegetace) nebo **Yellowness** (žlutost). Tato nová pásma zvýrazňují specifické vlastnosti povrchů.

První pásmo (osa x) je orientováno ve směru maximálního rozptylu odrazivosti půdy, druhé pásmo (osa y) je kolmé na první pásmo. Tato pásma jsou osami dvourozměrného grafu, který má tvar čepice Santa Clause (Dobrovolný, 200?). Vzorec výpočtu nových pásem se liší v závislosti na vstupních datech.

Následující obr. 7 znázorňuje porovnání grafů z května (vlevo) a září (vpravo). Z grafů je patrný vývoj vegetace a změny odrazivosti charakteristické pro jednotlivá roční období.



Obr. 7: Znázornění vývoje vegetace na základě hodnot transformovaných pásem B a G

(zdroj: vlastní)

KAPITOLA 4

Corine Land Cover

4.1 Základní informace o projektu

Program Corine (z anglického Coordination of Information on the Environment) Land Cover byl zahájen mezi lety 1985–1990 na popud Evropské komise (EC). V souvislosti s ním vznikly organizace Evropská agentura pro životní prostředí (EEA) a Evropská informační a pozorovací síť pro životní prostředí (Eionet).

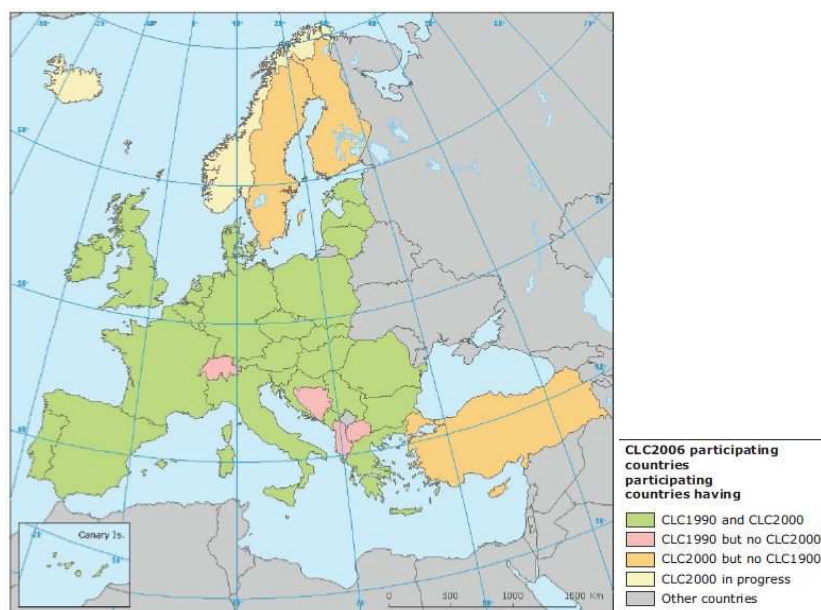
EEA byla ustanovena Evropskou komisí v roce 1993 (URL 5), prakticky ale začala fungovat až následující rok. Jejím sídlem je dánská metropole Kodaň. V současné době tvoří EEA 32 států – Island, Turecko, Lichtenštejnsko, Norsko, Švýcarsko a 27 členských států EU.

Eionet je partnerská organizace EEA (URL 7), kterou tvoří samotná EEA, 6 evropských tématických center (ETCs) a přes 1000 odborníků z 39 zemí sídlících v 350 národních agenturách, jako jsou Národní kontaktní místa (NFP) a Národní referenční centra (NRC).

Projekt se zaměřuje na tři části – krajinný pokryv, ovzduší a biotopy. Stejně pro tuto práci je především část zabývající se tvorbou databáze krajinného pokryvu (Corine Land Cover) podle stanovené metodiky.

V České republice má správu projektu CORINE na starosti Cenia, česká informační agentura životního prostředí (URL 2). Tato společnost je od 1. 4. 2005 příspěvkovou organizací Ministerstva životního prostředí. Jak z jejího názvu vyplývá, zaměřuje se na monitorování stavu životního prostředí a hodnocení environmentálních změn v souvislosti s jeho znečišťováním. Tyto informace poté šíří směrem k občanům České republiky a samozřejmě je poskytuje i zainteresovaným subjektům.

Z obr. 8 je patrné, kolik evropských zemí se účastnilo jednotlivých etap mapování. V rámci projektu GMES (Global Monitoring for Environment and Security) se monitorování zemského pokryvu zúčastnilo 38 zemí s celkovou plochou o výměře 5,8 milionů km² (Cenia, 2011).



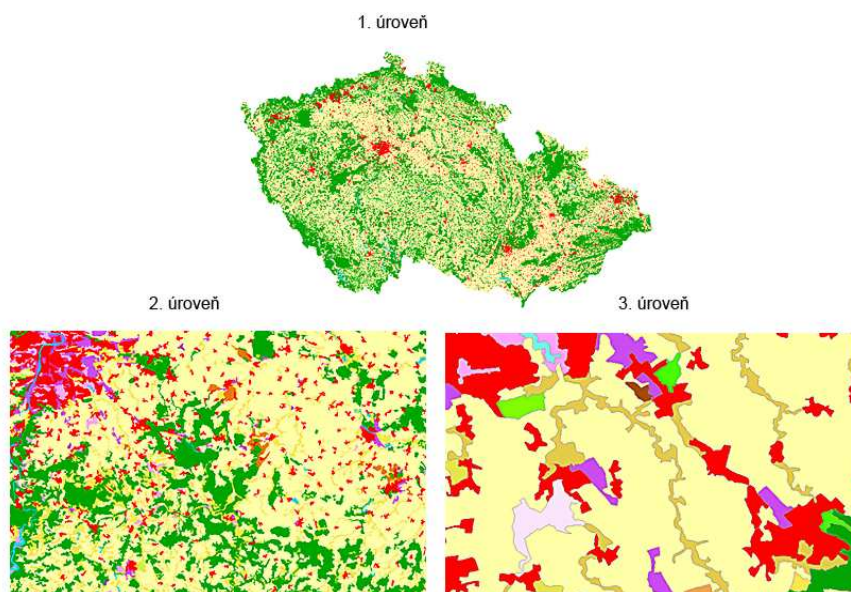
Obr. 8: Státy Evropy účastnící se monitorání LC v rámci projektu GMES (zdroj: Cenia, 2011)

4.2 Vývoj projektu CLC

Ačkoliv byl projekt zahájen již v roce 1985, teprve roku 1991 byl zásluhou programu Phare rozšířen i na oblast střední a východní Evropy. První vytvořenou databází byla CLC1990. Jako vstupní data byly použity snímky Landsat z období let 1986–1995. Výsledkem byla mapa v měřítku 1 : 100 000 obsahující 44 tříd krajinného pokryvu. Standardní nomenklatura CLC se skládá ze tří základních úrovní (URL 4):

1. úroveň – označuje hlavní kategorie krajinného pokryvu na Zemi a je určena pro měřítko <math>< 1 : 1\,000\,000</math>
5 tříd: 1) urbanizovaná území, 2) zemědělské oblasti, 3) lesy a polopřirodní oblasti, 4) mokřady, 5) vodní útvary
2. úroveň – 15 tříd (na území ČR jen 13), určena pro mapy měřítka 1 : 1 000 000 a 1 : 500 000. Číselné označení udává, pod jakou třídou z pěti hlavních kategorií daná třída spadá.
3. úroveň – 44 tříd (na území ČR pouze 28), určena pro projekty se základním měřítkem 1 : 100 000

Zavedené kategorie se od prvního mapování neměnily, pouze byly upraveny definice některých prvků nomenklatury. Ukázkou výše zmíněných úrovní znázorňuje obr. 9. Podrobný seznam tříd všech tří úrovní je umístěn v podobě tabulky v příloze 1.



Obr. 9: Znáznornění tří úrovní Corine Land Cover (zdroj: URL 1)

Po třech letech byly z důvodu zpřesnění informací o stavu krajiny započaty práce na zaktualizování stávající databáze LC v rámci projektu I&CLC2000. Jednou z částí projektu aktualizace byl IMAGE2000, pro který byly použity družicové snímky Landsat 7 ETM+ s prostorovým rozlišením 25 m. Následně byly detekovány změny land cover a vytvořena první změnová databáze Corine Land Cover Changes 1990–2000. Plocha nejmenší mapované jednotky byla stanovena na 25 ha a minimální šířka lineárních prvků na 100 m. Pro detekci změn byla uvažována souvislá plocha o velikosti alespoň 5 ha (URL 4). Výsledná aktualizovaná databáze CLC2000 byla dokončena na konci roku 2004. Při tvorbě CLC2000 byly odstraněny geometrické a tématické nepřesnosti předchozí databáze.

Další aktualizace databáze proběhla až v roce 2006 v rámci aktivit evropského programu GMES, konkrétně v části nazvané Fast Track Service (FTS) on Land Monitoring. Narozdíl od CLC2000 se projekt CLC2006 lišil v několika zásadních bodech (Cenia, 2011):

- CLC2006 se primárně soustředil na tvorbu změnové databáze mezi lety 2000 a 2006
- Databáze CLC2006 byla z důvodu nesrovnalostí a odlišných postupů jednotlivých států při tvorbě předchozí CLC2000 vytvořena převážně automaticky (využívající kontroly odborníků) kombinací CLC2000 a CLC Changes 2000–2006.
- Dochází ke zmapování všech změn LC > 5 ha, včetně samostatných izolovaných změnových ploch.
- IMAGE2006 není vytvořen z družicových snímků Landsat 7 ETM, nýbrž ze snímků SPOT 4 a IRS P6. Díky tomu lze vytvořit multitemporální satelitní datové pokrytí oblastí. Pro každou oblast byly tedy získány 2 snímky za rok 2006/ + - 1 rok.

Srovnání základních charakteristik družicových dat použitých při tvorbě IMAGE2000 a IMAGE2006 je ukázáno v následující tabulce (tab. 2).

Tab. 2: Porovnání základních charakteristik družicových dat použitých pro CLC (zdroj: Cenia, 2011)

| | Landsat-7 | SPOT-4 | IRS P6 |
|------------------------------------|---|---|---------------------------------|
| senzor | ETM+ | HRVIR | LISS III |
| šířka řádku (km) | 180 | 60–80 (zaleží na úhlu pohledu) | 141 |
| prostorové rozlišení (m) | 30 (multispektrální) 15 (panchromatické) | 20 (multispektrální) 10 (panchromatické) | 23 |
| radiometrická hloubka (bit) | 8 | 8 | 7 |
| počet spektrálních pásem | 7 + 1 | 4 + 1 | 4 |
| BLUE | 0.45 – 0.52 μm (TM1) | -- | -- |
| GREEN | 0.53 – 0.61 μm (TM2) | 0.50 – 0.59 μm (XI1) | 0.52 – 0.59 μm (MS1) |
| RED | 0.63 – 0.69 μm (TM3) | 0.61 – 0.68 μm (XI2) | 0.62 – 0.68 μm (MS2) |
| NIR | 0.75 – 0.90 μm (TM4) | 0.78 – 0.89 μm (XI3) | 0.77 – 0.86 μm (MS3) |
| SWIR | 1.55 – 1.75 μm (TM5) | 1.58 – 1.75 μm (XI4) | 1.55 – 1.70 μm (MS4) |
| TIR | 10.4 – 12.5 μm (TM6) | -- | -- |
| SWIR | 2.09 – 2.35 μm (TM7) | -- | -- |
| PAN | 0.52 – 0.90 μm (PAN) | 0.61 – 0.68 μm (M) | -- |
| režim pozorování | pouze vertikální | nastavitelný senzor (do $\pm 31^\circ$) | pouze vertikální |

Jak bylo výše zmíněno, cílem projektu CLC2006 již nebyla samotná databáze pokrytí zemského povrchu, ale především databáze změn mezi lety 2000–2006. Mapování změn bylo prováděno na základě počítačové vizuální interpretace snímků IMAGE2006 s daty IMAGE2000. K vymezení změnových polygonů došlo na základě stávajících polygonů CLC2000, aby se zamezilo vzniku odštípnutých polygonů nebo tzv. falešných změn (Cenia, 2011).

Tento postup detekce změn měl několik výhod. Změny LC jsou interpretovány okamžitě a ne na základě překrytí dvou vytvořených databází, jak tomu bylo u předchozí změnové databáze. Také snížení mapovací jednotky změn umožňuje přesnější detekci změn. Parametry databází CLC1990, CLC2000 a CLC2006 jsou uvedeny v tab. 3.

V této etapě mapování také dochází ke spolupráci s ostatními partnerskými organizacemi, kterým jsou přiděleny dílčí role při tvorbě projektu. Administrativní management zajišťují EEA, ESA a EC. Eionet NRC má na starosti organizaci práce na národní úrovni. Z členů výše zmíněných organizací byl zřízen Řídící výbor (Steering Committee), který je nadřízeným orgánem všech členů zainteresovaných v monitorování pokryvu země (Cenia, 2011).

Tab. 3: Porovnání specifických parametrů jednotlivých databází CLC (zdroj: Cenia, 2011)

| | CLC1990 | CLC2000 | CLC2006 |
|---|--|---|---|
| Družicová data | Landsat-4/5 TM (v některých případech Landsat MSS) - 1 termín | Landsat-7 ETM - 1 termín | SPOT-4 a/nebo IRS LISS III - 2 termíny |
| Čas pořízení dat | 1986–1998 | 2000 +/- 1 rok | 2006+/- 1 rok |
| Geometrická přesnost družicových dat | ≤ 50 m | ≤ 25 m | ≤ 25 m |
| Minimální mapovací jednotka CLC | 25 ha | 25 ha | 25 ha |
| Geometrická přesnost dat CLC | 100 m | lepší než 100 m | lepší než 100 m |
| Tématická přesnost | ≥ 85 % (není ověřena) | ≥ 85 % (ověřena, viz. Büttner, G., Maucha, G., 2006) | ≥ 85 % |
| Mapování změn | N.A. | hranice posunutí min. 100 m; změnová plocha pro existující polygony ≥ 5 ha; izolované změny ≥ 25 ha | hranice posunutí min. 100 m; všechny změny > 5 ha musí být mapovány |
| Doba výroby | 10 let | 4 roky | 1,5 roku |
| Dokumentace | nekompletní metadata | standardní metadata | standardní metadata |
| Přístup k datům | nejasné rozšíření politikou | volný přístup | volný přístup |
| Počet zúčastněných evropských zemí | 26 | 32 | 38 |

KAPITOLA 5

Detekce změn Land Cover

5.1 Metody detekce změn

Použité metody detekce změn se liší v závislosti na typu družicových dat. V případě panchromatických snímků (Nielsen; Conradsen; Simpson, 1998), zachycujících daný region v různých časech, se obvykle změna analyzuje jako rozdíl těchto dvou družicových snímků. Tento jednoduchý rozdíl má však smysl pouze tehdy, pokud jsou data normalizovaná a kalibrována v průběhu času. Oblasti vyznačující se malou nebo dokonce žádnou změnou nabývají při rozdílu nízkých nebo nulových absolutních hodnot, regiony s velkými změnami dosahují vysokých absolutních hodnot. Pokud mají dva vícerozměrné snímky získané ve dvou různých časech proměnné zastoupené vektory X a Y , pak je jejich rozdílem tzv. změnový vektor neboli vektor pásmových rozdílů. Za předpokladu očekávaných hodnot $E\{X\}=E\{Y\}=0$, $X=[X_1 \dots X_k]^T$ a $Y=[Y_1 \dots Y_k]^T$, kde k je počet spektrálních pásem, platí vztah:

$$X-Y=[X_1-Y_1 \dots X_k-Y_k]^T$$

U snímkových dat disponujících více než třemi kanály si lze jen těžko představit výslednou změnu zároveň ve všech pásmech. Možným řešením je použití metody lineární transformace obrazových dat (Nielsen; Conradsen; Simpson, 1998). Hledanou lineární funkcí, maximalizující míru změn, bude ta, která maximalizuje odchylky od žádné změny. Maximalizace celkového rozptylu vede k využití analýzy hlavních komponent (PCA), jež byla vyvinuta v roce 1933 profesorem Haroldem Hotellingem.

Další možností detekce změn, umožňující práci současně s více spektrálními pásmy ve dvou sadách p a q , jsou lineární kombinace:

$$a^T X = a_1 X_1 + \dots + a_p X_p$$

$$b^T Y = b_1 Y_1 + \dots + b_q Y_q$$

Rozdíl mezi dvěma snímky se pak vypočítá jako $D = a^T X - b^T Y$. Obdobně jako u metody hlavních komponent podléhají hledané vektory a a b podmínce maximálního rozptylu $\text{var}|D|$ a zvolenému omezení $\text{var}|a^T X| = \text{var}|b^T Y| = 1$. Tuto formulaci lze implementovat s využitím standardní kanonické korelační analýzy (viz dále). Výše zmíněné opatření se používá pro situace, kdy jednotlivé sady dat pocházejí z různých senzorů odlišných typů družic.

Této schopnosti se dá využít při historicky zaměřených studiích detekce změn série snímků z různých časových obdobích pořízených odlišnými senzory (Nielsen; Conradsen; Simpson, 1998).

5.2 Kanonická korelační analýza

Tato statistická vícerozměrná metoda se dá považovat za rozšíření metody vícenásobné lineární regrese a korelační analýzy. Kanonická korelační analýza se zabývá zkoumáním závislosti mezi dvěma skupinami proměnných (Nielsen; Conradsen; Simpson, 1998).

První z nich je považovaná za soubor závisle proměnných y , druhá za soubor nezávisle proměnných x (URL 16). Na rozdíl od vícenásobné lineární regrese se v kanonické korelační analýze hledá lineární vztah $U_1 = a_1 y_1 + \dots + a_2 y_2 + \dots + a_n y_n$ ve skupině několika závisle proměnných a lineární vztah $V_1 = b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n$ v rámci skupiny nezávisle proměnných. V každé skupině jsou dále vyhledávány takové koeficienty a a b (způsoby jejich volby viz 5.2.1), aby vykazovaly co největší párový korelační koeficient mezi proměnnými U_1 a V_1 .

Tyto proměnné se nazývají první kanonické proměnné, v případě U_1 závisle proměnných y , v případě V_1 nezávisle proměnných x . Korelace mezi nimi je tzv. první kanonická korelace a čtverec této korelace je nazýván vlastní číslo. Jedná se o největší možnou korelaci mezi lineárními kombinacemi více závisle proměnných y a více nezávisle proměnných x . Obě kanonické proměnné mají hodnotu průměru nula (URL 16).

Poté se hledají kanonické proměnné s druhým největším korelačním koeficientem U_2 a V_2 , avšak ty musí navíc splňovat podmínku, že jsou nekorelované s prvními kanonickými proměnnými U_1 a V_1 . Analogicky se U_2 a V_2 nazývají druhé kanonické proměnné, v případě U_1 závisle proměnných y , v případě V_1 nezávisle proměnných x . Korelace mezi U_2 a V_2 se nazývá druhá kanonická korelace (URL 16). Další kanonické korelace a kanonické proměnné jsou definovány obdobně.

Protože jsou odpovídající si páry kanonických náhodných proměnných lineárními kombinacemi původních proměnných, seřazených korelací mezi páry, zdají se být přirozenými pro založení schématu rozdílů mezi těmito páry proměnných (Nielsen; Conradsen; Simpson, 1998).

5.2.1 Způsoby volby koeficientů a a b

Pro nalezení koeficientů a a b lze využít několika metod. T. Fung a E. Le Drew k tomu použili metodu hlavních komponent pro X a Y sloučených do jedné vektorové proměnné. Koeficienty a a b jsou touto metodou definovány současně, avšak její nevýhodou je, že jsou pásma zpracována podobně, ať už pochází z různého nebo stejného časového období. Postupu tedy chybí jasně navržené kritérium.

Další přístup, který navrhl P. Gong, využívá rovněž analýzy hlavních komponent, avšak pro jednoduchý rozdíl snímků (zmíněný výše). Metoda pracuje pouze s normalizovanými nebo

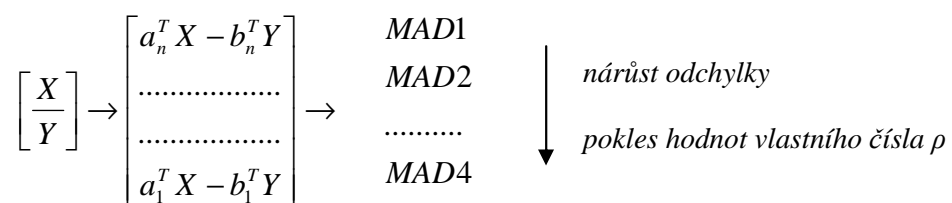
kalibrovanými daty a její výsledky závisí na měřítku, v jakém jsou proměnné naměřeny. Dvě sady proměnných mají potom stejné koeficienty s opačnými znaménky. Tuto metodu nelze použít pro dvojici snímků mající odlišný počet spektrálních pásem (Nielsen; Conradsen; Simpson, 1998).

Jako potenciálně nejvhodnější hodnotí ve svém článku Nielsen (Conradsen; Simpson, 1998) metodu, která využívá principu kanonické korelační analýzy. Stejně jako v prvním uváděném případě definuje sadu a a b současně. Postup je následující: opětovná maximalizace odchylky ($\text{var}[D]$) a požadování jednotkového rozdílu $a^T X$ a $b^T Y$ ($\text{var}(a^T X) = \text{var}(b^T Y) = 1$). Protože jsou hledány podobné kanonické proměnné, musí být $a^T X$ a $b^T Y$ pozitivně korelovány. Z tohoto důvodu odpovídá stanovení rozdílu mezi lineárními kombinacemi s maximální odchylkou stanovení lineárních kombinací s minimální korelací.

5.3 Multivariate Alteration Detection (MAD)

Tento typ techniky sloužící pro přesnější detekci souvislých ploch za pomoci dvojice družicových snímků vytvořili Allan A. Nielsen a Knut Conradson v roce 1997. Implementaci pluginu MAD jako volně stažitelného software do programu e-Cognition provedli odborníci z Technische Universität Bergakademie Freiberg (John; Bachman, 2007). Původně byl tento plugin vytvořen pro pixelově orientovanou detekci, posléze byl však rozšířen i na objektovou detekci. V současné době existují jeho dvě verze, a to pro e-Cognition Developer 7.0 a 8.0.

Transformace MAD využívá tradičních statistických postupů založených na kanonické korelační analýze. Princip metody je následující. Každý ze snímků je popsán vektorem (např. X a Y). Poté se hledají lineární kombinace intenzit pixelů pro všechna pásma, která jsou charakterizována proměnnou U a V . Tyto dvojice proměnných jsou seřazeny na základě korelace a následně je proveden jejich skalární rozdíl $U-V$. Z důvodu maximalizace odchylky a poklesu hodnoty vlastního čísla ρ se nakonec přehodí pořadí rozdílů mezi kanonickými proměnnými (Nielsen, 2007). Konkrétně například veličina MAD1 je rozdílem mezi nejvyšším pořadím kanonických proměnných, MAD2 mezi druhým nejvyšším pořadím kanonických proměnných atd. Pořadí komponent je znázorněno v následujícím schématu (obr.10).



Obr. 10: Schéma pořadí komponent MAD (zdroj: Nielsen, 2007)

Pro N spektrálních pásem je vypočítáno N vlastních čísel, N párů vlastních vektorů a N rozdílů snímků, resp. N komponent MAD. Všechny tyto rozdíly jsou nekorelované a nesou maximální informaci o změnách ve všech proměnných (resp. spektrálních pásmech).

MAD má oproti metodě hlavních komponent (PCA) několik výhod. Veličiny MAD jsou neměnné vůči afinním transformacím (zahrnujícím lineární změny měřítka), což v praxi znamená, že nejsou citlivé na změny v posunu měřicího zařízení nebo na lineární radiometrické a atmosférické korekce režimů. Díky kanonické korelační analýze jsou při transformaci MAD všechna data vážena stejně a celkově je obraz při této analýze vystaven méně zanesení šumem než je tomu u analýzy hlavních komponent. Z toho vyplývá, že je tato transformace účinná v odstraňování nesouvislého šumu v obrazu. Dále MAD vytváří více generalizované rozdíly ve snímcích a je vhodná pro detekci obrysů (Nielsen; Conradsen; Simpson, 1998).

Nevýhodou jak transformace MAD tak PCA je fakt, že obě dvě při detekci změn selhávají v udržení prostorové souvislosti mezi daty. Dochází k tomu z toho důvodu, že jsou obě tyto transformace prováděny jako bodové operace.

Jedním z nabízejících se řešení je po provedení detekce změn pomocí MAD využít postprocessingu MAF (maximum autocorrelation factor), vyvinutého Switzerem a Greenem v roce 1984. Tuto transformaci lze považovat za prostorové rozšíření metody PCA maximalizující autokorelaci mezi sousedními pixely, na rozdíl od PCA, která maximalizuje odchylku. Zachování prostorové souvislosti snímků je vhodné zejména z toho důvodu, že může obsahovat informaci, jež nemusí být po pixelově založených operacích patrná. Další výhodou transformace je stejně jako u transformace MAD oddělení prostorově nesouvislého šumu v určitých kanálech (Nielsen; Conradsen; Simpson, 1998).

5.4 Iteratively Reweighted Multivariate Alteration Detection (IR-MAD)

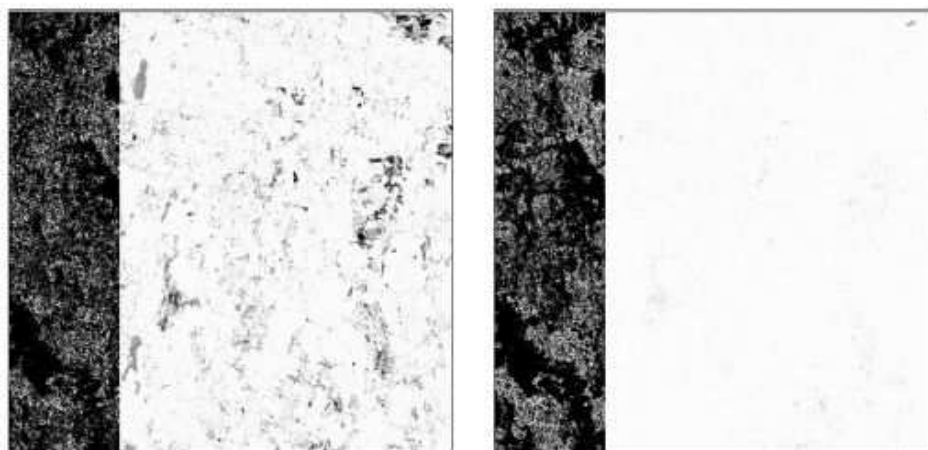
Jedná se o rozšíření původní metody MAD, která se snaží v sérii iterací klást stále větší důraz na oblasti, jejichž změna stavu v čase je obtížněji pozorovatelná. Nejdříve jsou vypočteny běžné kanonické proměnné MAD, poté jsou při následujících iteracích přiřazovány váhy jednotlivým pozorováním. V každé iteraci dochází k výpočtu míry „žádné změny“ založené na součtu čtvercových standardizovaných proměnných MAD. Tato míra dále slouží pro výpočet statistik používaných při transformaci MAD v další iteraci. Velké váhy se zpravidla volí pro pozorování vyznačující se malou změnou, malé váhy pro pozorování s velkou změnou. IR-MAD je taktéž neměnná vůči lineární transformaci původních proměnných. Jejím hlavním smyslem je vytvořit vhodné pozadí beze změn, proti kterému se budou změny detekovat. Tento způsob detekce byl inspirován tzv. boostovacími metodami užívanými často při data miningu (Nielsen, 2007).

Nielsen (2007) pojednává o IR-MAD jako o novém způsobu rozšíření metody MAD a došel na základě praktických příkladů porovnávající výsledky původní metody a iterační vážené metody ke stěžejním závěrům. Iterativní rozšíření využívající váhy na jednotlivá pozorování jednoznačně překonává původní metodu MAD ve schopnosti rozlišovat mezi detekcí změny

nebo žádné změny. Na základě vizuální kontroly a měření průměrné prostorové autokorelace ve čtyřech směrech bylo zjištěno, že proměnné vyššího řádu obsahují mnohem méně šumu v případě IR-MAD. Při posouzení vývoje kanonických korelací v průběhu iterací většina činnosti probíhá v několika prvních iteracích, přičemž první iterace se jeví jako nejvíce důležitá.

Obr. 11 ukazuje srovnání detekce žádné změny původní metodou MAD (vlevo) s iteračním způsobem IR-MAD po 30ti iteracích (vpravo) lineárně roztažených mezi 0 a 1. Jedná se o uměle zkonstruovaný příklad vytvořený ze dvou sad dat Landsat TM o nestejných rozměrech.

Data byla pořízena v letech 1986 a 1988 a pokrývají území severního Švédska. Cílem bylo porovnat, která z metod lépe detekuje nulovou změnu v pravé části snímku. Z obrázků je patrné, že snímek vpravo je méně postižený šumem než je tomu u snímku vlevo a jednoznačně detekuje oblast, v níž ke změně nedošlo (Nielsen, 2007).



Obr. 11: Porovnání výsledků detekce žádné změny metod MAD a IR-MAD po 30ti iteracích
(zdroj: Nielsen, 2007)

KAPITOLA 6

Data a software

6.1 Použitá družicová data

V této práci byly použity družicové snímky vysokého rozlišení, jejichž prostorové rozlišení se pohybuje v řádu desítek metrů. Používají se pro tvorbu map měřítek 1 : 100 000–1 : 25 000. Snímky jsou pořizovány nejen v režimu multispektrálním, ale většinou i v panchromatickém.

Tento typ dat nachází uplatnění v rozsáhlé škále oborů. Například v mapování jednotlivých typů land cover či land use, vývoje a změn krajinného pokryvu, při tvorbě 3D modelů měst nebo digitalního modelu terénu, v oblasti plánování a mapování dopravních staveb nebo v geologicky, ekologicky a geomorfologicky zaměřených studiích.

Pro účely této práce byly použity družicové snímky Landsat 7 a snímky družice Spot 4, pořízené multispektrálním senzorem HRVIR. Tento typ dat byl vybrán proto, že se jedná o vstupní data, která sloužila jako podklad pro tvorbu databáze CLC2000, CLC2006 a změnové databáze CLC Change 2000–2006.

6.1.1 Družice Landsat a jejich parametry

Systém družic Landsat začal jako první pořádat mise do vesmíru za účelem pozorování zemského povrchu a pořizování družicových dat.

První družice *Landsat 1* byla na oběžnou dráhu vypuštěna 23. 7. 1972. O téměř tři roky později došlo k vyslání družice *Landsat 2*, kterou v roce 1978 následovala v pořadí třetí družice *Landsat 3*. Tyto tři družice se souhrnně označují jako družice první generace Landsat. Všechny byly vybaveny téměř stejnou technologickou výbavou, tvořenou senzorem RBV a multispektrálním skenerem MSS, sloužícím pro snímání povrchu Země ve čtyřech spektrálních pásmech s rozlišením 80 m. Družice Landsat 3 měla na rozdíl od předchozích dvou družic prostorové rozlišení 30 m a dvojnásobný počet kamer RBV, které snímaly namísto ve třech samostatných pásmech v jednom širokém spektrálním pásmu, pokrývajícím hodnoty od zeleného do blízkého infračerveného pásma. Skener MSS umožňoval snímat navíc páté termální pásmo. Tato funkce však brzy po startu družice selhala (URL 17).

V červenci 1982 byla do vesmíru vypuštěna družice *Landsat 4*, která započala éru družic druhé generace. Tato družice byla vybavena skenerem MSS a novějším senzorem TM namísto kamerového systému RBV. Výhodou senzoru TM je možnost snímání na sedmi kanálech s prostorovým rozlišením 30 m. První čtyři kanály snímají data ve viditelné části spektra, pátý v blízkém IČ, sedmý ve středním IČ a šestý v tepelném pásmu (URL 13).

Landsat 5, který byl na oběžnou dráhu vynesena v březnu 1984, byl vybaven stejnými přístroji jako družice *Landsat 4*. Na rozdíl od všech předchozích družic je stále funkční, i když pořizuje snímky pouze jedním senzorem TM (URL 17).

Družice *Landsat 6*, vyslaná roku 1993, byla vybavena novým skenerem ETM, který umožňoval pořizování snímků i v panchromatickém režimu. Bohužel došlo při startu ke komplikacím a tato družice se na oběžnou dráhu vůbec nedostala (URL 17).

Poslední družicí tohoto programu je družice *Landsat 7*, vyslaná v roce 1999. Novinkou je vylepšená verze skeneru ETM, jež nesl na palubě *Landsat 6*. Skener ETM+ umožňuje pořizovat snímky na osmi kanálech a poskytuje data kalibrovaná s přesností lepší než 5 % (URL 13). Společným znakem všech družic *Landsat* je pohyb po slunečně – synchronní dráze, blízké dráze polární.

V prosinci 2012 plánuje vláda USA vypustit další družici *Landsat 8* (neboli LDCM), která by měla sloužit jako náhrada *Landsat 5* a *Landsat 7*, které již vykazují závady (URL 17).

Data družice *Landsat* jsou poskytována ve třech kategoriích předzpracování (URL 13):

- **úroveň 0R:** Jedná se o data neupravená a v základním formátu. Součástí je kalibrační protokol.
- **úroveň 1R:** Na této úrovni již data prošla radiometrickými korekcemi, avšak stále jsou bez geometrických úprav. Kalibrační protokol obsahuje údaje např. o aparatuře, funkci zrcátka, vnitřním kalibračním zářivém zdroji.
- **úroveň 1G:** Data jsou radiometricky a geometricky upravená. Došlo k převzorkování hodnot pixelu a transformaci do zvoleného mapového zobrazení.

6.1.2 Družice Spot a jejich parametry

Série satelitů *Spot* byla navržena společností CNES. V roce 1982 vznikla francouzská společnost *Spot Image*, která má na starosti provoz těchto družic a distribuci získaných dat v současné době již do padesáti zemí (URL 14).

Systém *Spot* byl uveden do provozu 22. 2. 1986, kdy byla vypuštěna první družice *Spot 1*. Snímky byly touto družicí pořizovány pomocí dvou elektronických senzorů HRV umožňujících získat současně barevných i černobílých dat na území širokém 117 km. Družice *Spot 1* však plnila svou funkci pouhých sedm let. V roce 1990 byl na oběžnou dráhu vypuštěn *Spot 2*, který disponoval stejným technickým vybavením jako jeho předchůdce. O čtyři roky později byl vypuštěn *Spot 3*, jež nesl na své palubě rozsáhlejší technické vybavení v podobě navigačního systému DORIS a zařízení POAM II (URL 14).

K zásadnímu zlomu dochází 24. 3. 1998 v souvislosti s vypuštěním další, v pořadí čtvrté družice Spot. Ta byla oproti předchozím družicím vybavena senzorem HRVIR umožňujícím poskytovat data v lepším radiometrickém rozlišení především díky novému krátkovlnnému infračervenému spektrálnímu pásmu (SWIR). Novinkou na palubě *Spot 4* byl výskyt dalšího skeneru VEGETATION, který se v porovnání s HRVIR liší prvním pásmem (místo zeleného má modré). Pomocí navigačního software DIODE došlo k vylepšení a zpřesnění navigačního systému DORIS (URL 14).

V květnu roku 2002 byla na oběžnou dráhu vypuštěna poslední družice ze série Spot, a to *Spot 5*. Tato družice, stejně jako její předchůdci, obíhá Zemi po heliosynchronní dráze. V souvislosti s rychlým tempem technologického vývoje byla tato družice vybavena skenerem HRG, který poskytuje data v lepším prostorovém rozlišení a snímá řádky s polovičním překrytím. Systém GPS zvýšil polohovou přesnost na hodnotu menší než 50 m. Data pořízená senzorem HRS poskytují díky šikmému snímání území před a za družicí během jednoho přeletu dvojici snímků, která nachází využití při tvorbě digitálního modelu terénu (URL 14).

Firma Spot Image v současné době poskytuje data ve třech úrovních zpracování (URL 8):

- **úroveň 1A:** Na datech byly provedeny pouze radiometrické korekce zkraslení bez geometrického zpracování obrazu.
- **úroveň 1B:** Kromě radiometrických korekcí byly na datech provedeny geometrické korekce systematických vlivů (jako je např. zakřivení Země a rotace). Došlo také k úpravě vnitřního zkraslení obrazu z důvodu měření vzdáleností, úhlů a zemských ploch.
- **úroveň 2A:** Po radiometrické korekci byla na datech provedena nezávisle na zemských kontrolních bodech geometrická korekce v standardní kartografické projekci (defaultně UTM WGS 84).

6.2 Databáze CLC

Poněvadž patří databáze Corine ke stěžejnímu zdroji poskytujícímu informace o stavu, vývoji a změně land cover na území České republiky, bylo součástí práce nastudování a v rámci kap. 4 popis metodiky tvorby této databáze.

Konkrétně byla použita data CLC2000, a to při segmentaci obrazu z důvodu tvorby polygonů v rámci tříd definovaných v této databázi. Dále byla v práci využita Corine Land Cover Change 2000–2006 pro účely porovnání detekovaných změn v této databázi a dosažených výsledků.

6.3 Software

Při práci se snímky byly využity dva stěžejní software. Pro celkovou předpřípravu snímků zahrnující sloučení pásem, převzorkování a reprojekci byl využit program Geomatica 10.0 a pro objektově orientovanou klasifikaci a vyhodnocení změn land cover byl použit software e-Cognition Developer ve verzi 8.0.

6.3.1 Geomatica

Kanadská firma PCI Geomatics byla založena roku 1982. Zaměřuje se především na vývoj software, který je možné využít v odvětvích jako je dálkový průzkum Země, digitální fotogrammetrie, zemědělství, GIS, kartografie a v dalších oborech využívajících prostorové analýzy pro získání informací o zemském povrchu (URL 18). Jedná se o komerční software, jež není závislý na hardware, podporuje velké množství datových formátů a umožňuje uživatelům přizpůsobit si aplikace tohoto programu nebo dokonce vytvořit vlastní (URL 10).

Program je tvořen několika integrovanými moduly, z nichž mezi nejdůležitější patří Focus, OrthoEngine, Modeler, EASI. Focus je hlavní prostředí sloužící pro úpravu dat, jejich vizualizaci a analýzu, a následné vyhodnocení například ve formě mapy (URL 10).

6.3.2 e-Cognition

Jedná se o jediný software, který v současné době umožňuje zpracování obrazových dat nejen na pixelové, ale i na objektové úrovni. Tato technologie byla vyvinuta skupinou vědců pod dohledem Prof. Dr. Gerda Binniga, jednoho ze zakladatelů společnosti Definiens, a mimo jiné také nositele Nobelovy ceny za fyziku v roce 1986 (URL 9).

Tento komerční software má kromě dálkového průzkumu Země rozsáhlé možnosti uplatnění i v mnoha jiných odvětvích. Využívá se pro zjištění rychlých a přesných informací pocházejících z různých typů snímků – od družicových snímků Země až po snímky lidského těla zahrnující vzorky tkáně nebo testování buněk (URL 3).

Jedná se o platformu, na které jsou postaveny a vykonávány aplikace provádějící analýzu obrazu. Program umožňuje širokou škálu polo či plně automatizovaných aplikací – od pouhého prohlížení, přes segmentaci obrazu, vyhodnocení a („fuzzy“) klasifikaci objektů z leteckých a družicových snímků včetně možnosti návrhu a tvorby klasifikačních schémat a výpočetně náročných úloh (URL 3).

V rámci softwarové řady Definiens Enterprise Image Intelligence™ Suite rozlišujeme tyto produkty: e-Cognition Developer, Architect, Analyst, Viewer.

V této práci byl využit pouze první ze zmíněných produktů – e-Cognition Developer. Jedná se o výkonné integrované vývojové prostředí používané pro objektové analýzy obrazových dat. Obsahuje sbírku dynamicky kombinovatelných algoritmů, jež umožní rychlejší vývoj aplikací geoprostorové analýzy. Disponuje funkcemi a nástroji, které je možné využít pro běžné analýzy, jako je mapování vegetace, zisk a práce s příznaky nebo detekce změn krajinného pokryvu (URL 19).

KAPITOLA 7

Metodika

7.1 Výběr lokalit

Na území České republiky došlo mezi lety 2000–2006 v porovnání s předchozím sledovaným obdobím (1990–2000) k výraznému poklesu intenzity změn pokryvu země, kdy se celková roční změna LC více než dvojnásobně snížila (URL 6). Z obecného hlediska probíhají nejvýznamnější změny v ČR v rámci tří stěžejních kategorií – lesy (35 % povrchu), zemědělská půda (58 %) a umělé povrchy (6 %). V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty těchto tříd ve dvou referenčních rocích a jejich změny během tohoto období.

Tab. 4: Vývoj ploch vybraných tříd LC mezi lety 2000–2006 na území ČR (100 ha) (zdroj:URL 6)

| | LC2000 | LC2006 | Výsledná změna |
|-----------------------------------|--------|--------|----------------|
| Umělé povrchy | 4932 | 5019 | 87 |
| Orná půda a trvalé kultury | 31219 | 30572 | -647 |
| Louky a pastviny | 14018 | 14549 | 531 |
| Lesy | 27755 | 27787 | 32 |
| Polopřirodní vegetace | 297 | 289 | -8 |

Hlavní trendy ve změnách pokryvu země na území ČR jsou popsány v následujících třech kategoriích:

Lesy a polopřirodní oblasti (Forest and semi-natural areas)

V minulosti bylo velkým fenoménem kácení lesů s cílem zisku půdy a dřeva používaného v dřevařském průmyslu. Poté, co vešly v platnost zákony omezující kácení lesů bez jejich opětovného zakládání, dochází k celkově mírnému nárůstu zalesněných ploch. Současně jsou však lesy v určité míře spotřebovány v souvislosti s těžbou nerostných surovin, skládkami a zástavbou (URL 6). Dominujícími změnovými faktory v této kategorii jsou dvě protichůdné situace – jak přeměna lesů na nízký lesní porost, tak i změna nízkého porostu na les. Druhý zmíněný trend má převažující charakter, což dokazuje kladná hodnota výsledné změny kategorie lesy v tab. 4. Pro detekci obou typů změn byla vybrána *testovací oblast č.1*, která se nachází západně od vodní nádrže Slezská Harta v okrese Bruntál.

Zemědělské plochy (Agricultural areas)

V této kategorii dominuje proces vnitřní přeměny orné půdy na louky a pastviny, který je rovněž podporován vládními dotacemi. Z tohoto důvodu je hodnota výsledné změny pastvin a luk velké kladné číslo a hodnota orné půdy naopak záporná. Trend zatravnění orné půdy je typický zejména pro vrchoviny nacházející se poblíž hranic – Jeseníky, Beskydy nebo předhůří Šumavy (URL 6). Pro detekci změn orné půdy na louky a pastviny byl vybrán výřez oblasti (*testovací oblast č.2*) nacházející se severně od města Rýmařov, situovaný v předhůří Jeseníků taktéž v okrese Bruntál.

Urbanizovaná území (Artificial areas)

Typickým jevem současnosti je rozsáhlá výstavba umělých ploch spojená se záborem zemědělské půdy. V období let 2000–2006 se zastavěná plocha realizovala z 33 % na pastvinách a z 58 % na orné půdě. Intenzita rozvoje umělých ploch se v porovnání s obdobím 1990–2000 téměř zdvojnásobila. V rámci této třídy dochází nejčastěji ke vzniku podtříd v následujícím pořadí: konstrukční plochy, komerční a průmyslové stavby, obytné budovy, dále tvorba míst zaměřujících se na těžbu nerostných surovin a nakonec budování rekreačních a sportovních zařízení. K nárůstu uměle přetvořených ploch dochází ve zvýšené míře v blízkosti velkých měst, jako je Praha, Brno, Ostrava, Hradec Králové nebo těžební oblasti severozápadních Čech (URL 6). Jako *testovací oblast č.3* byla vybrána lokalita severně od Ostravy, ve které již několik let dochází k výstavbě dálnice D1. Oblast se nachází na pomezí okresů Karviná, Opava a Ostrava.

Všechna vybraná testovací místa patří do Moravskoslezského kraje. Tato lokalita byla vybrána proto, že se jedná o vhodné území pro sledování tří hlavních změnových trendů v ČR. Umístění výřezů v podobě souřadnic bude blíže specifikováno v podkap. 7.2.1.

7.2 Předpříprava dat

Jak bylo zmíněno v kap. 6, byly v této práci použity též snímky Landsat 7 a Spot 4, které sloužily pro tvorbu databáze CLC. Pro účely multitemporálního srovnání bylo pracováno s celkem čtyřmi družicovými snímky pro každou oblast. Dva z nich byly pořízeny družicí Landsat 7 v roce 2000 a zbylé dva družicí Spot 4 roku 2006. Části scén prvního snímku Landsat a obou snímků Spot byly poskytnuty společností GISAT ve formátu pix. Podzimní snímek Landsat byl stažen z webových stránek GLCF ve formátu GeoTIFF.

První snímek Landsat byl pořízen v květnu roku 2000 senzorem ETM+. Původně obsahoval osm spektrálních pásem včetně panchromatického, ale kvůli porovnání se snímky Spot byla použita jen čtyři pásma – GREEN, RED, NIR, SWIR. Původně měl snímek prostorové rozlišení 25 m a souřadnicový systém UTM WGS 84. Z důvodu odlišných hodnot rozlišení i souřadnicového systému byla data Landsat převzorkována (metodou nearest neighbor) na

hodnotu 20 m a reprojektována na systém Křovák Negativ (KRON). K tomu byl použit nástroj *Reprojecting* v sekci *Tools*, který se nachází v modulu Focus softwaru Geomatica.

Druhý snímek Landsat byl pořízen stejným senzorem v srpnu 2000. Poněvadž byla tato scéna stažena v komprimovaném souboru zip, ve kterém bylo každé pásmo uloženo zvlášť jako GeoTIFF, bylo nutné pásma nejprve sloučit. V modulu Focus se pro sloučení pásem používá funkce *Data Merge* v nabídce *Tools*. V dalším kroku byla sloučena jen požadovaná čtyři pásma, jejichž prostorové rozlišení 28,5 m (po převzorkování) bylo stejnou metodou jako předchozí Landsat znovu převzorkováno, a to na 20 m a souřadnicový systém UTM WGS 84 byl změněn na systém KRON. Oba snímky Landsat byly pořízeny v původním prostorovém rozlišení 30 m. Poněvadž nepochází ze stejného zdroje, bylo jejich rozlišení převzorkováním změněno na odlišné hodnoty. Opětovné převzorkování těchto dat může mít vliv na kvalitu obou snímků.

První snímek družice Spot 4 byl pořízen senzorem HRVIR na jaře roku 2006, druhý snímek byl nasnímán stejným senzorem v září 2006. Data byla poskytnuta v prostorovém rozlišení 20 m a v souřadnicovém systému KRON. Oba snímky disponují čtyřmi spektrálními pásmy – GREEN, RED, NIR, SWIR. Data stejného rozlišení, pouze v systému S-JTSK, byla na území ČR použita pro aktualizaci CLC2006 a tvorbu CLC Change 2000–2006. Proto byly snímky Landsat, ať už z hlediska rozlišení nebo volby souřadnicového systému, přizpůsobeny parametrům dat Spot.

Všechna data poskytnutá společností GISAT prošla ortorektifikací a stejným typem radiometrických i geometrických korekcí. Geometrická přesnost obou typů použitých satelitních snímků je ≤ 25 m. V případě druhého snímku Landsat, staženého ze stránek GLCF, bylo prostřednictvím protokolu NASA's Global Orthorectified Landsat Data Set zjištěno, že se také jedná o data ortorektifikovaná a radiometricky i geometricky upravená. Uváděna polohová přesnost je < 50 m. Provedení geometrických korekcí na všech snímcích bylo ověřeno na základě jejich překryvu. V rámci něj bylo zkoumáno, zda si hranice prvků stabilních v čase odpovídají.

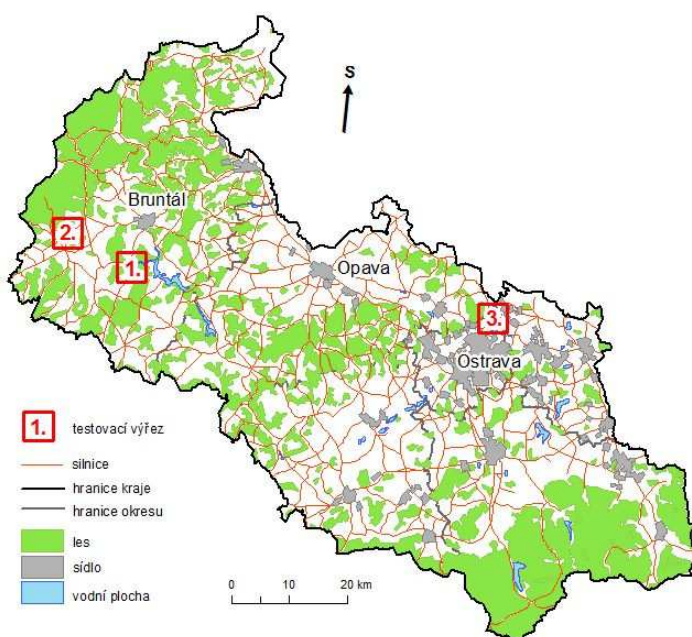
Provedení atmosférických korekcí bylo ověřeno zjištěním DN hodnoty pásma NIR v oblasti vodní nádrže Slezská Harta. V ideálním případě by se měla tato hodnota detekovaná ve středu vodní plochy přibližovat nule. Poněvadž byla ke konci července 2006 v nádrži zjištěna zhoršená kvalita vody (stupeň tři z pěti), která není vhodná ke koupání, bylo zřejmé, že bude výsledná hodnota vyšší v důsledku znečištění. V případě prvního snímku Landsat byla zjištěna hodnota 10, u druhého snímku Landsat 12 a u obou snímků Spot 15. Na základě hodnot s přihlédnutím na stav znečištění vodní nádrže lze předpokládat, že byly atmosférické korekce u všech snímků provedeny.

7.2.1 Tvorba výřezů testovacích oblastí

Po předchozím vytipování vhodných lokalit byly provedeny jejich výřezy na všech čtyřech snímcích. K tomu byl použit nástroj *Clipping/Subsetting* opět z nabídky *Tools* v modulu Focus softwaru Geomatica. Výřezy byly z důvodu porovnání se změnou databázi Corine zvoleny

tak, aby obsahovaly dostatečný počet změnových polygonů a měly při závěrečném hodnocení přesnosti vypovídající hodnotu.

U každé testovací oblasti byly na jednom snímku manuálně definovány souřadnice levého horního rohu a zvoleny požadované rozměry výřezu. Protože se jedná o oblasti určené k testování metody detekce změn MAD, bylo vhodné zvolit výřezy menších rozměrů, které by umožňovaly snáze pochopit funkčnost sledované metody. Velikost výřezů byla zvolena 250×250 px, což se jeví pro účely otestování dané metody jako dostačující. Rozloha každé oblasti tak činí 25 km². Všechny výřezy družicových snímků jsou součástí příloh 2–4. Přesnou lokalizaci vybraných území v rámci Moravskoslezského kraje znázorňuje obr. 12.



Obr. 12: Mapový zákres vytípaných testovacích oblastí (zdroj: vlastní)

Následoval výběr příslušných pásem a nastavení výchozího formátu na pix. Zbylé tři snímky byly potom ořezány podle prvního vytvořeného výřezu. Geokódované i zeměpisné souřadnice testovacích oblastí jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5: Porovnání souřadnic tří testovacích oblastí (zdroj: vlastní)

| | Geokódované souřadnice | | Zeměpisné souřadnice | | | |
|---|------------------------|------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | | levý horní roh | | pravý dolní roh | |
| 1 | -532700 E | -1084280 N | 49°56'24,01" s.š. | 17°24'06,18" v.d. | 49°53'58,53" s.š. | 17°28'39,88" v.d. |
| 2 | -543840 E | -1078440 N | 49°58'56,77" s.š. | 17°14'21,16" v.d. | 49°56'31,68" s.š. | 17d18'55,58" v.d. |
| 3 | -470080 E | -1093160 N | 49°54'42,66" s.š. | 18°16'53,50" v.d. | 49°52'15,15" s.š. | 18°21'24,39" v.d. |

Pozn.: čísla 1, 2, 3 značí jednotlivé testovací oblasti v pořadí, v jakém byly definovány v podkapitole 7.1.

7.3 Postup detekce změn

Technický report EEA z roku 2007 obsahuje pokyny pro tvorbu aktualizované databáze pro rok 2006, která byla vytvořena integrací dat CLC2000 se změnovou databází CLC Change 2000–2006. Protože byla k detekci změnových polygonů této databáze využita jiná družicová data než pro tvorbu CLC2000, je součástí tiskové zprávy tabulka s kombinacemi pásem s cílem získání podobných barev pro účely vizuální interpretace. V této práci byla pásma snímků Landsat a Spot zobrazena na základě tab. 6.

Tab. 6: Doporučené kombinace pásem pro zobrazení snímků (zdroj: Cenia, 2011)

| | Landsat ETM+ | Spot 4 | IRS P6 LISS III | Spektrální pásmo |
|--------------|--------------|---------|-----------------|------------------|
| RED | pásmo 4 | pásmo 3 | pásmo 3 | NIR |
| GREEN | pásmo 5 | pásmo 4 | pásmo 4 | SWIR |
| BLUE | pásmo 3 | pásmo 2 | pásmo 2 | RED |

7.3.1 Segmentace obrazu

Pro účely detekce změn z družicových dat bylo nutné snímky nejprve rozdělit na menší části – segmenty. Prvním krokem bylo provedení segmentace *chessboard* dle tématické vrstvy, kterou tvořila databáze CLC2000. Tím bylo zajištěno, že budou změnové segmenty náležet do polygonů vymezených hranicemi této databáze. Velikost objektů byla nastavena na vysokou hodnotu, aby algoritmus správně detekoval hranice polygonů na základě databáze CLC2000. Tyto vytvořené polygony sloužily především pro představu rozmístění tříd v rámci každého z výřezů, avšak nebylo pomocí nich možné provést samotnou detekci změn.

Z tohoto důvodu musela být následně provedena ještě segmentace *multiresolution*, vytvářející objekty postupným slučováním pixelů nebo stávajících obrazových objektů. Algoritmus pro daný počet objektů v obrazu minimalizuje průměrnou heterogenitu a maximalizuje jejich homogenitu. Poněvadž byly k dispozici dvojice snímků pro každý referenční rok, byla jako vstupní data zvolena všechna pásma čtyř snímků (8 pro rok 2000 a 8 pro rok 2006). Jednalo se tedy o segmentaci multitemporální¹, která bere při tvorbě segmentů v úvahu spektrální charakteristiky všech šestnácti pásem. Účelem tohoto rozhodnutí bylo zjistit, zda detekce změn multitemporálních dat neposkytne lepší výsledky než porovnání multispektrálních dat, jež bylo mimo jiné provedeno v rámci CLC2006 a CLC Change 2000–2006.

Aby vytvořené segmenty co nejvíce odpovídaly polygonům (resp. změnám) na snímcích, bylo vhodné vytvořit objekty menších rozměrů, které bude možné v případě potřeby sloučit pomocí nástroje *merge*. Z tohoto důvodu byla hodnota *scale parametru*, definujícího velikost vytvořených segmentů, nastavena na číslo 6.

¹ V této práci je pod termínem multitemporální myšleno použití všech čtyř pásem každého snímku jarního a podzimního období.

Dále bylo nutné zvolit parametry *colour* a *shape*, jenž se dále dělí na *compactness* a *smoothness*. Vzhledem k tomu, že se proces automatické detekce změn provádí na základě hodnot odrazivosti, bylo kritérium *colour* nastaveno na 0,8 a hodnota *shape* na 0,2. I když je důležitějším faktorem při vzniku segmentů barva, přece jen byla hodnota *shape* změněna oproti defaultnímu číslu 0,1, aby algoritmus vytvořil tvarově optimální polygony. Hodnoty parametrů *compactness* a *smoothness* byly ponechány tak, jak byly nastaveny defaultně, a to 0,5.

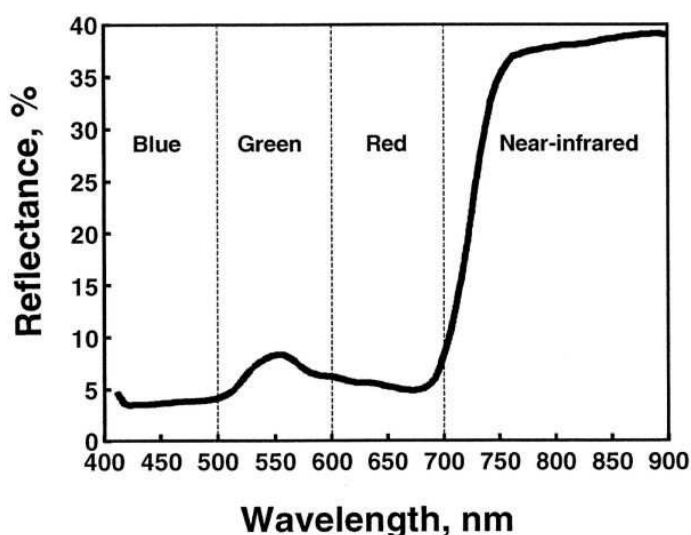
7.4 Detekce změn pomocí vegetačních indexů

Před samotným testováním metody MAD byla provedena detekce změn pomocí vegetačních indexů. Tyto indexy patří k užitečným indikátorům stavu, množství a zdraví vegetace v krajině. Z důvodu přehlednosti a úspory místa byly následující obrázky zmenšeny na velikost 200×200 px.

7.4.1 NDVI

Jako první byl proveden výpočet normalizovaného diferenčního vegetačního indexu NDVI. Ten dává při výpočtu do poměru spektrální odrazivost pásem NIR a RED (vzorec se nachází v podkapitole 3.2), mezi nimiž dochází k charakteristickému přechodu hodnot odrazivosti (obr. 13).

V software e-Cognition se dá tento index vypočítat v okně Image Object Information pomocí *Select Features to Display– Object Features–Create new ‚Arithmetic Feature‘*. Konkrétně byly použity průměrné hodnoty segmentů vytvořených v předchozím kroku.



Obr. 13: Nárůst odrazivosti (reflectance) vegetace mezi pásmy RED a NIR (zdroj: URL 15)

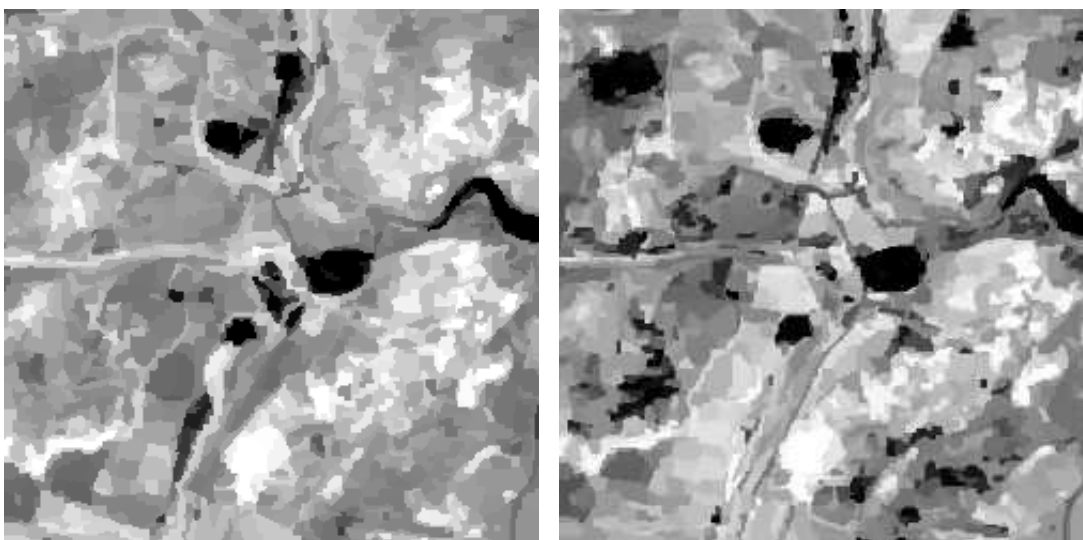
Pro detekci změn tímto způsobem byla vybrána jarní scéna *testovací oblasti č.1*, zaměřující se na změny v rámci třídy lesy a polopřírodní oblasti. Obecně platí, že se hodnoty NDVI pohybují v rozmezí (-1,1). U vegetace by však hodnota neměla klesnout pod nulu. Pokud se

v pixelu nachází značně hustá vegetace, hodnota NDVI se blíží jedné. Nula indikuje, že se v daném pixelu vegetace nevyskytuje (Malíková, 2010).

Obr. 14 naznačuje v odstínech šedi velikost indexu NDVI snímků jarní scény Landsat a Spot. Vzhledem k charakteru testovacího území byly zjišťovány hodnoty NDVI pouze ve třídách 3.1 lesy a 3.2.4 nízký porost v lese.

Světlejší plochy levého snímku označují místa, která dosahují vyšších hodnot indexu. Jedná se o oblasti s větším množstvím vegetace, zahrnující louky a pastviny, les a křoviny. Nejvyšších kladných hodnot dosahuje smíšený les (0,631) a les listnatý (0,605). Záporné hodnoty indexu (černou barvou) indikují vodní plochy, dále pak oblasti stavenišť a zástavby. Na základě výše zmíněných informací by polygony s vegetací měly dosahovat hodnot vyšších než 0. V případě jehličnatého lesa, nacházejícího se těsně vedle vodní nádrže Slezská Harta, však tři polygony dosahují hodnot ≤ 0 . Poněvadž se jedná o polygony vymezené v rámci CLC2000, mohlo k těmto nepřesnostem na pomezí tříd jehličnatého lesa a vodní plochy dojít vlivem segmentace, rasterizace či nejednoznačné detekce pobřežní linie.

U snímku Spot dosahují všechny polygony vybraných tříd vegetace hodnot vyšších než 0. Nejvyšší hodnoty indexu byly dosaženy opět v kategorii smíšený a listnatý les (0,688 a 0,678). Stejně jako v předchozím případě se jeví vodní plochy a umělé povrchy jako černé, mající záporné hodnoty indexu NDVI. Černou barvou jsou kromě těchto ploch znázorněny i změnové polygony v rámci lesů. Ty však dosahují kladných hodnot, i když mírně nižších, poněvadž se stále jedná o vegetaci, byť v jiné formě.



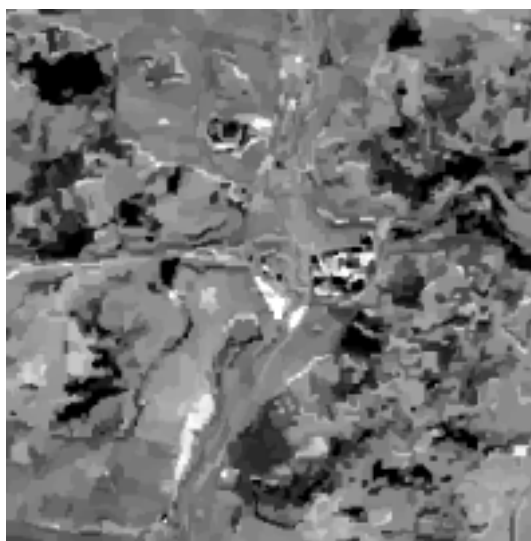
Obr. 14: NDVI snímku Landsat (vlevo) a Spot (vpravo) (zdroj: vlastní)

Metoda NDVI poskytuje uspokojivé výsledky pro detekci změn v rámci vegetace, při které využívá typické změny odrazivosti pásem NIR a RED. Protože však i pásma GREEN a SWIR nesou důležité informace přispívající k přesnější detekci změn krajinného pokryvu, slouží tento

příklad pouze jako ukázka. V podkap. 7.5.1 bude tento výsledek možné porovnat s detekcí změn pomocí metody MAD za použití pásem NIR a RED.

7.4.2 Tasseled Cap

Stejně jako v předchozím případě byla detekce změn touto metodou aplikována na jarní scénu *testovací oblasti č.1*. V programu Geomatica byla v sekci *Tools/Algorithm Librarian* vyhledána transformace *Tasseled Cap*. Jako vstupní data byla použita čtyři pásma jarní scény Landsat a čtyři pásma odpovídajícího snímku Spot, ze kterých byla pro každý ze snímků vypočítána lineární kombinací tři pásma nová – Brightness, Greeness, Yellowness. Výsledná transformace třetího pásma (Y) byla mimo rozsah hodnot, které mohou být uloženy ve výstupním kanálu, proto bylo nutné změnit tento rozsah nastavením parametru *scaling mode* na *auto*. Při volbě tohoto módu dochází k lineárnímu roztažení hodnot v plném rozsahu výstupního kanálu. Na nově vzniklá pásma byl poté v prostředí e-Cognitionu aplikován nástroj MAD (více v podkap. 7.5). Výsledkem byly tři komponenty, z nichž stojí za zmínku pouze druhá komponenta MAD (obr. 15).



Obr. 15: Komponenta MAD2 po transformaci *Tasseled Cap* a MAD (zdroj: vlastní)

Výše uvedený obrázek nastiňuje výsledek získaný po použití dvou metod detekce. Tmavé plochy na snímku dosahují nízkých záporných až nízkých kladných hodnot a představují změnové plochy v rámci vegetace. Při pokusu zvolit vhodnou mez (filtrující pouze hodnoty této komponenty $\geq -0,7$) a vyklasifikovat pouze tyto změny nebylo možné nalézt přiměřenou hranici. Uvedená komponenta totiž detekuje větší množství změnových polygonů než jich ve skutečnosti je. To bylo ověřeno na základě vizuálního porovnání použitých družicových snímků s využitím kombinace pásem zmíněné v tab. 6.

7.5 Detekce metodou MAD

Multivariate Alteration Detection je metoda neřízené automatické detekce změn. V e-Cognitionu tato metoda není běžnou součástí sady poskytovaných nástrojů, ale je možné ji do programu implementovat pomocí pluginu ve formátu dll. Návod na instalaci pluginu včetně základů jeho použití je popsán v pdf souboru *MAD-Transformation Plugin for Definiens Developer 7.0*. Tento algoritmus vytvořili dva němečtí studenti André John a Florian Bachman z Freiberg University of Mining and Technology v rámci své diplomové práce. Plugin je dostupný pro verzi e-Cognitionu 7.0 a 8.0 a je možné jej volně stáhnout z webových stránek této univerzity. Pro verzi e-Cognition 8.0 se plugin na stránkách vyskytuje v aktualizované podobě (IR-MAD) s možností volby vah na základě velikosti objektu. Metoda MAD byla využívána i před vytvořením tohoto pluginu, např. v prostředí programu ENVI. V této části práce bylo testováno, jak funguje algoritmus MAD v programu e-Cognition a jakým způsobem provádí detekci změn LC, resp. jaké informace o změnách nesou jednotlivé komponenty.

Po překopírování pluginu do příslušné složky byl nástroj přiřazen do sekce algoritmů nazývaných *Variables Operation*. Tuto nabídku je možné zobrazit v okně Process Tree pomocí *Append new*. Zde byla po vybrání příslušného algoritmu (IR-MAD Transformation) zvolena segmentace vytvořená v předchozím kroku, na jejímž základě pak došlo k výpočtu kanonických korelací hodnot odrazivosti zvolených spektrálních pásem. Dále byla jako vstupní data vybrána pásma snímku pořízeného v roce 2000 a v dalším poli pásma pro snímek pocházející z roku 2006. Konkrétně byly zvoleny hodnoty průměru jednotlivých pásem. Na základě počtu zvolených pásem byl vytvořen odpovídající počet nově vzniklých komponent MAD. V této práci bylo použito následující označení: První komponenta MAD1, druhá MAD2, třetí MAD3, čtvrtá MAD4 atd.

Poté bylo možné zvolit další parametry, např. použití velikosti objektů jako dodatečného váhového faktoru - větší objekty mohou mít větší pravděpodobnost žádné změny, nebo mají naopak větší pravděpodobnost „nezměny“ objekty menších rozměrů. Obě tyto varianty byly v práci vyzkoušeny, a poněvadž volba vah neměla téměř žádný vliv na konečný výsledek, nebyly tyto parametry zvoleny pro další zpracování. Stejně tomu bylo u možnosti volby výpočtu χ^2 proměnné, reprezentující χ^2 hodnoty objektu.

Protože algoritmus MAD počítá lineární kombinace všech spektrálních pásem, mohou být výsledné koeficienty buď pozitivní nebo negativní. Pokud jsou tyto hodnoty rozmístěny blízko nuly, pak indikují žádnou změnu. Nespornou výhodou tohoto algoritmu je fakt, že dokáže pracovat s daty, která nebyla pořízena za stejných podmínek nebo u kterých nebyly provedeny kalibrace či atmosférické korekce. Tato metoda si s těmito odlišnostmi dokáže poradit díky výpočtu kanonických proměnných U a V (viz podkap. 5.2 a 5.3), což může znamenat usnadnění práce při předpřípravě a synchronizaci dat.

V této práci byly metodou MAD nejprve zkoumány změny s využitím pouze dvou vstupních pásem každého snímku – RED, NIR. Poté byly detekce změn prováděny pro všechna čtyři pásma, tak, jak to bylo provedeno při tvorbě změnové databáze Corine. Z toho vyplývá, že

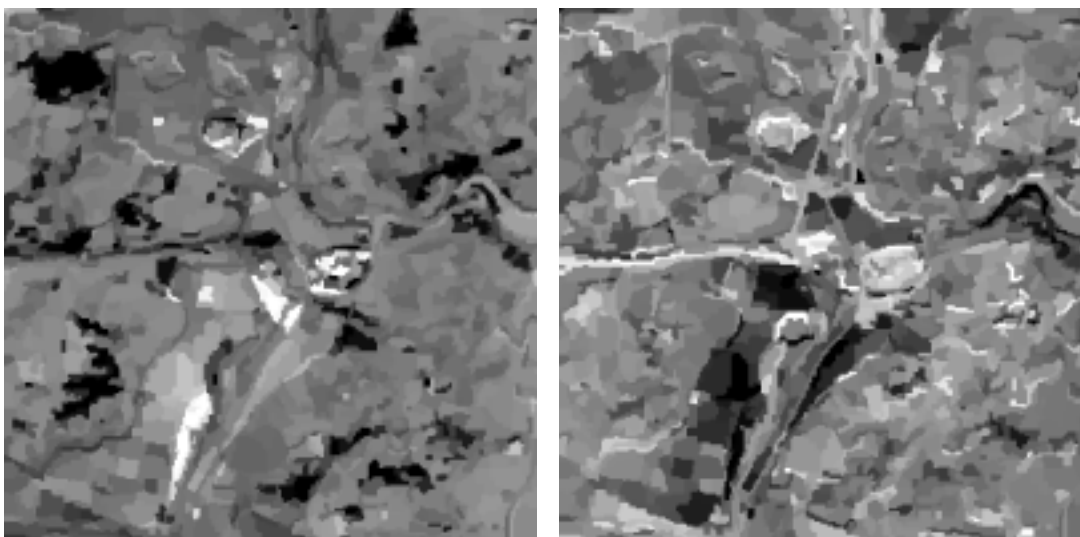
byla Corine vytvořena pouze z multispektrálních dat využívající čtveřici pásem pro každý snímek. Poněvadž byla pro tuto práci poskytnuta dvojice snímků jak pro jarní, tak pro podzimní období, bylo možné provést detekci změn LC s využitím multitemporálních dat a zjistit, zda v porovnání s multispektrální detekcí poskytuje srovnatelné, lepší nebo naopak horší výsledky. Obrázky v textu jsou opět upraveny na velikost 200×200 px.

7.5.1 Testovací oblast č. 1

JARNÍ SCÉNA – 2 : 2

Algoritmus MAD vygeneroval pouze dvě komponenty, protože byla jako vstupní data použita jen dvě pásma snímků Landsat a Spot. Každá z komponent obsahuje specifické informace o změnách krajinného pokryvu.

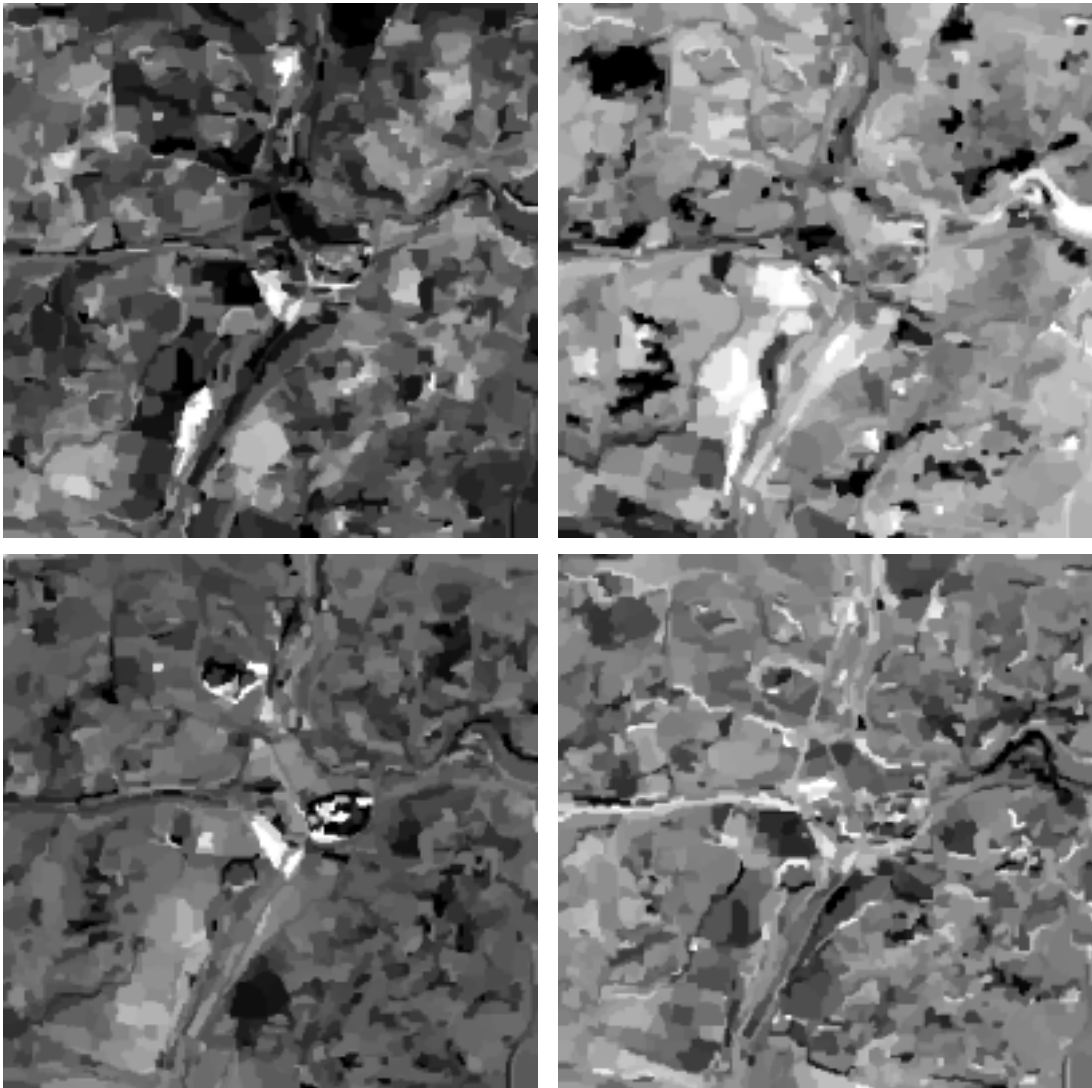
Změnové objektové segmenty jsou v závislosti na znaménku znázorněny v tmavých nebo světlých barvách (obr. 16). Polygony tmavé barvy dosahují záporných hodnot, světlé objekty kladných hodnot. Šedou barvu mají oblasti, ve kterých ke změně nedošlo.



*Obr. 16: Komponenty MAD1 (vlevo) a MAD2 (vpravo) jarní scény testovací oblasti č. 1
(zdroj: vlastní)*

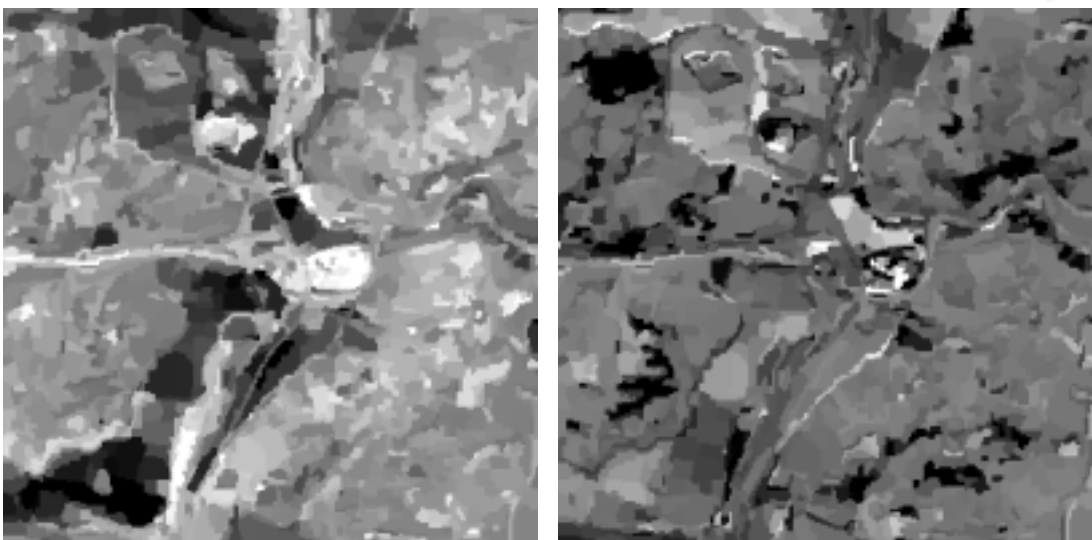
JARNÍ SCÉNA – 4 : 4

Z obr. 17 nelze s určitostí říct, jaký typ změny zaznamenává každá z komponent. Při jejich porovnání je však patrné, že první komponenta MAD1 detekuje spíše plošně větší změnové segmenty a poslední MAD4 se zaměřuje na detailnější změny, jako je například úbytek vody v okrajové části vodní nádrže (černou barvou) nebo liniové prvky silnice. Komponenta MAD2 se po vizuální stránce velmi podobá komponentě MAD1 v předchozím případě.



Obr. 17: Komponenty MAD1(a), MAD2 (b), MAD3 (c), MAD4 (d) jarní scény testovací oblasti č. 1 (zdroj: vlastní)

| | |
|---|---|
| a | b |
| c | d |



Obr. 18: Komponenty MAD1 (vlevo) a MAD2 (vpravo) podzimní scény testovací oblasti č. 1 (zdroj: vlastní)

PODZIMNÍ SCÉNA 2 : 2, 4 : 4

Při porovnání vygenerovaných komponent ze vstupních pásem NIR a RED (obr. 18) je na první pohled zřejmé, že druhá komponenta MAD2 nese stejnou informaci o změně jako první komponenta MAD1 na obr. 16. Tato odlišnost může být způsobena v závislosti na použitých vstupních datech, protože byl podzimní snímek Landsat, pocházející z jiného zdroje, na první pohled méně kvalitní.

Také při použití všech čtyř pásem každého ze snímků se jednotlivé komponenty odlišují od těch, které byly vytvořeny v případě jarní scény. Šedé plochy znázorňující žádnou změnu mají hodnoty rozmístěny v blízkosti 0 a v objektech tmavé a světlé barvy naopak ke změně v rámci pokryvu země došlo. Finální čtveřice komponent je uvedena v příloze 5.

MULTITEMPORÁLNÍ DETEKCE

V poslední analýze *testovací oblasti č.1* byly všechny čtyři snímky použity pro účely multitemporálního porovnání. Z důvodu velkého množství vstupních pásem je výsledná informace rozložena do více komponent, což činí na první pohled situaci ještě více nepřehlednou než tomu bylo v případě multispektrálního srovnání. Všech osm vygenerovaných komponent v podobě šedotónových obrázků je znázorněno v příloze 6.

7.5.2 Testovací oblast č. 2

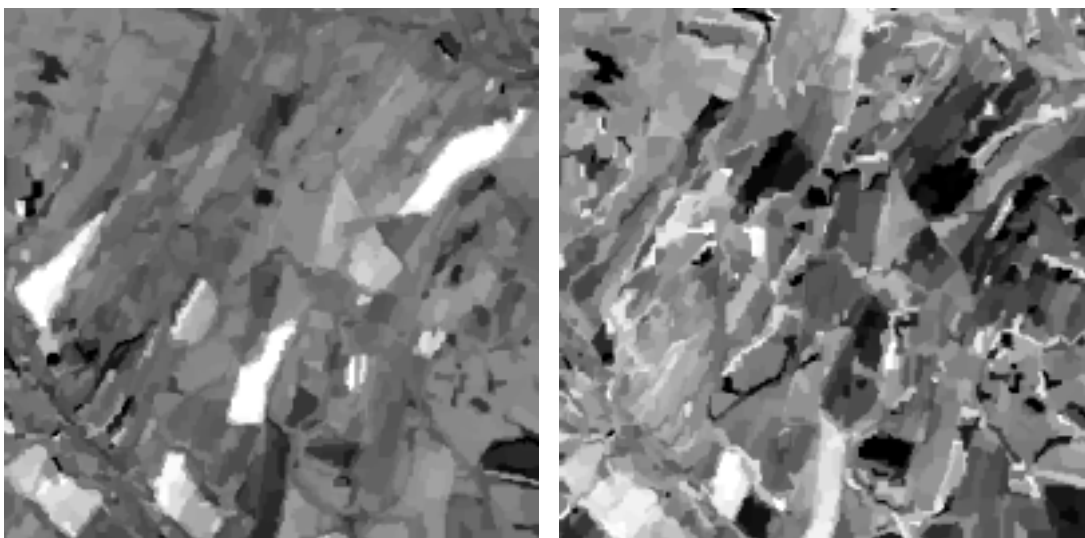
Vybrané testované území zkoumá přeměnu orné půdy na louky a pastviny. Detekovat tento typ změny je obecně velmi obtížné, protože se vegetace vyznačuje typickou proměnlivostí spektrálních charakteristik v průběhu roku. Lze tedy předpokládat, že se budou výsledky detekce změn v závislosti na ročním období značně odlišovat.

JARNÍ SCÉNA – 2 : 2

Obr. 19 porovnává výsledky detekce z pásem NIR a RED. V případě komponenty MAD1 jsou změnové regiony znázorněny bílou barvou a dosahují vyšších kladných hodnot. V druhé komponentě jsou po celém výřezu rozmístěny malé černé objekty. Po prozkoumání původní dvojice snímků je patrné, že se jedná o změny v rámci lesa, kde došlo k úbytku vegetace.

JARNÍ SCÉNA – 4 : 4

Na obr. 20 jsou zobrazeny výsledné komponenty vypočítané ze spektrálních hodnot všech čtyř pásem. Výrazné světlé změny vyznačující se vyšší hodnotou jsou zaznamenány komponentami MAD1 a MAD3, druhá komponenta nastiňuje změny opačným směrem, znázorněné černou barvou. Čtvrtá komponenta se zaměřuje na detekci detailnějších změn menších rozměrů.



Obr. 19: Komponenty MAD1 (vlevo) a MAD2 (vpravo) jarní scény testovací oblasti č. 2 (zdroj: vlastní)

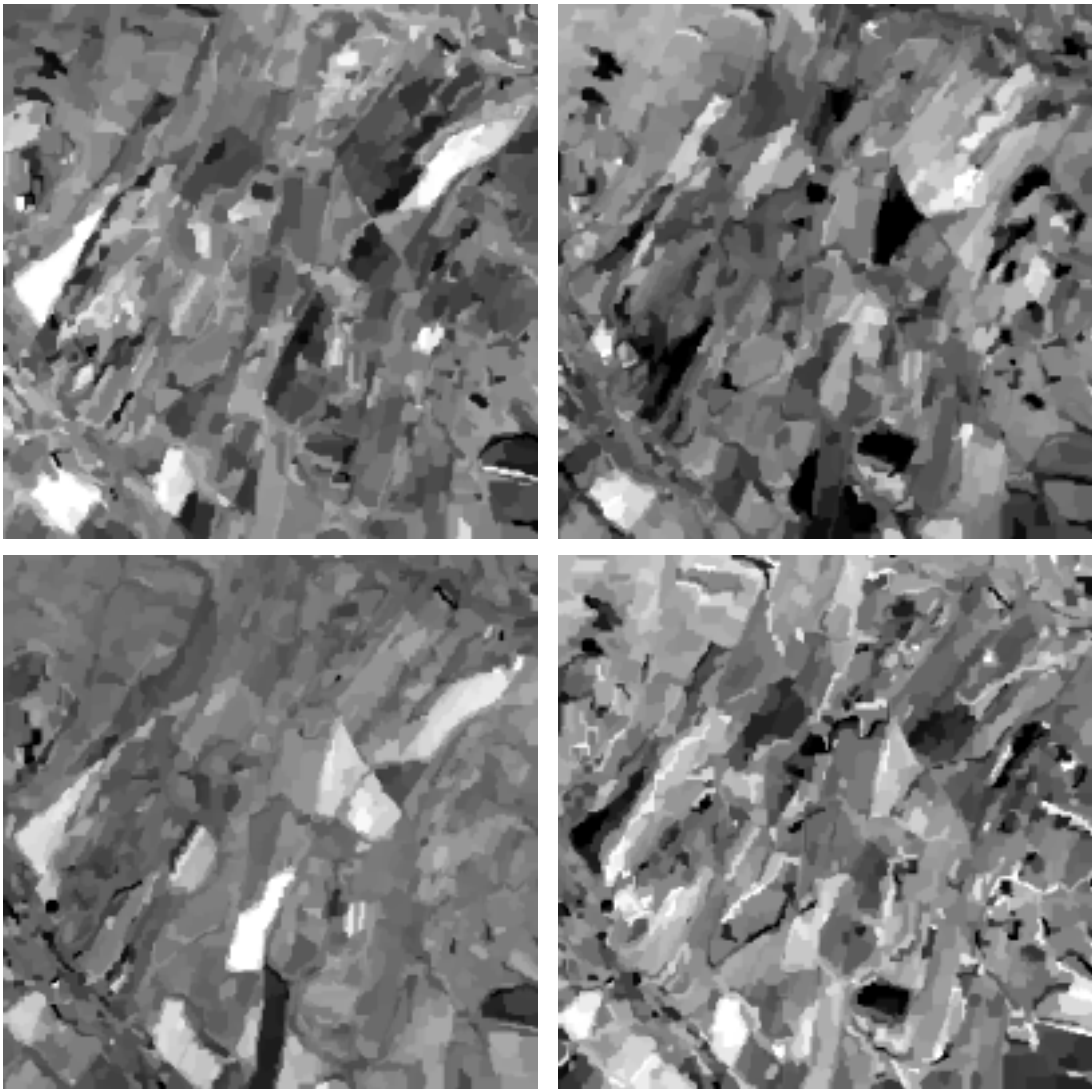
PODZIMNÍ SCÉNA 2 : 2, 4 : 4

Detekce změn není v případě podzimní dvojice snímků tak jednoznačná, jako tomu bylo u jarní scény. Druhá komponenta obr. 21 částečně detekuje změny podobné těm v komponentě MAD1 obr. 20 (bílou barvou) a zároveň změny v podobě malých černých objektů zobrazených na stejném obrázku v rámci komponenty MAD2.

Pokud do multispektrálního porovnání zahrneme i zbylá pásma GREEN a SWIR, stojí za zmínku komponenta MAD2, detekující světlé změnové regiony mnohem lépe než tomu bylo v případě obr. 21. Výsledné čtyři komponenty se nacházejí v příloze 7.

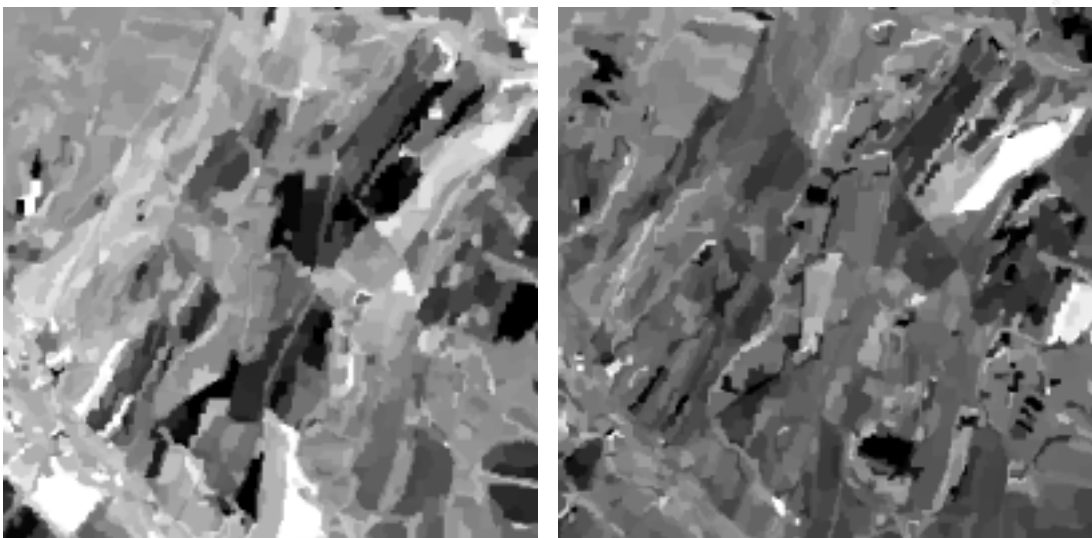
MULTITEMPORÁLNÍ DETEKCE

Stejně jako v předchozím výřezu byla i v případě *testovací oblasti č.2* provedena multitemporální detekce pomocí všech čtyř snímků, jejichž výsledky budou v kap. 8 porovnány s multispektrální detekcí. Výsledné vygenerované komponenty jsou v podobě černobílých obrázků zobrazeny v příloze 8.



Obr. 20: Komponenty MAD1(a), MAD2 (b), MAD3 (c), MAD4 (d) jarní scény testovací oblasti č. 2 (zdroj: vlastní)

| | |
|---|---|
| a | b |
| c | d |



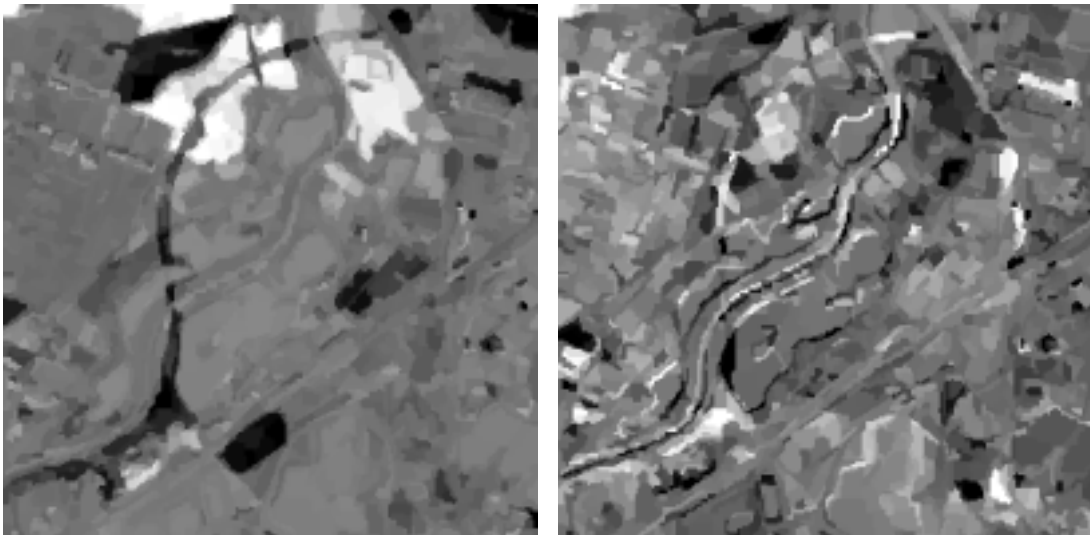
Obr. 21: Komponenty MAD1 (vlevo) a MAD2 (vpravo) podzimní scény testovací oblasti č. 2 (zdroj: vlastní)

7.5.3 Testovací oblast č. 3

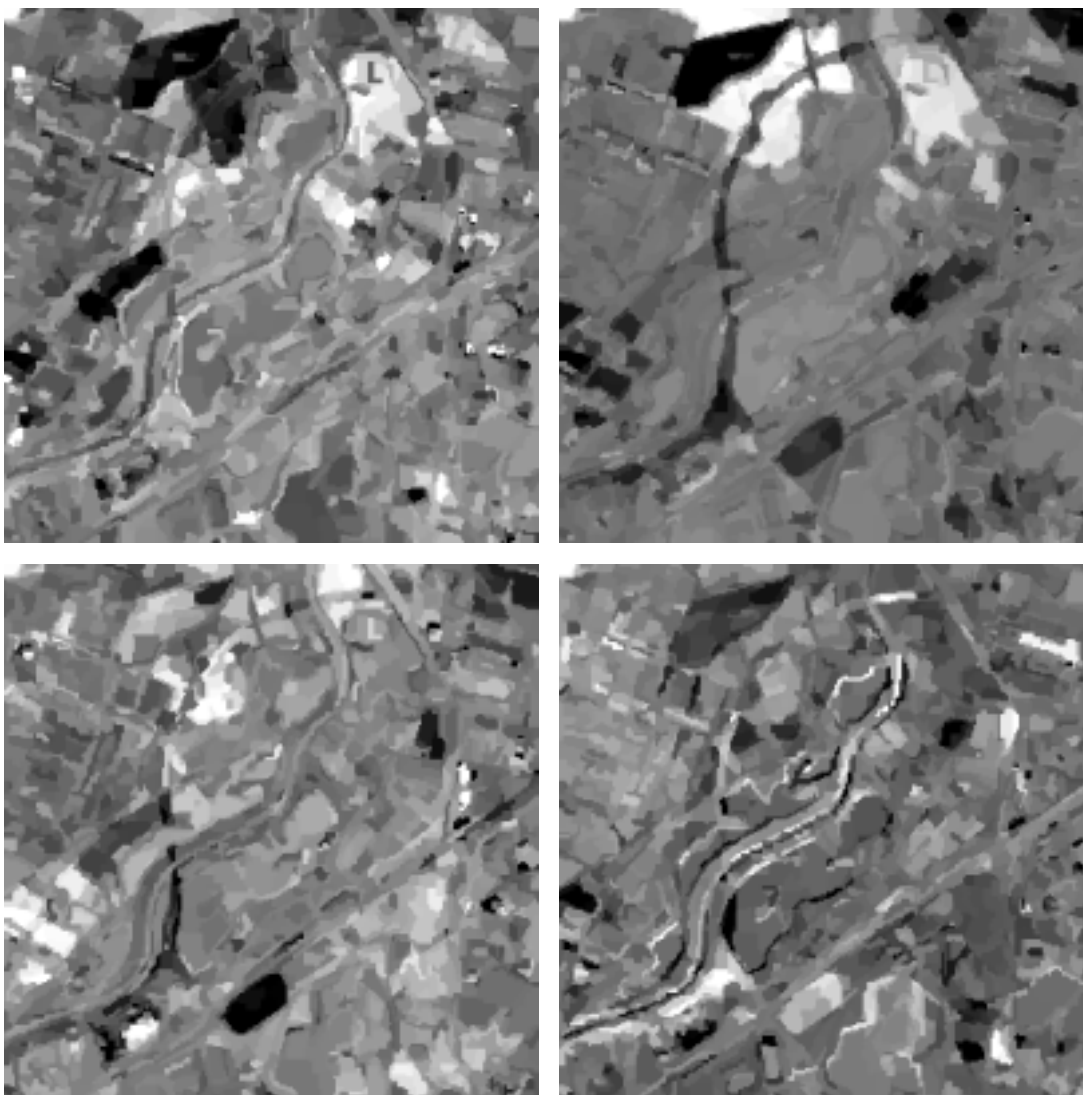
JARNÍ SCÉNA – 2 : 2, 4 : 4

I v rámci *testovací oblasti č. 3* byla detekce změn metodou MAD prováděna nejprve se dvěma vstupními pásmy každého snímku (obr. 22), a posléze se všemi čtyřmi spektrálními pásmy. Komponenty MAD1 a MAD3 obr. 23 jasně detekují průběh liniového prvku postavené dálnice (tmavou barvou). Zároveň s ní však podobných hodnot dosahují i přilehlé objekty, které evidentně nejsou součástí silnice, ale jsou obarvené stejnou tmavou barvou. Druhá z komponent tohoto obrázku se zaměřuje spíše na detekci změn unvitř říčního koryta.

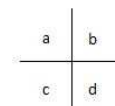
Při porovnání komponenty MAD1 z obr. 22 a MAD2 obr. 23 je zřejmé, že jsou si velmi podobné. Stejná situace nastává i u komponenty MAD2 z obr. 22 a komponenty MAD4 z obr. 23.



*Obr. 22: Komponenty MAD1 (vlevo) a MAD2 (vpravo) jarní scény testovací oblasti č. 3
(zdroj: vlastní)*



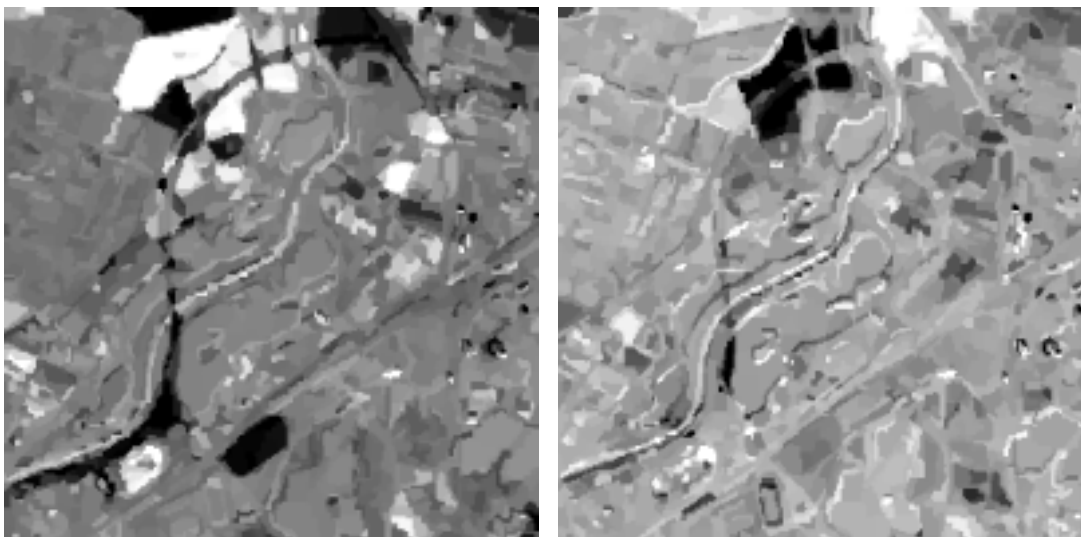
Obr. 23: Komponenty MAD1(a), MAD2 (b), MAD3 (c), MAD4 (d) jarní scény testovací oblasti č. 3 (zdroj: vlastní)



PODZIMNÍ SCÉNA 2 : 2, 4 : 4

Z následujícího obrázku (obr. 24) je z první komponenty zřetelná křivka dálnice, která však v horní části snímku dosahuje nižších záporných hodnot než v jeho spodní části. I z vizuálního hlediska je na první pohled patrný rozdíl odstínů obou částí. Důvodem je pravděpodobně skutečnost, že se v horní části jedná o nově postavený úsek, který má světlejší barvu a tudíž odlišné hodnoty odrazivosti než spodní starší část dálnice. Také si lze všimnout, že objekty rozprostírající se po obou stranách dálnice v horní části snímku dosahují v případě komponenty MAD1 většinou kladných hodnot (znázorněny bíle) a v komponentě MAD2 ve stejných místech pouze záporných hodnot (vykresleny černě). Každý objekt může tedy v rámci jedné komponenty dosahovat hodnot kladných, ale v případě komponenty jiné hodnot záporných. To je způsobeno výpočtem lineárních kombinací spektrálních pásem, kdy jsou výsledné objekty na základě hodnot korelace obarveny tmavou nebo světlou barvou.

Pokud jsou vstupní data tvořena čtyřmi pásmy pro každou z dvojice snímků, rozloží se výsledná informace do čtyř nových komponent (příloha 9). Z nich nejlépe detekuje průběh linie silnice komponenta MAD3. Podobných hodnot jako zmíněná silnice opět dosahují některé plochy okolních objektů.



Obr. 24: Komponenty MAD1 (vlevo) a MAD2 (vpravo) podzimní scény testovací oblasti č. 3 (zdroj: vlastní)

MULTITEMPORÁLNÍ DETEKCE

I pro tuto oblast byla nakonec provedena multitemporální detekce změn pomocí všech šestnácti pásem *testovací oblasti č.3*. Náhled na osm nově vzniklých komponent poskytuje příloha 10.

7.6 Tvorba TTA masek

Pomocí minimální mapovací jednotky se definuje nejmenší prostor, který ještě lze v mapě zobrazit (Di Gregorio; Jansen, 2000). Změnová databáze Corine, vytvářená pro území Evropy, obsahuje pouze změny > 5 ha. Díky této hranici jsou tak opomíjeny menší změny, jejichž detekce by v České republice vzhledem k její rozloze ještě měla smysl. Proto byly v této práci mapovány změny o ploše ≥ 1 ha.

Pro každou dvojici scén tří testovacích oblastí byly vytvořeny dvě testovací masky (TTA mask – Test and Training Area). Tyto masky se vytvářejí na základě vzorků objektů a umožňují jejich přenos do dalších projektů či scén. TTA maska obsahuje informace o třídách, takže je možné pomocí nástroje *Load TTA mask* v záložce *Classification–Samples* tyto třídy použít pro nový projekt nebo je přidat do stávající hierarchie tříd (Trimble, 2010). V následujícím textu je popsán postup tvorby změnových masek, který byl pro všechny vybrané výřezy totožný. Lišily se pouze volbou komponent MAD a rozdílných parametrů.

První z masek vznikla na základě detekce změnových polygů, zjištěných vizuálním porovnáním výřezů snímku Landsat a Spot v jarní a podzimní scéně. Její funkce tkví v ověření

správnosti detekce změnových regionů menších než pět hektarů. Nejprve byly v okně Class Hierarchy pomocí nástroje *Insert Class* vytvořeny požadované třídy, nazvané dle kategorií CLC, do nichž detekované polygony v roce 2000 původně patřily. Pomocí nástroje *Select Samples* v záložce *Classification–Samples* byly manuálně vybrány změnové polygony náležící do tříd vytvořených v předchozím kroku. Velikost segmentů musela být častokrát manuálně pozměněna pomocí nástroje *Cut Objects* z nabídky *Tools–Manual Editing* z důvodu co nejpresnější detekce změn. Nakonec byla z těchto vzorků (neboli samplů) pomocí *Create TTA Mask From Samples* opět v záložce *Classification–Samples* vytvořena testovací maska a uložena jako TIFF. Výsledné změnové polygony byly z důvodu příliš hranatých stran zaobleny pomocí funkce *morphology* v okně *Process Tree*, kde bylo nutné zvolit příslušnou třídu, požadovanou morfologickou operaci (v tomto případě *Close image objects* neboli uzavření objektů) a její tvar včetně míry. Co se týče posledního zmíněného parametru, bylo možné zvolit tvar zaoblení – kruh nebo čtverec, a její hodnotu. Po vyzkoušení několika možných variant a kombinací byly nakonec zvoleny takové hodnoty morfologie, pomocí kterých se vytvoří přirozenější hranice objektů, které budou zároveň respektovat jejich původní tvar a nebudou mít výrazný vliv na výslednou přesnost detekce. Pro *testovací oblasti č.1* byla použita hodnota 5, pro *testovací oblasti č.2* hodnota 10 a pro *testovací oblasti č.3* hodnota 15. V případě všech tří oblastí byl jako požadovaný tvar zaoblení zvolen kruh, a to i u posledního výřezu, přestože se jednalo o liniový prvek, tedy silnici. Při nastavení tvaru kruh byly výsledky optimálnější než u tvaru čtverec. Během morfologie bylo z důvodu dodržení postupu tvorby změnové databáze Corine dbáno na to, aby třídy těchto segmentů odpovídaly třídám vymezeným v CLC2000 a aby se na snímku vyskytovaly pouze izolované změny o ploše ≥ 1 ha.

Druhá změnová maska znázorňuje změny, které byly detekovány pomocí metody MAD. V rámci každé scény a výřezu byla jako nejvhodnější vybrána právě jedna komponenta. Ta byla zvolena s ohledem na třídu testovací oblasti (definovanou v CLC2000), které se změna týkala, a na základě porovnání s příslušnou vizuální testovací maskou. Změnové regiony této druhé masky byly vyklasifikovány na základě stanovené meze výsledných koeficientů vypočítaných metodou MAD. Tato mez byla zvolena s ohledem na hodnoty objektů znázorněných ve vybrané komponentě podobnou tmavou nebo světlou barvou. Komponenty včetně zvolených mezí jsou zobrazeny v tab. 7. Poté bylo nutné jednotlivé segmenty sloučit pomocí funkce *merge* a následně vybrat jen ty polygony, jež splňují zvolené podmínky (stejně jako vizuální maska). První podmínkou bylo, že plocha nově vytvořených polygonů musí být ≥ 1 ha, druhou, že segment musí náležet do sledované třídy (např. v případě detekce změn jehličnatého lesa na křoviny byly vybrány jen ty změny, ke kterým došlo uvnitř tříd CLC2000 jehličnaté lesy). Poté byl opět upraven tvar výsledných polygonů pomocí funkce *morphology*, kde byly zvoleny stejné parametry jako u předchozí masky. TTA masku je však možné vytvořit pouze ze *samples*, a proto musely být z výsledných změnových regionů (postupem popsaným výše) vytvořeny *samples*. Výsledek byl uložen stejně jako v předchozím případě ve formátu TIFF.

Jedinou výjimku tvořila změnová maska *testovací oblasti č.3* detekovaná metodou MAD. V tomto případě nebylo možné splnit druhou podmínku, aby nově vytvořený segment náležel do konkrétní třídy, poněvadž se jedná o dálnici vybudovanou na více typech krajinného pokryvu. Z tohoto důvodu musely být z detekovaných změnových polygonů pomocí MAD vybrány správné segmenty manuálně. Další postup práce byl již stejný jako u ostatních výřezů.

Tab. 7: Volba komponent a stanovené hodnoty meze pro detekci změn LC (zdroj: vlastní)

| Testovací oblast | 1. | | 2. | | 3. | |
|------------------|--------------|--------------|------------|------------|----------------------------|----------------------------|
| | jaro | podzim | jaro | podzim | jaro | podzim |
| Scéna | | | | | | |
| Komponenta | MAD2 | MAD1 | MAD3 | MAD2 | MAD2 | MAD3 |
| Mez | $\leq -1,31$ | $\leq -1,31$ | $\geq 1,6$ | $\geq 0,9$ | $\langle -1; -2,9 \rangle$ | $\langle -1; -2,7 \rangle$ |

Nakonec byla pro každou testovací oblast provedena multitemporální detekce změn, při níž byly vytvořeny další tři změnové masky detekované pomocí metody MAD. Masky vznikly stejným postupem uvedeným výše, pouze volba komponent a zvolených mezí koeficientů se lišila. Pro *testovací oblasti č.1* byly vybrány regiony, jejichž hodnota komponenty MAD3 byla $\leq -1,26$. U *testovací oblasti č.2* byla zvolena mez $MAD5 \geq 0,9$ a pro *testovací oblasti č.3* musely regiony splnit podmínku $MAD7 \geq -0,8$. U každé oblasti byla použita stejná hodnota morfologie jako v případě multispektrální detekce. Veškeré vytvořené TTA masky jsou k dispozici v přílohách 11–13.

Změnové plochy byly nazvány podle tříd LC, které se na daném území vyskytovaly v roce 2000. Pouze u detekce změn zemědělských ploch na zastavěné v případě *testovací oblasti č.3* byla pro zjednodušení nazvána změnová plocha podle třídy, která se zde vyskytovala až v roce 2006.

7.7 Porovnání změnových masek

V rámci každé scény byla změnová maska MAD nejprve porovnána se změnovou databází CLC Change 2000–2006, aby bylo možné vytipovat regiony změn, které v databázi Corine chybí. Bylo zřejmé, že se bude odlišovat tvar a velikost vyobrazených regionů masky MAD a změnové databáze. Tento fakt posloužil při porovnání ploch detekovaných změn a zhodnocení přesnosti na konci práce.

Vzhledem k tomu, že cílem práce bylo zjistit, zda lze detekovat i osamocené změnové polygony, jejichž plocha bude ≥ 1 ha, byly vytvořeny také překryvy změnové masky MAD s vizuální maskou, na jejímž základě došlo k ověření detekovaných izolovaných změn, popřípadě k jejich úpravě (viz podkap. 8.2).

Samotná automatická detekce polygonů fungující na principu výpočtu koeficientů ze spektrálních charakteristik objektů není schopná určit, o jakou konkrétní změnu se jedná, proto musí být tyto informace získány z jiných zdrojů. Jelikož byly změnové polygony vytvořeny v závislosti na hranicích tříd CLC2000, bylo zřejmé, jaký typ krajinného pokryvu se nacházel na

místě změny původně. Změnovým segmentům byly na tomto základě přiřazeny názvy tříd a barvy. Prostřednictvím databáze CLC Change 2000–2006, z leteckých snímků nebo terénním průzkumem je možné identifikovat, na jaký druh krajinného pokryvu byla plocha změněna.

Testovací oblast č.1

Na základě podkap. 7.1 bylo stanoveno, že se bude tento výřez zaměřovat na detekci změn v rámci třídy 3 lesy a polopřírodní oblasti. Konkrétně se mělo jednat o přeměnu lesů na nízký lesní porost a změnu nízkého lesního porostu na les. Poněvadž se v tomto výřezu vyskytovala jen malá plocha listnatého lesa, v rámci které během sledovaného období ke změně nedošlo, byly zkoumanými třídami jen les jehličnatý a smíšený. V případě přeměny nízkého lesního porostu na les se nejednalo o změny natolik výrazné (z hlediska barvy a hodnot koeficientů), aby je byl algoritmus schopen zachytit a zpracovat. Z těchto důvodů byla pozornost zaměřena jen na přechod jehličnatého a smíšeného lesa na nízký lesní porost.

Výsledné překryvy TTA masky změn detekované metodou MAD se změnovou databází CLC a poté s vizuální maskou při použití multispektrálních a multitemporálních dat jsou součástí příloh 14–16.

Testovací oblast č.2

Tato testovací oblast byla vybrána z důvodu sledování změn orné půdy na louky a pastviny, ke kterým dochází na území ČR převážně v podhorských oblastech. Tento typ změny je v určitých případech obtížněji detekovatelný, proto byly výsledné detekce kontrolovány na letecké mapě volně dostupné na stránkách *mapy.cz* a také terénním průzkumem.

Vegetace je charakteristická typickou proměnlivostí spektrálních charakteristik v průběhu ročních období. Na jaře dominuje spíše holá půda, protože úroda, která je na polích zasetá, ještě neroste. Poté nastává vegetační období, při kterém začíná dozrávat obilí na polích. K vyvrcholení dochází v létě a na přelomu léta a podzimu, kdy je na polích nejvíce vegetace a dochází k její sklizni. V období podzimu už je obilí sklizeno a půda zoraná.

S ohledem na to, že se množství vegetace na polích odvíjí v závislosti na ročním období, lze očekávat, že při automatické detekci změn metodou MAD provádějící výpočet lineárních kombinací na základě spektrálních charakteristik jednotlivých pásem mohou být výsledky zkreslené, protože samotný algoritmus nedokáže rozhodnout, zda ke změně opravdu došlo, nebo zda jsou snímky pořízené v odlišných fázích vegetačního období.

Překryvy změnových masek a databáze CLC Change jsou znázorněny v přílohách 17–19.

Testovací oblast č.3

Třetí výřez byl vybrán v souvislosti s rozrůstající se zastavěnou plochou na úkor zemědělsky zaměřených oblastí. Tento trend je typický zejména pro okolí větších měst, a tak byla testovací oblast zvolena severně od města Ostrava, kde probíhá výstavba dálnice D1. Konkrétně byla

předmětem zkoumání (dle nomenklatury CLC) změna z třídy 2 – zahrnující ornou půdu, louky a pastviny a zemědělská území s příměsí vegetace, na třídu 122 a 133 – silniční síť a staveniště. Vzhledem k tomu, že z použitých leteckých snímků nebylo možné jednoznačně určit, zda se jedná o již postavenou silnici nebo zda je silnice ještě ve výstavbě a řadí se tudíž do třídy staveniště, byla tato změna komplexně brána jako změna na zastavěnou plochu.

Z důvodu výstavby silnic v etapách má každá část silnice jiný odstín, a tudíž i odlišnou odrazivost. Proto bylo možné metodou automatické detekce znázornit jen určité menší izolované části, nikoli celý průběh dálnice jako jednotného liniového prvku.

Porovnání výsledných překryvů pro *testovací oblast č. 3* je znázorněno v přílohách 20–22.

7.8 Postup detekce izolovaných změn

Prvním krokem bylo porovnání masky MAD se změnovou databází Corine, na jejímž základě byly vymezeny samostatné změnové polygony, které se v Corine nevyskytují. Postup vymezení těchto ploch byl následující. V programu e-Cognition byly načteny snímky Landsat a Spot zvoleného výřezu, změnová databáze CLC Change ve formátu TIFF jako tématická vrstva a zároveň jako další vrstva do okna k načteným spektrálním pásmům. To umožnilo jednoduše přiřadit třídy polygonům v jednom z následujících kroků. Nejdříve však bylo nutné provést segmentaci chessboard podle tématické vrstvy. Pomocí ní byly vytvořeny polygony definované ve změnové databázi Corine. Jako druhá tématická vrstva byla načtena maska MAD. Následovala opět segmentace chessboard, nyní ale na základě druhé tématické vrstvy. Výsledkem byla segmentace obsahující jak změnové polygony databáze Corine, tak změnové polygony masky MAD.

V okně Class Hierarchy byla pomocí *Insert Class* vytvořena nová třída, jejíž název byl zvolen na základě třídy polygonu, ve kterém došlo ke změně. Dalším krokem bylo přiřazení tříd regionům Corine pomocí nástroje *assign class* v okně Process Tree. Zde bylo nutné zvolit správnou segmentaci (druhá v pořadí) a podmínku, že se musí hodnota vrstvy CLC Change v sekci *Mean* rovnat 1, aby byly vyklasifikovány pouze regiony CLC Change. Nakonec byla zvolena třída, do které se mají polygony přiřadit. Stejným postupem byla vytvořena další třída určená pro neklasifikované segmenty, které nepatří do předchozí třídy. Nástrojem *assign class* a volbou třídy *unclassified* byly nevyklasifikované polygony přiřazeny této třídě. Pro tuto třídu byla následně vypočítána její plocha pomocí nástroje *Area of classified objects* v sekci *Scene Features–Class-Related* okna Feature View.

V záložce *Image Objects–Image Objects Table* byly následně zobrazeny ID všech neklasifikovaných polygonů této třídy a jejich plocha. Vzhledem k tomu, že předmětem zájmu byly pouze oblasti změn ≥ 1 ha, byly položky seřazeny podle velikosti a uvažovány jen izolované změny splňující tuto podmínku. Z důvodu ověření detekce pravých změnových polygonů o ploše ≥ 1 ha a odstranění chybně detekovaných změn byly vytipované regiony porovnány s odpovídající vizuální maskou. Podle ní také bylo možné upravit výsledný změnový

region. Protože byly plošky změnové masky MAD vytvořeny segmentací, jejich tvar nemusel přesně odpovídat skutečnosti. Tímto způsobem byly vydetekovány a ověřeny izolované změny s plochou ≥ 1 ha. V podkap. 8.2 budou podrobněji rozebrány změny jednotlivých testovacích oblastí.

KAPITOLA 8

Výsledky

8.1 Vyhodnocení výsledků

V programu e-Cognition byly nejprve pro každou ze sledovaných tříd zjištěny velikosti plochy, a to v pixelech a hektarech (tab. 8). K tomu byl použit nástroj *Area of classified objects–Class-Related–Scene Features* v okně Feature View. Tento úkon byl proveden především kvůli porovnání velikosti ploch detekovaných v této práci s velikostí ploch v CLC Change.

Tab. 8: Porovnání velikostí ploch sledovaných tříd po morfologii (zdroj: vlastní)

| test. oblast | scéna | třída | Počet pixelů | | | | Počet hektarů | | | |
|--------------|-------|-------------|--------------|-------|----------|--------|---------------|--------|----------|--------|
| | | | MAD | VIZ | CLC00-06 | CLC00 | MAD | VIZ | CLC00-06 | CLC00 |
| 1. | J | jehlič. les | 2 437 | 3 382 | 3 600 | 21 389 | 97,48 | 135,28 | 144,00 | 855,56 |
| | | smíš. les | 1 205 | 1 576 | 1 214 | 15 121 | 48,20 | 63,04 | 48,56 | 604,84 |
| | P | jehlič. les | 2 305 | 2 852 | 3 600 | 21 389 | 92,20 | 114,08 | 144,00 | 855,56 |
| | | smíš.les | 934 | 1 276 | 1 214 | 15 121 | 37,36 | 51,04 | 48,56 | 604,84 |
| 2. | J | orná půda | 3 228 | 3 923 | 5 238 | 6 781 | 129,12 | 156,92 | 209,52 | 271,24 |
| | P | orná půda | 3 630 | 4 492 | 5 238 | 6 781 | 145,20 | 179,68 | 209,52 | 271,24 |
| 3. | J | zástavba | 1 447 | 2 412 | 2 044 | × | 57,88 | 96,48 | 81,76 | × |
| | P | zástavba | 1 776 | 2 349 | 2 044 | × | 71,04 | 93,96 | 81,76 | × |

Tab. 9: Porovnání velikostí ploch sledovaných tříd před morfologií (zdroj: vlastní)

| test. oblast | scéna | třída | Počet pixelů | | Počet hektarů | | Rozdíl pixel | | Rozdíl hektar | |
|--------------|-------|-------------|--------------|-------|---------------|--------|--------------|-----|---------------|------|
| | | | MAD | VIZ | MAD | VIZ | MAD | VIZ | MAD | VIZ |
| 1. | J | jehlič. les | 2 283 | 3 227 | 91,32 | 129,08 | 154 | 155 | 6,16 | 6,20 |
| | | smíš.les | 1 170 | 1 506 | 46,80 | 60,24 | 35 | 70 | 1,40 | 2,80 |
| | P | jehlič. les | 2 171 | 2 664 | 86,84 | 106,56 | 134 | 188 | 5,36 | 7,52 |
| | | smíš.les | 887 | 1 227 | 35,48 | 49,08 | 47 | 49 | 1,88 | 1,96 |
| 2. | J | orná půda | 3 169 | 3 901 | 126,76 | 156,04 | 59 | 22 | 2,36 | 0,88 |
| | P | orná půda | 3 509 | 4 455 | 140,36 | 178,20 | 121 | 37 | 4,84 | 1,48 |
| 3. | J | zástavba | 1 320 | 2 245 | 52,80 | 89,80 | 127 | 167 | 5,08 | 6,68 |
| | P | zástavba | 1 573 | 2 175 | 62,92 | 87,00 | 203 | 174 | 8,12 | 6,96 |

Pozn.: Vysvětlivky: J a P znamená jarní a podzimní období; VIZ – vizuální maska; CLC00 – databáze Corine 2000.

Zatímco jsou v tab. 8 zobrazeny hodnoty masek MAD a vizuálních masek již po provedení morfologie, tab. 9 obsahuje hodnoty změnových tříd ještě před morfologií, a dále pak jejich rozdíl. Toto porovnání ukazuje, jak velký vliv může mít zaoblení objektů na konečný výsledek.

V případě masek MAD je největší rozdíl plochy u podzimní scény ve třídě zástavba, a to 11,4 %, nejnižší u smíšeného lesa jarní scény, a to 2,9 %. U vizuální masky jsou rozdíly ještě menší. Pohybují se od 6,6 % (jehličnatý les podzimní scény) do 0,6 % (orná půda jarní scény).

V tab. 10 je provedeno stejné porovnání jako v předchozím případě, pouze se zaměřením na změny zjištěné multitemporální detekcí v rámci změnové masky MAD. V tomto případě je rozdíl největší u třídy zástavba (11,6 %), nejméně byly morfologií změněny polygony smíšeného lesa (2,3 %).

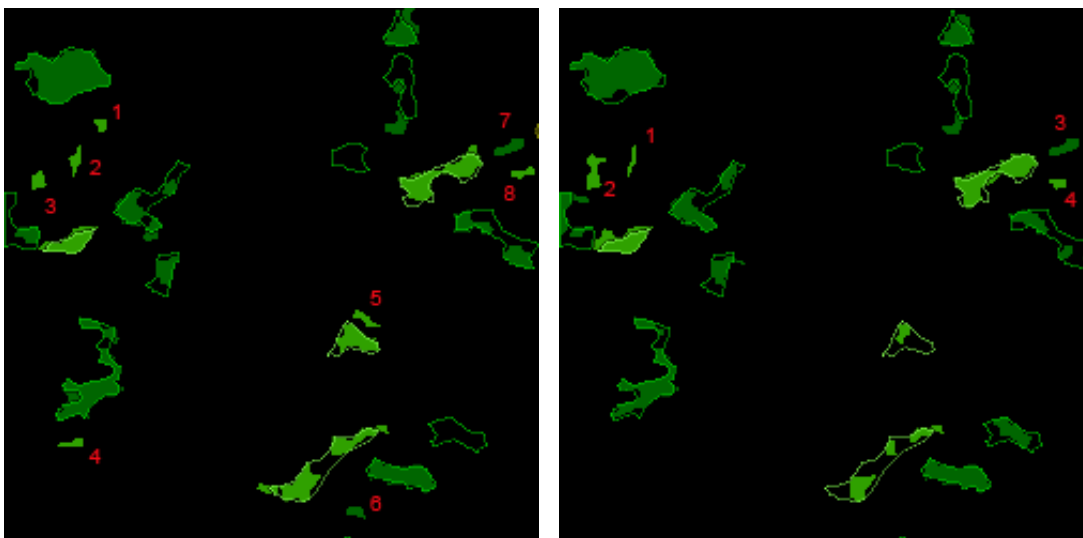
Tab. 10: Velikosti ploch sledovaných tříd multitemporální detekce před a po morfologii (zdroj: vlastní)

| testovací oblast | třída | Počet pixelů | | Počet hektarů | | Rozdíl pixel | Rozdíl hektar |
|------------------|-------------|--------------|----------------|---------------|----------------|--------------|---------------|
| | | s morfologií | bez morfologie | s morfologií | bez morfologie | | |
| 1. | jehlič. les | 2 150 | 2 025 | 86,00 | 81,00 | 125 | 5,00 |
| | smíř.les | 1 203 | 1 175 | 48,12 | 47,00 | 28 | 1,12 |
| 2. | orná půda | 3 369 | 3 298 | 134,76 | 131,92 | 71 | 2,84 |
| 3. | zástavba | 1 202 | 1 062 | 48,08 | 42,48 | 140 | 5,60 |

8.2 Detekované změny

Testovací oblast č.1

Na obr. 25 jsou čísla označeny izolované změny detekované při porovnání změnové databáze Corine s příslušnou maskou změn metody MAD. Ze snímků je patrné, že v rámci každé dvojice snímků byl zjištěn rozdílný počet změn. V případě jara bylo nalezeno osm změnových ploch, u podzimní scény jen čtyři. Následovalo porovnání těchto změn s vizuální maskou a ověření správnosti detekce. Při ní bylo zjištěno, že v rámci každé scény byl jeden z polygonů detekován mylně. Z důvodu přesné detekce byly velikosti některých změn upraveny na základě této masky. Velikosti původních změn detekovaných metodou MAD a upravených podle vizuální masky uvádí tab. 11.



Obr. 25: Porovnání změn z CLC Change (obrys) s jarní (vlevo) a podzimní (vpravo) maskou MAD (výplň), kde změny jehličnatého lesa reprezentuje tmavě zelená barva a smíšeného lesa světle zelená barva (zdroj: vlastní)

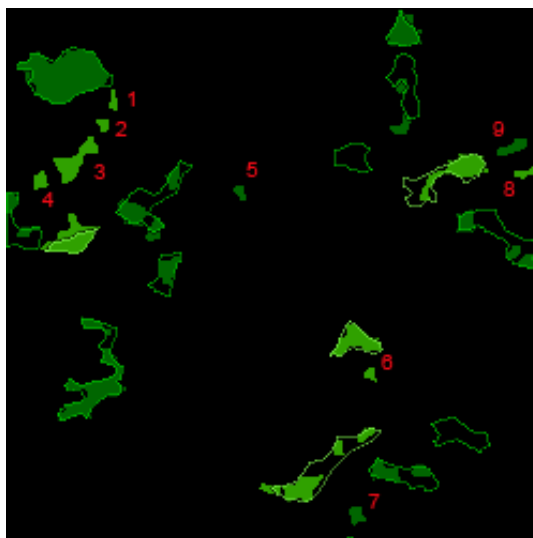
Tab. 11: Velikosti změnových ploch testovací oblasti č. 1 detekovaných metodou MAD před a po úpravě (zdroj: vlastní)

| číslo změny | velikost (ha) | |
|---------------|---------------|--------------|
| | MAD | upravené |
| 1 | 1,12 | 1,12 |
| 2 | 1,72 | 1,44 |
| 3 | 1,76 | 1,72 |
| 4 | 1,28 | × |
| 5 | 1,60 | 1,60 |
| 6 | 1,40 | 1,40 |
| 7 | 2,56 | 2,56 |
| 8 | 1,44 | 1,44 |
| součet | 12,88 | 11,28 |

| číslo změny | velikost (ha) | |
|---------------|---------------|-------------|
| | MAD | upravené |
| 1 | 1,12 | 1,12 |
| 2 | 3,12 | 3,08 |
| 3 | 2,56 | 2,56 |
| 4 | 1,16 | × |
| součet | 7,96 | 6,76 |

Pozn.: Tabulka A. odpovídá levému snímku obr. 25 (tedy jarní scéně), tabulka B. pravému snímku tohoto obrázku (podzimní scéně). Symbol × označuje mylně detekované změny. Změny v rámci jehličnatého lesa jsou znázorněny tmavě zelenou barvou, změny uvnitř smíšeného lesa světle zelenou barvou.

V případě změnové masky MAD vytvořené multitemporální detekcí dat bylo zjištěno celkem devět změnových polygonů navíc oproti databázi CLC Change. Poněvadž byly vytvořeny dvě vizuální masky – pro jarní a podzimní scéně, byly nalezené změny porovnávány s oběma těmito maskami. Výsledek je znázorněn na obr. 26, konkrétní hodnoty změnových polygonů jsou uvedeny v tab. 12.



Obr. 26: Porovnání změn z CLC Change (obrysy) s maskou MAD vytvořenou z multitemporálních dat (výplň), kde změny jehličnatého lesa reprezentuje tmavě zelená barva a smíšeného lesa světle zelená barva (zdroj: vlastní)

Z tab. 12 je zřejmé, že použití všech čtyř snímků, stejně jako příslušná vizuální maska, měly velký vliv na konečný počet změnových segmentů. V případě jarní vizuální masky byly vypuštěny tři změny z devíti, u podzimní vizuální masky to bylo dokonce pět regionů.

Tab. 12: Velikosti změnových ploch testovací oblasti č. 1 detekovaných metodou MAD z multitemporálních dat před a po úpravě (zdroj: vlastní)

| číslo změny | velikost (ha) | | |
|---------------|---------------|---------------|-----------------|
| | MAD | upravené-jaro | upravené-podzim |
| 1 | 1,12 | × | × |
| 2 | 1,12 | 1,12 | × |
| 3 | 6,80 | 2,04 | 2,04 |
| 4 | 1,76 | 1,72 | 1,72 |
| 5 | 1,12 | × | × |
| 6 | 1,04 | × | × |
| 7 | 1,88 | 1,88 | × |
| 8 | 1,44 | 1,44 | 1,44 |
| 9 | 2,56 | 2,56 | 2,56 |
| součet | 18,84 | 10,76 | 7,76 |

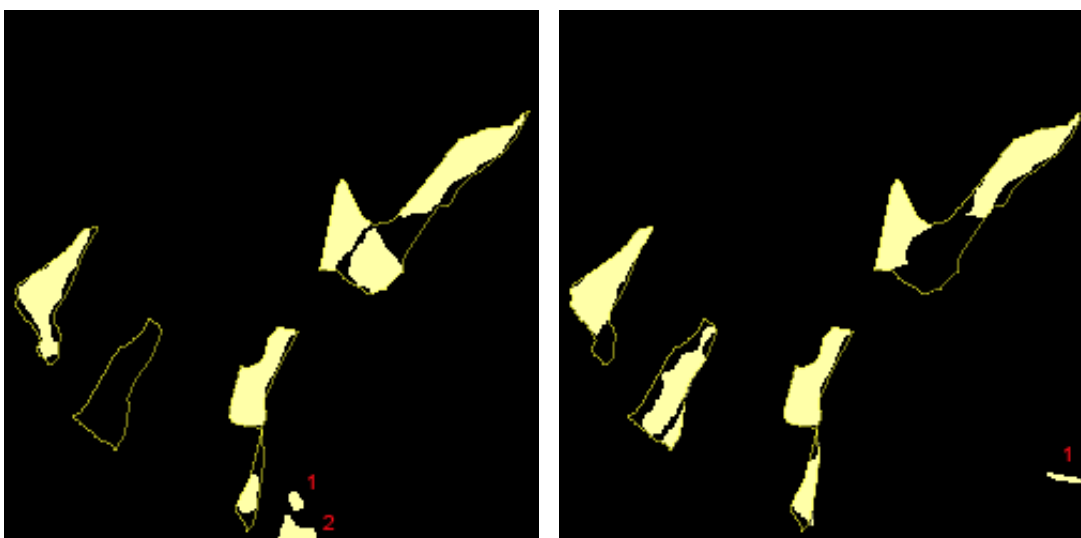
Pozn.: Symbol × označuje mylně detekované změny. Změny v rámci jehličnatého lesa jsou znázorněny tmavě zelenou barvou, změny uvnitř smíšeného lesa světle zelenou barvou.

Testovací oblast č. 2

Při srovnání výsledků jarní scény (příloha 17) je patrné, že se ve změnové databázi Corine vyskytují změny nezaznamenané ani metodou MAD, ani vizuální detekcí. I v případě snímků pořízených na podzim (příloha 18) nedokázala metoda MAD detekovat všechny změnové polygony jako databáze Corine, i když je v porovnání s předchozí situací určila lépe.

Z obr. 27 je na první pohled patrný rozdíl výsledků této masky a masek předchozích. Je zřejmé, že při využití všech šestnácti pásem došlo ke kombinaci informací, díky nimž byly lépe detekovány změny v levé spodní části snímku.

Velikosti změn zjištěných metodou MAD a upravené hodnoty podle vizuální masky uvádí tab. 13. V rámci podzimního překryvu nebyla zjištěna žádná izolovaná změna navíc oproti databázi Corine, proto jsou zde uvedeny tabulky s hodnotami pro jarní scénu a multitemporální data. Podle tab. 13A byly navíc nalezeny dva mylně detekované změnové polygony, podle tab. 13B byla zjištěna jen jedna změna, která se ukázala chybnou.



Obr. 27: Znárodnění změn CLC Change (žlutý obrys) s jarní maskou MAD (vlevo) a multitemporální maskou MAD (vpravo) – světle žlutá výplň (zdroj: vlastní)

Tab. 13: Velikosti změnových ploch testovací oblasti č. 2 detekovaných metodou MAD před a po úpravě (zdroj: vlastní)

A.

| číslo změny | velikost (ha) | |
|---------------|---------------|----------|
| | MAD | upravené |
| 1 | 1,84 | × |
| 2 | 5,80 | × |
| součet | 7,64 | × |

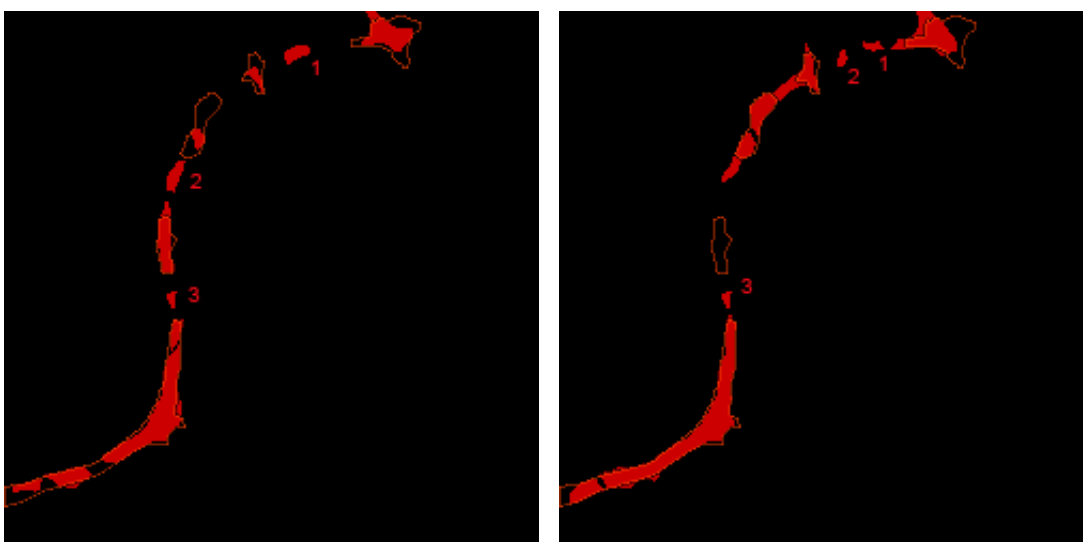
B.

| číslo změny | velikost (ha) | | |
|---------------|---------------|---------------|-----------------|
| | MAD | upravené–jaro | upravené–podzim |
| 1 | 2,12 | × | × |
| součet | 2,12 | × | × |

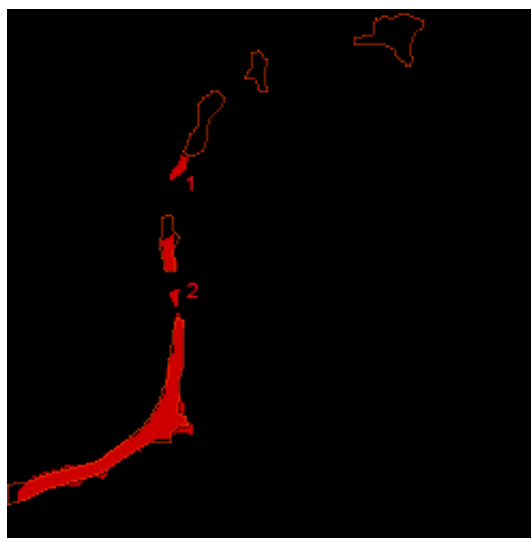
Pozn.: Tabulka A. odpovídá levému snímku obr. 27 (tedy jarní scéně), tabulka B. pravému snímku tohoto obrázku (multitemporální detekci). Symbol × označuje mylně detekované změny.

Testovací oblast č. 3

Na obr. 28 a 29 jsou číselně označeny izolované změny detekované z multispektrálních dat. Na obou snímcích tohoto obrázku byly nalezeny tři změny. V případě multitemporálních dat byly zjištěny pouze dva změnové polygony detekované navíc v porovnání se změnovou databází Corine. V tab. 14 jsou uvedeny velikosti ploch jednotlivých segmentů před a po úpravě pomocí příslušné vizuální masky. Všechny změny byly v rámci této testovací oblasti detekovány správně (viz výsledky tab. 14), avšak po úpravě velikosti dle vizuální masky jeden z regionů podzimní scény nesplňoval podmínku o ploše ≥ 1 ha, a tak musel být vypuštěn. Stejně tomu tak bylo v případě porovnání výsledků detekce multitemporálních dat s podzimní maskou.



Obr. 28: Znázornění změn CLC Change (červený obrys) s jarní maskou MAD (vlevo) a podzimní maskou MAD (vpravo) – červená výplň
(zdroj: vlastní)



Obr. 29: Znázornění změn CLC Change (červený obrys) s maskou MAD vytvořenou z multitemporálních dat (červená výplň)
(zdroj: vlastní)

Tab. 14: Velikosti změnových ploch testovací oblasti č. 3 detekovaných metodou MAD před a po úpravě (zdroj: vlastní)

A.

| číslo změny | velikost (ha) | |
|---------------|---------------|-------------|
| | MAD | upravené |
| 1 | 2,72 | 2,68 |
| 2 | 2,88 | 2,76 |
| 3 | 1,00 | 1,00 |
| součet | 6,60 | 6,44 |

B.

| číslo změny | velikost (ha) | |
|---------------|---------------|-------------|
| | MAD | upravené |
| 1 | 1,24 | 1,00 |
| 2 | 1,12 | 1,08 |
| 3 | 1,00 | 0,84× |
| součet | 3,36 | 2,92 |

C.

| číslo změny | velikost (ha) | | |
|---------------|---------------|-------------|-------------|
| | MAD | upravené–J | upravené–P |
| 1 | 1,96 | 1,84 | 1,88 |
| 2 | 1,00 | 1,00 | 0,84× |
| součet | 2,96 | 2,84 | 2,72 |

Pozn.: Tabulka A. odpovídá levému snímku obr. 28 (tedy jarní scéně), tabulka B. pravému snímku tohoto obrázku (podzimní scéně), tabulka C. multitemporální detekci na obr. 29. Symbol × označuje mylně detekované změny.

8.3 Zhodnocení na základě podobnosti

S využitím výše uvedených výsledků bylo provedeno zhodnocení výsledků změnové masky detekované metodou MAD podle vizuální masky. Obě masky byly vytvořeny na základě podmínky o ploše změnového segmentu ≥ 1 ha. Poté byly s využitím tab. 8 srovnány dosažené výsledky změnové masky MAD a CLC Change. Databáze Corine má však jinou mapovací jednotku změn než byla stanovena v této práci, proto byla od výsledné sumy masky MAD odečtena celková hodnota změnových polygonů < 5 ha uvedená v tabulkách předchozí podkapitoly. Na základě těchto hodnot byla vypočítána přesnost detekce změn, resp. míra shody změn. Konečné výsledky multispektrální detekce jsou uvedeny v tab. 15, kde jsou porovnány velikosti ploch každé třídy testovací oblasti včetně celkové hodnoty lesních porostů a plochy detekovaných změn, s pomocí nichž došlo k výpočtu přesnosti.

Tab. 15 ukazuje, že při porovnání ploch detekovaných metodou MAD s vizuální maskou je míra shody s výjimkou tří případů (třída smíšeného lesa – jarní scéna, detekce změn na zástavbu – obě roční období) vyšší než při srovnání výsledků detekce metodou MAD a CLC Change 2000–2006. Největšího rozdílu bylo dosaženo v případě jarního období třídy orná půda, kdy se výsledné hodnoty změnové masky MAD s vizuální maskou a porovnání masky MAD se změnovou databází Corine liší o 24,3 %. Druhá nejvyšší odchylka byla zaznamenána

u podzimní scény jehličnatého lesa, a to 18,6 %. Největší podobnost hodnot z posledních dvou sloupců vykazují změnové plochy zástavby pro jarní období.

Nejvyšší shody bylo dosaženo v případě jarních snímků u třídy orná půda (82,3 %), u podzimního období to byly hodnoty 80,8 % pro třídy orná půda a jehličnatý les. Nejhůře byla v porovnání masek MAD a vizuální detekována změna na zastavěnou plochu ze snímků jarní scény, a to 60 %.

Tab. 15: Míra shody změnové masky MAD v porovnání s vizuální maskou a CLC Change 2000–2006 (zdroj: vlastní)

| testovací oblast | třída | MAD | VIZ | CLC | změny MAD | rozdíl MAD | MAD/VIZ* | rozdíl MAD/CLC* |
|------------------|---------------|--------|--------|--------|-----------|------------|----------|-----------------|
| 1. | J jehlič. les | 97,48 | 135,28 | 144,00 | 3,96 | 93,52 | 72,1 | 64,9 |
| | J smíř. les | 48,20 | 63,04 | 48,56 | 8,92 | 39,28 | 76,5 | 80,9 |
| | P jehlič. les | 92,20 | 114,08 | 144,00 | 2,56 | 89,64 | 80,8 | 62,3 |
| | P smíř. les | 37,36 | 51,04 | 48,56 | 5,40 | 31,96 | 73,2 | 65,8 |
| | J celkem | 145,68 | 198,32 | 192,56 | 12,88 | 132,80 | 73,5 | 69,0 |
| | P celkem | 129,56 | 165,12 | 192,56 | 7,96 | 121,60 | 78,5 | 63,1 |
| 2. | J orná půda | 129,12 | 156,92 | 209,52 | 7,64 | 121,48 | 82,3 | 58,0 |
| | P orná půda | 145,20 | 179,68 | 209,52 | 0,00 | 145,20 | 80,8 | 69,3 |
| 3. | J zástavba | 57,88 | 96,48 | 81,76 | 6,60 | 51,28 | 60,0 | 62,7 |
| | P zástavba | 71,04 | 93,96 | 81,76 | 3,36 | 67,68 | 75,6 | 82,8 |

Pozn.: Vysvětlivky: *J* a *P* znamená jarní a podzimní období; velikosti ploch jsou uvedeny v hektarech; hodnoty sloupců označených * jsou v procentech; *změny MAD* označuje plochu izolovaných detekovaných změn; *rozdíl MAD* byl vypočítán jako MAD-změny MAD; *MAD/VIZ* představuje míru shody MAD v porovnání s vizuální maskou; *rozdíl MAD/CLC* je míra shody MAD na základě změnové databáze Corine.

Tab. 16 je obdobou tab. 15, zaměřuje se však na zhodnocení změn multitemporálních dat detekovaných automatickou metodou MAD, a ty porovnává s vizuálními maskami a změnovou databází Corine. Poněvadž byly v rámci každé testovací oblasti vytvořeny dvě vizuální masky – pro jarní a podzimní období, byly výsledky detekce MAD porovnány s oběma těmito maskami.

Dosažená míra shody je stejně jako v předchozím případě vyšší při posuzování změn detekovaných metodou MAD s vizuálními maskami. Jedinou výjimku tvoří třída zástavby, kde bylo dosaženo v případě obou vizuálních masek horších výsledků než u CLC Change. Nejvyšší podobnost byla zjištěna v rámci první jarní vizuální masky při detekci orné půdy (85,9 %), nejnižší u detekce tříd krajinného pokryvu na zástavbu (49,8 %). U podzimní masky bylo dosaženo míry shody 94,3 % při detekci smíšeného lesa, nejhorší taktéž u zástavby (51,2 %). Kromě detekce orné půdy bylo ve všech ostatních třídách dosaženo vyšších hodnot v rámci druhé vizuální masky v porovnání s výsledky první vizuální masky.

Z hodnot posledního sloupce vyplývá, že se plocha detekovaná metodou MAD nejvíce podobá Corine v případě třídy smíšený les, nejméně v případě detekce zástavby.

Tab. 16: Míra shody změnové masky MAD z multitemporálních dat v porovnání s vizuálními maskami a CLC Change 2000–2006 (zdroj: vlastní)

| test. oblast | třída | MAD | VIZ1 | VIZ2 | CLC | změny MAD | rozdíl MAD | MAD/VIZ1* | MAD/VIZ2* | rozdíl MAD/CLC* |
|--------------|-------------|--------|--------|--------|--------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------------|
| 1. | jehlič. les | 86,00 | 135,28 | 114,08 | 144,00 | 5,56 | 80,44 | 63,6 | 75,4 | 55,9 |
| | smíř. les | 48,12 | 63,04 | 51,04 | 48,56 | 13,28 | 34,84 | 76,3 | 94,3 | 71,7 |
| | celkem | 134,12 | 198,32 | 165,12 | 192,56 | 18,84 | 115,28 | 67,6 | 81,2 | 59,9 |
| 2. | orná půda | 134,76 | 156,92 | 179,68 | 209,52 | 2,12 | 132,64 | 85,9 | 75,0 | 63,3 |
| 3. | zástavba | 48,08 | 96,48 | 93,96 | 81,76 | 2,96 | 45,12 | 49,8 | 51,2 | 55,2 |

Pozn.: Vysvětlivky: Velikosti ploch jsou uvedeny v hektarech; hodnoty sloupců označených * jsou v procentech; VIZ1 a VIZ2 jsou plochy vizuální masky jarní a podzimní; změny MAD označuje plochu izolovaných detekovaných změn; rozdíl MAD byl vypočítán jako MAD-změny MAD; MAD/VIZ1 (2) představuje výpočet podobnosti MAD v porovnání s vizuální maskou jara (podzimu); rozdíl MAD/CLC je výpočet podobnosti MAD na základě změnové databáze Corine.

Z obou výše uvedených tabulek je zřejmé, že při použití multispektrálních dat byla nejnižší shoda v porovnání masky MAD a CLC Change zaznamenána u orné půdy (detekce z jarních snímků), a to 58 %, nejvyšší podobnosti bylo dosaženo u detekce změn na zástavbu (z podzimních snímků), a to 82,8 %. Pokud byly pro detekci metodou MAD použity všechny čtyři snímky, dosažená míra shody s Corine se celkově snížila. Nejlepší výsledky bylo v tomto případě zjištěny u třídy smíšený les (71,7%), nejhorších při detekci změn zemědělských ploch na zástavbu (55,2 %). Aby bylo možné výsledky detekce za použití multispektrálních a multitemporálních dat srovnat, byla z hodnot posledního sloupce tab. 15 a 16 vytvořena další tabulka (tab. 17). Z hodnot jarního a podzimního období v tab. 15 byly v podobě proměnné MS vypočítány jejich průměrné hodnoty.

Podle hodnot v tab. 17 lze vyvodit následující závěry. Detekce za použití multispektrálních dat vykazuje lepších výsledků u třídy lesy i u detekce změn zemědělských ploch na zastavěnou. Co se týče výsledných hodnot změn orné půdy na louky a pastviny, jsou pro multispektrální i multitemporální data velmi podobné.

Tab. 17: Porovnání míry shody změnové masky MAD multispektrálních a multitemporálních dat s CLC Change 2000–2006 (v %) (zdroj: vlastní)

| třída | MS1 | MS2 | MS | MT |
|-----------|------|------|------|------|
| les | 69,0 | 63,1 | 66,1 | 59,9 |
| orná půda | 58,0 | 69,3 | 63,6 | 63,3 |
| zástavba | 62,7 | 82,8 | 72,7 | 55,2 |

Pozn.: Vysvětlivky: MS1 – multispektrální data za jarní období; MS2 – multispektrální data za podzimní období; MS – multispektrální data – průměr za obě období; MT – multitemporální data.

KAPITOLA 9

Diskuze

U procesu detekce změn, který je založen na spektrálních charakteristikách použitých pásem, mají velký vliv na dosažené výsledky vstupní data v podobě družicových snímků. Proto je důležité použít snímky, u kterých byly provedeny veškeré korekce, dále je pak vhodné sjednotit jejich prostorové rozlišení a souřadnicový systém. V rámci podkap. 7.2 bylo v případě snímků Landsat provedeno opětovné převzorkování dat, které mohlo mít vliv na kvalitu těchto snímků. V případě Landsatu pořízeného na podzim nelze o zhoršené kvalitě už před druhým převzorkováním pochybovat. Podle dokumentu *NASA's Global Orthorectified Landsat Data Set* má tento snímek horší polohovou přesnost (< 50 m) než zbylé tři snímky, a navíc je obraz v některých místech poškozen mračky. V reportu je uvedeno, že 90 % snímků Landsat 7 poskytovaných NASA může obsahovat pokrytí mraky z ≤ 10 % výměry snímku. Naštěstí se ve vybraných testovacích oblastech mraky nevyskytovaly, proto nebylo důležité se dále zabývat tímto problémem.

Další sporné místo je provedení segmentace v závislosti na hranicích databáze CLC2000. Protože bylo snahou dodržet postup zmíněný v technickém reportu tvorby změnové databáze Corine, byl tento krok považován za vhodný. V případě, že by změnová databáze geometricky odpovídala stavové databázi za předešlé období, byly by výsledky detekce metodou MAD snadno porovnatelné se změnovou databází Corine. Bohužel si geometrie změn s geometrií stavové databáze ne vždy odpovídají, topologie je však shodná. Mírné posuny v umístění změnových polygonů mohly vzniknout např. rasterizací.

Při zkoumání funkčnosti detekce změn nazvané Multivariate Alteration Detection byly zjištěny následující poznatky. Nejprve bylo předpokládáno, že každá z komponent vždy zaznamenává změnu konkrétního krajinného pokryvu. Tato domněnka však byla po aplikování této metody na více příkladech zamítnuta. Stejně tomu tak bylo v případě myšlenky, že záporné (tmavou barvou) a kladné hodnoty (světlou barvou) vypočítaného koeficientu značí specifickou změnu odrazivosti objektu určitým směrem (tedy nárůst nebo pokles). Tento předpoklad byl také brzy vyvrácen, protože algoritmus metody MAD provádí výpočet lineárních kombinací spektrálních hodnot segmentů všech pásem zároveň, takže mohou být výsledné koeficienty buď pozitivní, nebo negativní. To značí, že během sledovaného období došlo v daném segmentu ke změně. V případě, že se tyto hodnoty pohybují kolem nuly, žádná změna v segmentu nenastala.

Nepravdivost tvrzení potvrdila i skutečnost, že konkrétní objekt může v rámci jedné komponenty dosahovat kladných hodnot a v případě další komponenty hodnot záporných. Výhodou statistických procedur probíhajících uvnitř algoritmu je, že dokáží pracovat s daty, které nebyly pořízeny za stejných světelných podmínek a nevyžadují atmosférickou korekci. Na použitých datech však byl tento typ korekcí proveden, a tak není možné tuto funkci potvrdit.

V porovnání s prostým rozdílem snímků je však zřejmé, v čem tkví výhoda této metody. Pokud se provádí rozdíl snímků za účelem zisku změnových ploch, znamená to, že se odečtou příslušná pásma. Metoda MAD počítá zároveň s hodnotami všech spektrálních pásem, jejichž výsledek se ukládá v podobě komponent.

Jedním z úkolů této práce bylo zvolit menší mapovací jednotku změn, která by měla za cíl určit samostatné změnové plochy menších rozměrů, které se v Corine z důvodu vyšší mapovací jednotky (5 ha) nevyskytují. V případě detekce změn *testovací oblasti č. 2 a č. 3* se dalo předpokládat, že takovýchto nalezených změn bude méně, a to z toho důvodu, že jsou plochy orné půdy větších rozměrů a silnice má jednotný tvar v podobě linie. To se ostatně i potvrdilo. Pouze u *testovací oblasti č. 3* byly nalezeny tři změny v rámci multispektrálního porovnání jarní i podzimní scény (potvrzeny dvě) a dvě změny v případě použití multitemporálních dat (po úpravě podzimní vizuální maskou jen jedna). Tyto změny byly zjištěny proto, že algoritmus nedokázal detekovat dálnici jako celek, ale pouze její jednotlivé části. U *testovací oblasti č. 1* se dalo očekávat izolovaných změn daleko více. V případě jarních snímků to bylo osm změn (potvrzeno sedm), u podzimní scény čtyři (ověřeny tři). Za použití multitemporálních dat bylo zjištěno devět samostatných změnových polygonů, jejichž počet byl po úpravě vizuální maskou snížen na šest (pro jarní masku) a čtyři (pro podzimní masku).

V podkap. 8.3 bylo provedeno zhodnocení přesnosti změnových databází, resp. bylo zjištěno, do jaké míry si z hlediska velikosti detekovaných ploch odpovídají. Nelze hovořit o přesnosti v pravém slova smyslu, protože nelze ani jednu ze změnových masek, ani změnovou databázi Corine považovat za stoprocentní. Výsledné hodnoty shody masky MAD s vizuální maskou byly ve většině případů vyšší. Při posuzování míry shody změnové masky MAD s velikostí ploch databáze CLC Change (ať už pro multispektrální nebo multitemporální data) lze tvrdit, že jsou výsledné hodnoty až na pár výjimek nižší než 70 %. Tento fakt nemusí nutně znamenat, že je změnová databáze MAD v porovnání s Corine horší, nebo méně přesnější. Důvodů tohoto výsledku může být několik. V případě Corine je to použití odlišné metody detekce změn – počítačové vizuální interpretace, nebo neodpovídající geometrie změn s geometrií stavové databáze CLC2000. Další příčinou může být přesnější detekce využívající dalších zdrojů v podobě topografických map v minimálním měřítku 1 : 50 000 nejlépe v digitální podobě, ortofot a dále dat LUCAS pro podporu fotointerpretací (Cenia, 2011).

Ve finální fázi byly porovnány výsledky detekce využívající multispektrální a multitemporální data. Pro *testovací oblasti č. 1 a č. 3* bylo lepších hodnot dosaženo v případě multispektrální detekce, pro oblast zaměřující se na změnu orné půdy na louky a pastviny byly výsledky srovnatelné.

KAPITOLA 10

Závěr

Hlavním záměrem této práce bylo provést detekci změn land cover vybraných oblastí České republiky za pomoci metody Multivariate Alteration Detection. Tento nástroj bylo možné prostřednictvím pluginu přidat do běžné sady funkcí software e-Cognition. Úkolem práce tedy bylo zhodnotit i jeho funkčnost. Při práci byl program díky tomuto pluginu nestabilní, což se projevovalo častými chybovými hláškami objevujícími se při pokusu provést detekci změn pomocí MAD. Tento fakt negativně přispěl ke ztížení podmínek při práci. Také možnost volby dodatečných parametrů této novější verze pluginu neposkytovala očekávané výsledky, zmíněné např. v pracích Nielsena (2007).

Tato práce nabízí srovnání výsledků detekce změn pomocí vegetačních indexů a již zmíněné metody MAD. Je zřejmé, že má tato metoda velký potenciál v oblasti sledování změn krajiny. Na druhou stranu je však vhodné mít navíc k dispozici podrobnější data v podobě leteckých snímků nebo topografických map. Podrobným popisem funkčnosti MAD využívající statistických postupů se zabývala rešeršní část, která byla prakticky vyzkoušena v metodické části práce. Výsledkem byly mapy překryvů jednotlivých změnových masek vytvořené zmíněnou metodou detekce změn, na jejichž základě byly zjištěny změnové polygony splňující podmínku o ploše ≥ 1 ha.

Cílem práce bylo také posoudit, jakých výsledků bude metodou dosaženo v porovnání se změnovou databází Corine, která pro detekci změn využívá vizuální interpretaci za použití počítačů. Pro detekci změn menšího měřítka byla také provedena volba odlišné mapovací jednotky, díky které byly nalezeno více změn, které Corine opomíjí. Soudě dle rozlohy České republiky by detekce změn ≥ 1 ha měla význam. Na základě nízké míry shody ploch těchto změnových databází lze tvrdit, že použití odlišného postupu i zpřesňujících dat v případě Corine mělo vliv na konečný výsledek.

Co se týče vybraných oblastí pro otestování metody MAD, jednalo se pouze o vzorky reprezentující typické trendy změn v České republice. Vhodné by bylo potvrdit jejich výsledky pomocí většího výřezu, a zhodnotit, zda jsou aplikovatelné i na rozsáhlejší plochu, což by mohlo být předmětem možného výzkumu další navazující práce.

SEZNAM ZDROJŮ INFORMACÍ

Literární zdroje

- KOLÁŘ, J., HALOUNOVÁ, L., PAVELKA, K. 1997. *Dálkový průzkum Země 10*. 1. vyd. Praha : Vydavatelství ČVUT, 164 s. ISBN 80-01-01567-X.
- SCHOWENGERDT, R. A. 2007. *Remote sensing : Models and methods for image processing*. 3. vyd. Burlington : Academic Press, 2007. 515 s.

Webové stránky

- [URL 1] Cenia, česká informační agentura životního prostředí. ?. *CORINE Land Cover 2006 (2007–2008)* [online]. [cit. 2011-03-01]. Dostupné z: <http://www.cenia.cz/___C12572160037AA0F.nsf/showProject?OpenAgent&PID=CPRJ7T3H42O2&cat=schedule>.
- [URL 2] Cenia, česká informační agentura životního prostředí. ?. *Profil organizace* [online]. [cit. 2011-03-01]. Dostupné z <[http://www.cenia.cz/___C12571B20041E945.nsf/\\$pid/MZPMSFGQWNOT](http://www.cenia.cz/___C12571B20041E945.nsf/$pid/MZPMSFGQWNOT)>.
- [URL 3] Definiens. 2007. *Definiens Enterprise Image Intelligence Suite* [pdf dokument]. Německo, Mnichov [cit. 2011-03-22]. Dostupné z:<http://www.gisat.cz/images/upload/c3534_definiens-enterprise-image-intelligence-suite.pdf >.
- [URL 4] EEA : European Environment Agency. 1994. *CORINE Land Cover* [online]. Datum publikace 31.12. 1994, [cit. 2011-03-01]. Dostupné z: <<http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>>.
- [URL 5] EEA : European Environment Agency. ?. *Kdo jsme* [online]. [cit. 2011-07-20]. Dostupné z: <<http://www.eea.europa.eu/cs/about-us/who>>.
- [URL 6] EEA : European Environment Agency. ?. *Land Cover 2006 : Overview of land cover & change 2000–2006* [pdf dokument]. [cit. 2011-08-07]. Dostupné z: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/land-cover-2006-and-changes/czech-republic-1/at_download/file>.
- [URL 7] Eionet : European Environment Information and Observation Network. 2011. *About Eionet* [online]. Poslední aktualizace 25. 3. 2011. [cit. 2011-07-20]. Dostupné z: <<http://www.eionet.europa.eu/about>>.

- [URL 8] ESA : European Space Agency. 2000. *Spot HRV(IR)* [online]. ©2000–2011. [cit. 2011-08-02]. Dostupné z: <<http://earth.esa.int/object/index.cfm?fobjectid=4074>>.
- [URL 9] Gisat. ?. *eCognition* [online]. [cit. 2011-03-22]. Dostupné z: <<http://www.gisat.cz/content/cz/software/ecognition>>.
- [URL 10] Gisat. ?. *Geomatica* [online]. [cit. 2011-03-27]. Dostupné z: <<http://www.gisat.cz/content/cz/software/pci-geomatics/geomatica>>.
- [URL 11] Gisat. ?. *Klasifikace* [online]. [cit. 2011-03-16]. Dostupné z: <<http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/zpracovani-dat/klasifikace>>.
- [URL 12] Gisat. ?. *Land cover & Land use* [online]. [cit. 2011-03-03]. Dostupné z: <<http://www.gisat.cz/content/cz/produkty/vektorova-data/land-cover--land-use>>.
- [URL 13] Gisat. ?. *Landsat* [online]. [cit. 2011-08-02]. Dostupné z: <<http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/prehled-druzicovych-systemu/landsat>>.
- [URL 14] Gisat. ?. *Spot* [online]. [cit. 2011-08-02]. Dostupné z: <<http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/prehled-druzicovych-systemu/spot>> .
- [URL 15] Global average NDVI over time [online]. Poslední aktualizace 2. 3. 2011. [cit. 2011-08-01]. Dostupné z: <<http://www.rainbowboys.blogspot.com/2011/03/global-average-ndvi-over-time.html>>.
- [URL 16] *Kanonická korelační analýza* [pdf dokument]. [cit. 2011-04-01]. Dostupné z: <<http://meloun.upce.cz/docs/research/chemometrics/methodology/4emetody.pdf>>.
- [URL 17] NASA. 2011. *The Landsat Program – History* [online]. Poslední aktualizace 20. 8. 2011 [cit. 2011-08-02]. Dostupné z: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/history.html>>.
- [URL 18] PCI Geomatics. 2006. *Geomatica 10 Brochure* [pdf dokument]. [cit. 2011-03-27]. Dostupné z: <http://www.gisat.cz/images/upload/31beb_geomatica-v10.pdf>.
- [URL 19] Trimble. 2011. *eCognition Software* [online]. [cit. 2011-03-22]. Dostupné z: <<http://www.ecognition.com/products>>.
- [URL 20] Wikipedie – otevřená encyklopedie. 2011. *Segmentace obrazu* [online]. Poslední aktualizace 2. 4. 2011 [cit. 2011-03-03]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Segmentace_obrazu>.

Elektronické dokumenty

- AKSOY, S., AKCAY, H. G. 2005. *Multi-resolution Segmentation and Shape Analysis for remote Sensing Image Classification* [pdf dokument]. Turecko, Ankara : Bilkent University [cit. 2011-03-18]. Dostupné z: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.100.117&rep=rep1&type=pdf>>.
- BOSSARD, M., FERANEC, J., OTAHEL, J. 2000. *Definice tříd CLC* [pdf dokument]. EEA [cit. 2011-07-10]. Dostupné z: <http://www.usbe.cas.cz/people/kucera/LE/TEXTY/Katalog_CORINE.pdf>.
- CASEY, C., HOLT, A. 2007. *Advanced Segmentation with Definiens' eCognition* [pdf dokument]. U.S., Berkeley : University of California [cit. 2011-03-18]. Dostupné z: <<http://gif.berkeley.edu/>>.
- CENIA, česká informační agentura životního prostředí. 2011. *CLC 2006 technical guidelines* [email]. Datum publikace 17. 11. 2007. Datum odeslání 26. 5. 2011.
- DI GREGORIO, A., JANSEN, L. J. M. 2000. *Land Cover Classification System (LCCS)* [online]. Rome : Natural Resources and Environment Department [cit. 2011-08-20]. Dostupné z: <<http://www.fao.org/docrep/003/x0596e/x0596e00.htm>>. ISBN 92-5-104216-0.
- DOBROVOLNÝ, P. 2007. *Mapování vegetace s využitím družicových snímků* [online]. Výukový materiál. Brno : MU, Přírodovědecká fakulta [cit. 2011-08-01]. Dostupné z: <http://www.sci.muni.cz/~dobro/zemsky_povrch_vegetace.html>.
- DRAGUT, L., TIEDE, D., LEVICK S. R. 2009. *ESP : a tool to estimate scale parameter for multiresolution image segmentation of remotely sensed data* [pdf dokument]. International Journal of Geographical Information Science, Vol. 24, No. 6, June 2010, 859–871 [cit. 2011-03-20]. Dostupné z: <<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/136588109031748>>.
- EIONET. 2010. *Corine Land Cover Legend* [pdf dokument]. [cit. 2011-07-01]. Dostupné z: <http://sia.eionet.europa.eu/CLC2006/CLC_Legend.pdf>.
- HORÁK, J. ?. *Spektrální charakteristiky objektů* [pdf dokument]. Výukový materiál. Ostrava : VŠB-TU, Institut geoformatiky [cit. 2011-07-15]. Dostupné z: <<http://gislinb.vsb.cz/~hor10/DPZ/DPZJH4.pdf>>.
- JOHN, A., BACHMAN, F. 2007. *MAD-Transformation Plugin for Definiens Developer 7.0* [pdf dokument]. Německo, Freiberg : Freiberg University of Mining and Technology [cit. 2011-04-01]. Dostupné z: <http://tufreiberg.de/fakult3/mage/geomonitoring/software/MAD_Manual.pdf>.
- MALÍKOVÁ, L. 2010. *Využití družicových dat vysokého časového rozlišení k určení spektrálních vlastností vegetace*. Diplomová práce. Praha : UK, Přírodovědecká fakulta. 65 s.

- NIELSEN, A. A. 2007. *The Regularized Iteratively Reweighted MAD Method for Change Detection in Multi- and Hyperspectral Data* [pdf dokument]. Ieee Transactions On Image Processing, Vol. 16, No. 2, February 2007, 463–478 [cit. 2011-04-01]. Dostupné z: <http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/views/edoc_download.php/4695/pdf/imm4695.pdf>.
- NIELSEN, A. A., CONRADSEN, K., SIMPSON, J. J. 1998. *Multivariate Alteration Detection (MAD) and MAF Postprocessing in Multispectral, Bitemporal Image Data : New Approaches* [pdf dokument]. U.S., New York [cit. 2011-04-01]. Dostupné z: <http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/views/edoc_download.php/1220/pdf/imm1220.pdf>.
- POTŮČKOVÁ, M. 2010. *Objektově orientovaná klasifikace obrazových dat* [prezentace ppt]. Výukový materiál předmětu ZIDPZ.
- SHORT, N. M. 2005. *Remote sensing Tutorial Introduction* [online]. [cit. 2011-08-01]. Dostupné z: http://www.fas.org/irp/imint/docs/rst/Intro/Part2_6.html.
- ŠPANĚL, M., BERAN V. 2005. *Obrazové segmentační techniky : Přehled existujících metod* [online]. Poslední aktualizace 19.1. 2006 [cit. 2011-03-03]. Dostupné z: <<http://www.fit.vutbr.cz/~spanel/segmentace/>>.
- TRIMBLE. 2010. *eCognition Developer 8.64 : User Guide* [pdf dokument]. Německo, Mnichov [cit. 2011-07-01]. Dokument součástí nápovědy eCognition Developer Trial verze 8.64.
- TUCKER, C. J., GRANT D. M., DYKSTRA J. D. 2004. *NASA's Global Orthorectified Landsat Data Set* [pdf dokument]. [cit. 2011-07-15]. Dostupné z: <http://glcf.umiacs.umd.edu/library/pdf/PERSMarch_04_313-322.pdf>.

Datové zdroje

- Gisat. 2011. *Družicové snímky Spot 4 a Landsat 7*. [flash disk].
- Gisat. 2011. *Vektorová databáze Corine Land Cover 2000*. [flash disk].
- EEA : European Environment Agency. 2011. *Corine Land Cover 2000 - 2006 changes - version 13* [online]. [cit. 2011-02-03]. Dostupné z: <<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2000-2006>>.
- GLCF : Global Land Cover Facility. 2011. *Earth Science Data Interface* [online]. University of Maryland, ©1997–2004 [cit. 2011-02-03]. Dostupné z: <<http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>>.
- Technische Universität Bergakademie Freiberg. 2011. *Object-based Change Detection : Developer 8 Plug-in* [online]. Poslední aktualizace 25. 11. 2009 [cit. 2011-02-20]. Dostupné z: <<http://tu-freiberg.de/fakult3/mage/geomonitoring/software/software.en.html>>.

SEZNAM PŘÍLOH

| | |
|------------|--|
| Příloha 1 | Nomenklatura CLC |
| Příloha 2 | Výřez 1. testovací oblasti |
| Příloha 3 | Výřez 2. testovací oblasti |
| Příloha 4 | Výřez 3. testovací oblasti |
| Příloha 5 | Testovací oblast č. 1 – čtyři komponenty podzimní scény |
| Příloha 6 | Testovací oblast č. 1 – multitemporální detekce |
| Příloha 7 | Testovací oblast č. 2 – čtyři komponenty podzimní scény |
| Příloha 8 | Testovací oblast č. 2 – multitemporální detekce |
| Příloha 9 | Testovací oblast č. 3 – čtyři komponenty podzimní scény |
| Příloha 10 | Testovací oblast č. 3 – multitemporální detekce |
| Příloha 11 | Testovací oblast č. 1 – TTA masky |
| Příloha 12 | Testovací oblast č. 2 – TTA masky |
| Příloha 13 | Testovací oblast č. 3 – TTA masky |
| Příloha 14 | Porovnání změnových masek 1. testovací oblasti – jarní scéna |
| Příloha 15 | Porovnání změnových masek 1. testovací oblasti – podzimní scéna |
| Příloha 16 | Porovnání změnových masek multitemporální detekce 1. testovací oblasti |
| Příloha 17 | Porovnání změnových masek 2. testovací oblasti – jarní scéna |
| Příloha 18 | Porovnání změnových masek 2. testovací oblasti – podzimní scéna |
| Příloha 19 | Porovnání změnových masek multitemporální detekce 2. testovací oblasti |
| Příloha 20 | Porovnání změnových masek 3. testovací oblasti – jarní scéna |
| Příloha 21 | Porovnání změnových masek 3. testovací oblasti – podzimní scéna |
| Příloha 22 | Porovnání změnových masek multitemporální detekce 3. testovací oblasti |
| Příloha 23 | CD s elektronickou verzí práce |

Příloha 1: Nomenklatura CLC (zdroj: Eionet, 2010)

| 1. úroveň | 2. úroveň | 3. úroveň |
|---|--|---|
| 1. ARTIFICIAL SURFACES (Urbanizovaná území) | 1.1 Urban fabric (<i>Městská zástavba</i>) | 1.1.1 Continuous urban fabric (<i>Souvislá městská zástavba</i>) 1.1.2 Discontinuous urban fabric (<i>Nesouvislá městská zástavba</i>) |
| | 1.2 Industrial, commercial and transport units (<i>Průmyslové, obchodní a dopravní oblasti</i>) | 1.2.1 Industrial or commercial units (<i>Průmyslové nebo obchodní zóny</i>) 1.2.2 Road and rail networks and associated land (<i>Silniční a železniční síť a přilehlé prostory</i>) 1.2.3 Port areas (<i>Přístavy</i>) 1.2.4 Airports (<i>Letiště</i>) |
| | 1.3 Mine, dump and construction sites (<i>Doly, skládky a staveniště</i>) | 1.3.1 Mineral extraction sites (<i>Oblasti těžby surovin</i>) 1.3.2 Dump sites (<i>Skládky</i>) |
| | 1.4 Artificial, non-agricultural vegetated areas (<i>Plochy umělé, nezemědělské zeleně</i>) | 1.3.3 Construction sites (<i>Staveniště</i>) 1.4.1 Green urban areas (<i>Plochy městské zeleně</i>) 1.4.2 Sport and leisure facilities (<i>Zařízení pro sport a rekreaci</i>) |
| 2. AGRICULTURAL AREAS (Zemědělské plochy) | 2.1 Arable land (<i>Orná půda</i>) | 2.1.1 Non-irrigated arable land (<i>Nezavlažovaná orná půda</i>) 2.1.2 Permanently irrigated land (<i>Trvale zavlažovaná orná půda</i>) 2.1.3 Rice fields (<i>Rýžová pole</i>) |
| | 2.2 Permanent crops (<i>Trvalé kultury</i>) | 2.2.1 Vineyards (<i>Vinice</i>) 2.2.2 Fruit trees and berry plantations (<i>Ovocné sady a keře</i>) 2.2.3 Olive groves (<i>Olivové háje</i>) |
| | 2.3 Pastures (<i>Travní porosty</i>) | 2.3.1 Pastures (<i>Louky a pastviny</i>) |
| | 2.4 Heterogeneous agricultural areas (<i>Různorodé zemědělské plochy</i>) | 2.4.1 Annual crops associated with permanent crops (<i>Jednoleté plodiny spojené s trvalými kulturami</i>) 2.4.2 Complex cultivation patterns (<i>Komplexní systém kultur</i>) 2.4.3 Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation (<i>Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací</i>) 2.4.4 Agro-forestry areas (<i>Území zemědělsko-lesnická</i>) |

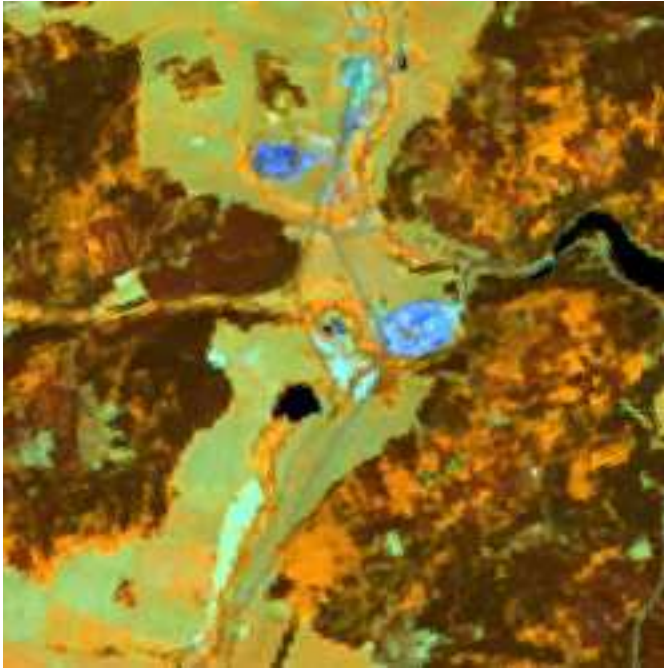
| | | |
|---|---|--|
| 3. FOREST AND SEMI NATURAL AREAS (<i>Lesy a polopřirodní oblasti</i>) | 3.1 Forests (<i>Lesy</i>) | 3.1.1 Broad-leaved forest (<i>Listnaté lesy</i>) 3.1.2 Coniferous forest (<i>Jehličnaté lesy</i>) 3.1.3 Mixed forest (<i>Smíšené lesy</i>) |
| | 3.2 Scrub and/or herbaceous vegetation associations (<i>Křovinaté a/nebo travnaté porosty</i>) | 3.2.1 Natural grasslands (<i>Přírodní louky</i>) 3.2.2 Moors and heathland (<i>Slatiny a vřesoviště</i>) 3.2.3 Sclerophyllous vegetation (<i>Tvrdolistá vegetace</i>) 3.2.4 Transitional woodland-shrub (<i>Nízký porost v lese</i>) |
| | 3.3 Open spaces with little or no vegetation (<i>Otevřené plochy s malým nebo žádným zastoupením vegetace</i>) | 3.3.1 Beaches, dunes, sands (<i>Pláže, duny, písky</i>) 3.3.2 Bare rocks (<i>Holé skály</i>) 3.3.3 Sparsely vegetated areas (<i>Oblasti s řídkou vegetací</i>) 3.3.4 Burnt areas (<i>Vypálené oblasti</i>) 3.3.5 Glaciers and perpetual snow (<i>Ledovce a věčný sníh</i>) |
| 4. WETLANDS (<i>Mokřady</i>) | 4.1 Inland wetlands (<i>Vnitrozemské mokřady</i>) | 4.1.1 Inland marshes (<i>Vnitrozemské bažiny</i>) 4.1.2 Peat bogs (<i>Rašeliniště</i>) |
| | 4.2 Maritime wetlands (<i>Přímořské mokřady</i>) | 4.2.1 Salt marshes (<i>Slaniska</i>) 4.2.2 Salines (<i>Slané bažiny</i>) 4.2.3 Intertidal flats (<i>Přílivové oblasti</i>) |
| 5. WATER BODIES (<i>Vodní útvary</i>) | 5.1 Inland waters (<i>Pevninské vody</i>) | 5.1.1 Water courses (<i>Vodní toky</i>) 5.1.2 Water bodies (<i>Vodní plochy</i>) |
| | 5.2 Marine waters (<i>Mořské vody</i>) | 5.2.1 Coastal lagoons (<i>Pobřežní laguny</i>) 5.2.2 Estuaries (<i>Ústí řek</i>) 5.2.3 Sea and ocean (<i>Moře a oceán</i>) |

Pozn.: Překlad tříd byl proveden s pomocí dokumentu *Definice tříd CLC* (Bossard; Feranec; Otahel, 2000)

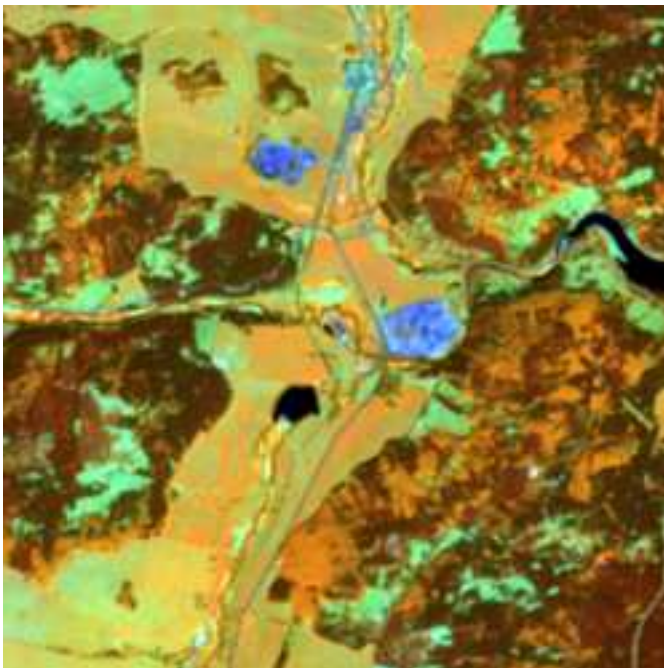
Příloha 2: Výřez 1. testovací oblasti (zdroj: GISAT, 2011)

JARNÍ SCÉNA

Landsat

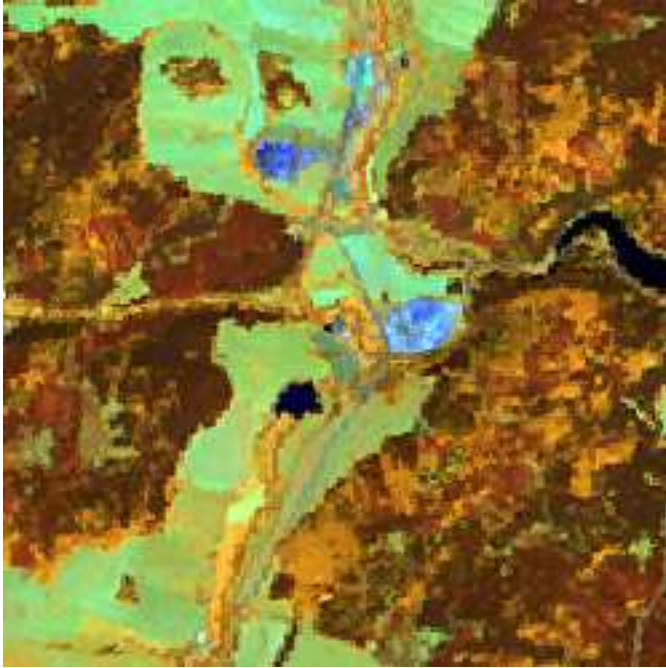


Spot

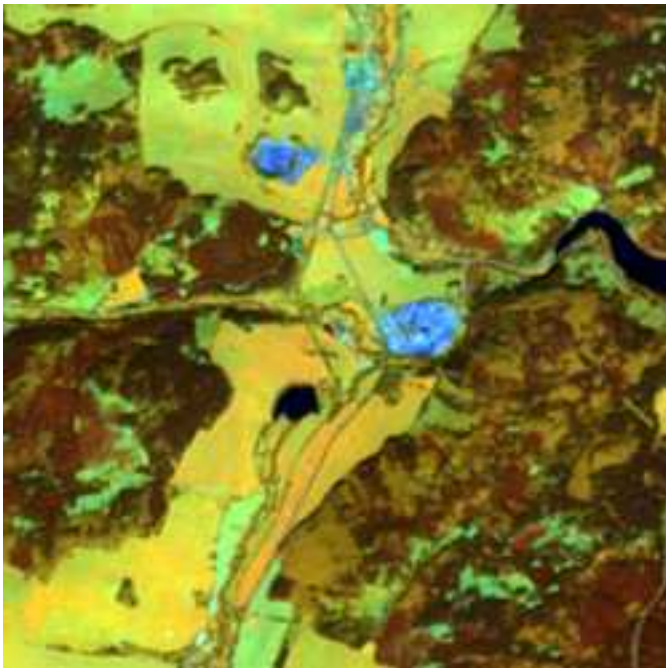


PODZIMNÍ SCÉNA

Landsat



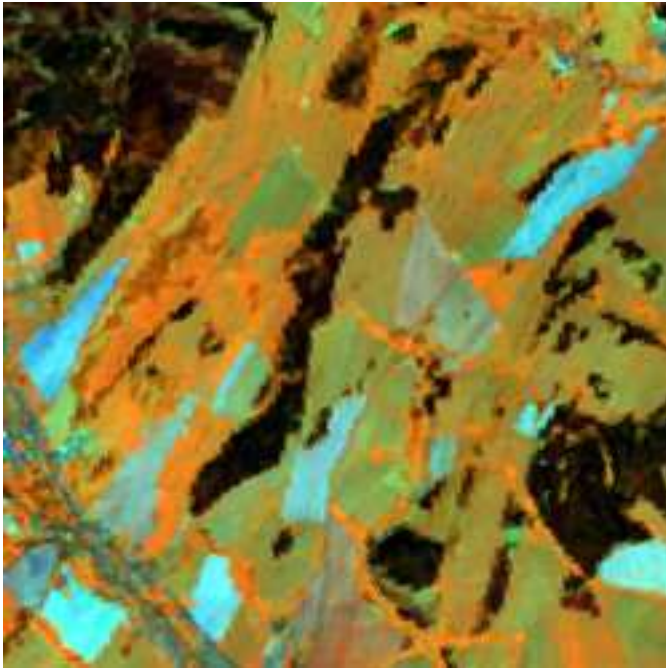
Spot



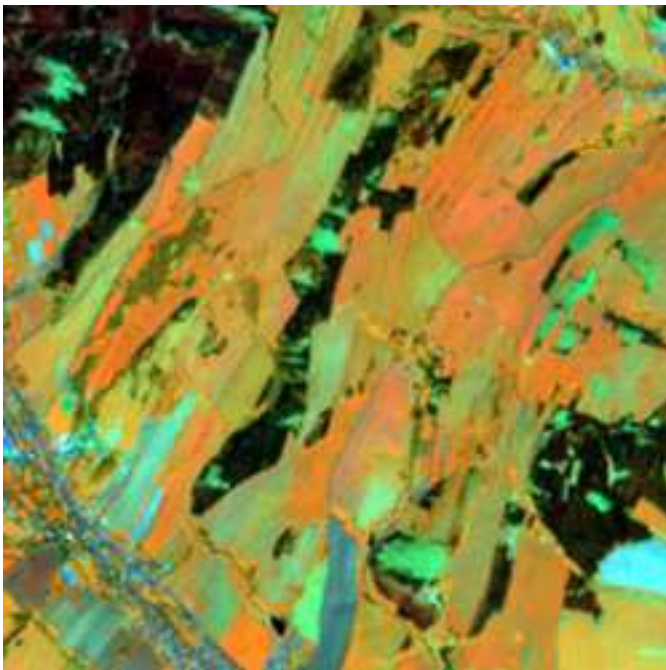
Příloha 3: Výřez 2. testovací oblasti (zdroj: GISAT, 2011)

JARNÍ SCÉNA

Landsat

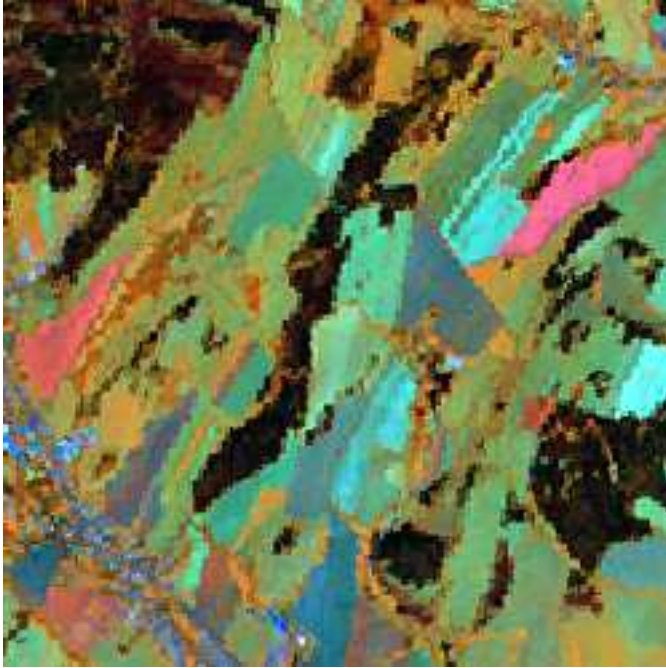


Spot

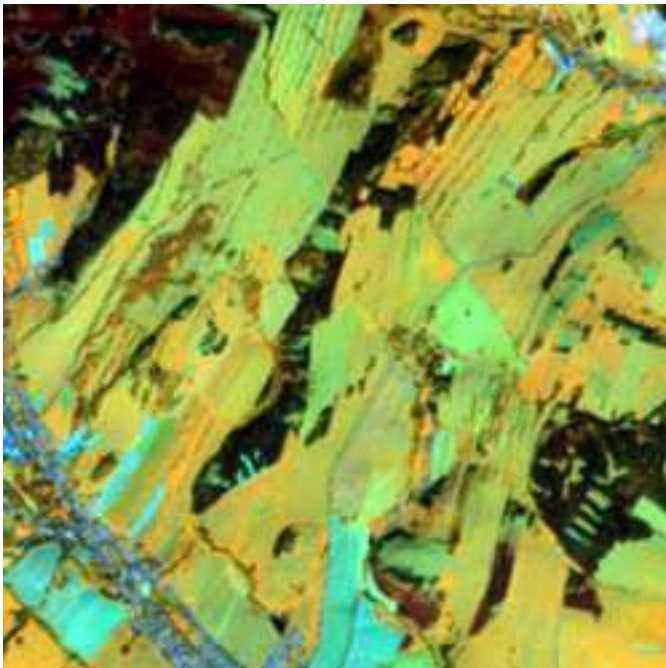


PODZIMNÍ SCÉNA

Landsat



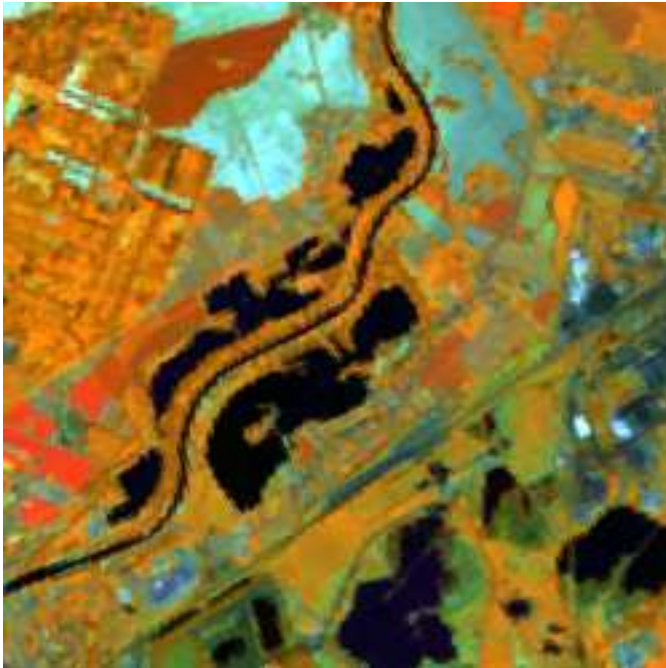
Spot



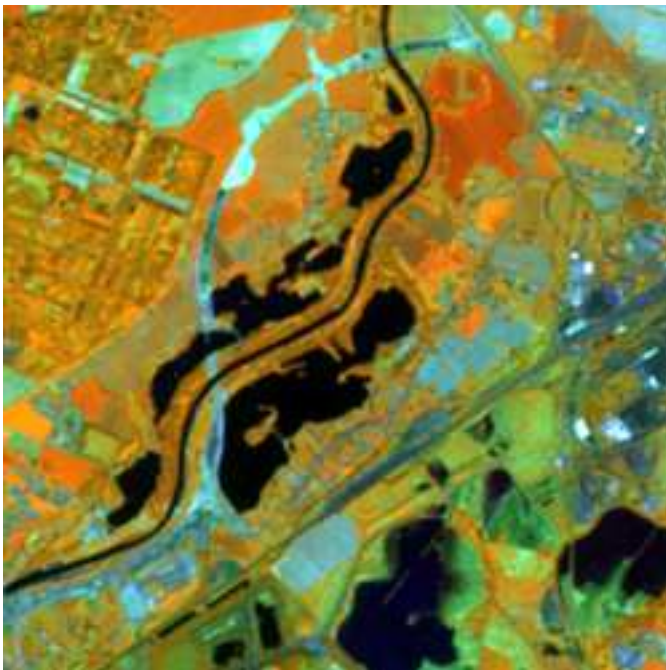
Příloha 4: Výřez 3. testovací oblasti (zdroj: GISAT, 2011)

JARNÍ SCÉNA

Landsat

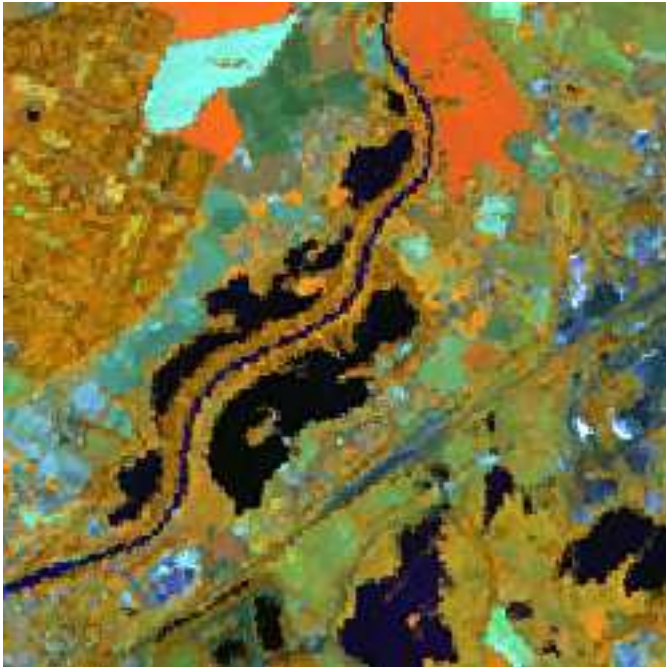


Spot

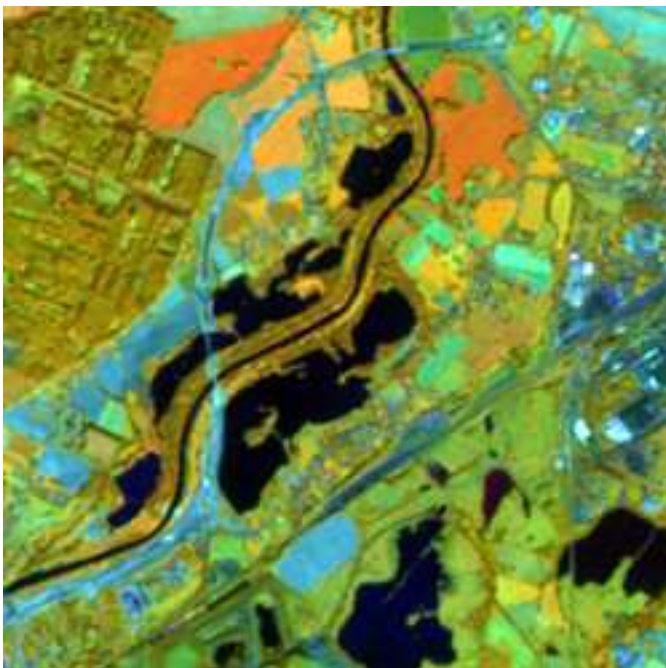


PODZIMNÍ SCÉNA

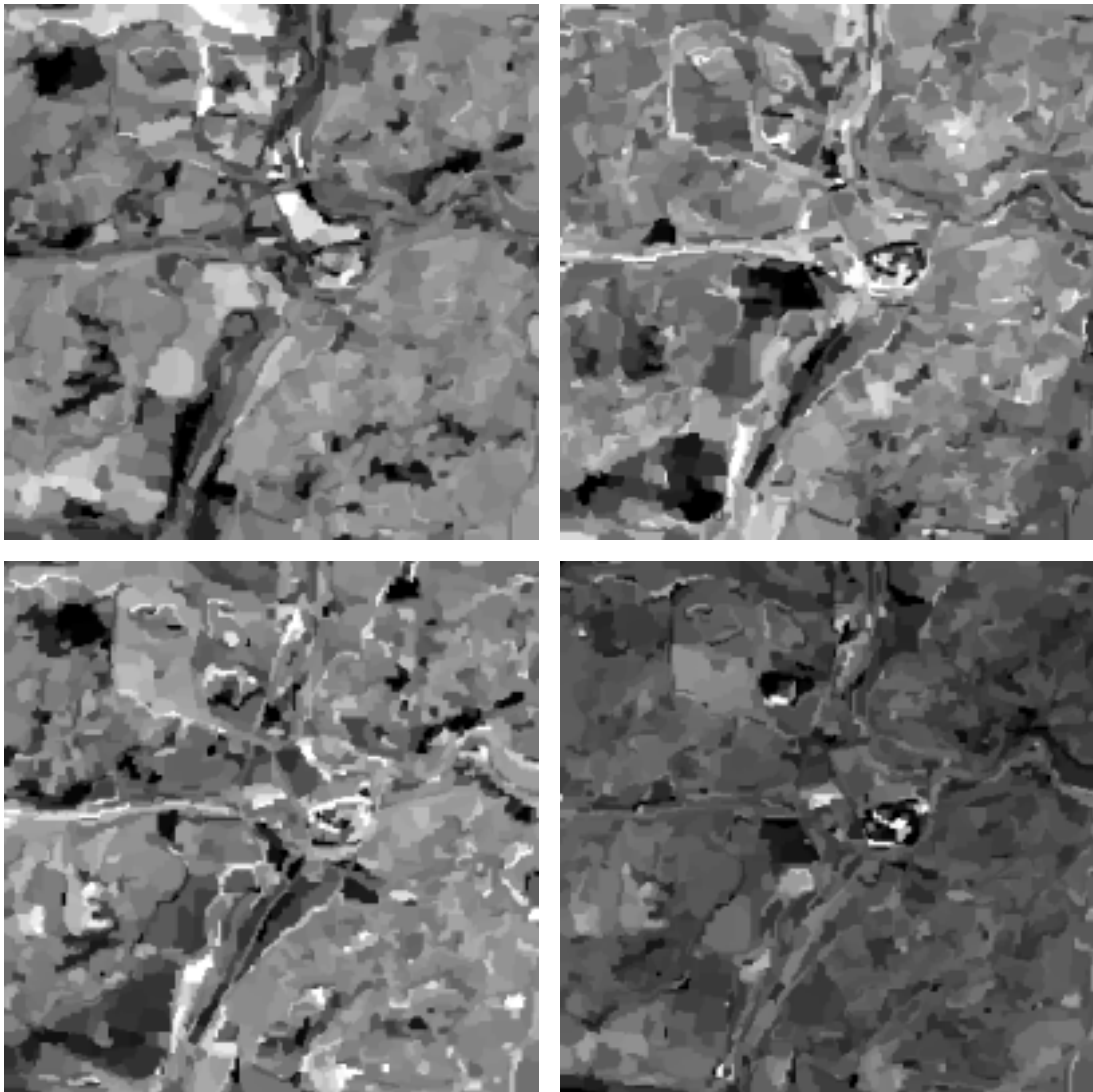
Landsat



Spot



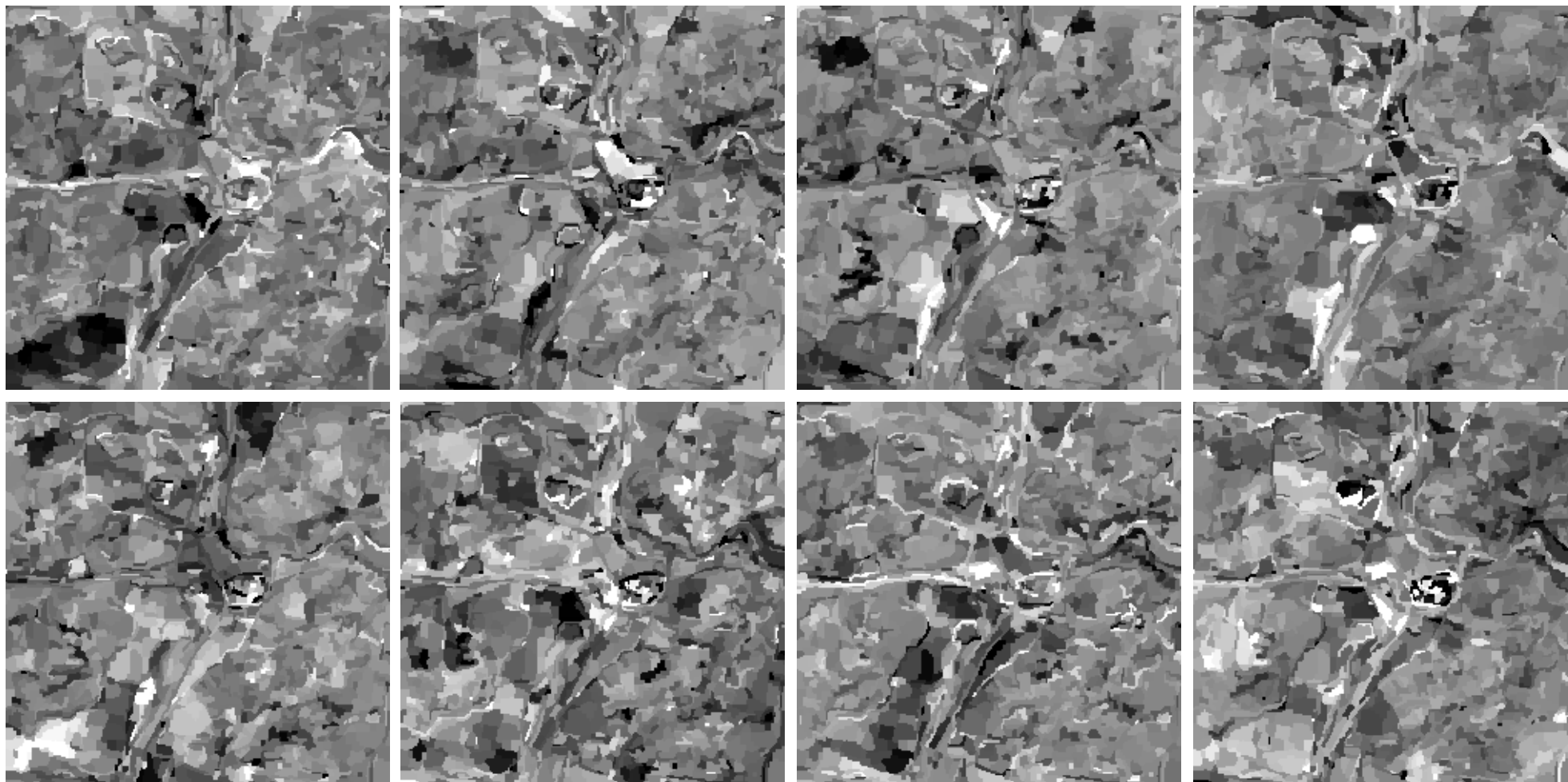
Příloha 5: Testovací oblast č. 1 – čtyři komponenty podzimní scény (zdroj: vlastní)



Pozn. : Rozmístění komponent je následující: MAD1(a), MAD2 (b), MAD3 (c), MAD4 (d).
Snímky byly zmenšeny na velikost 200×200 px. Tmavá a světlá barva znázorňuje
změnové oblasti. Šedou barvu mají oblasti beze změn.

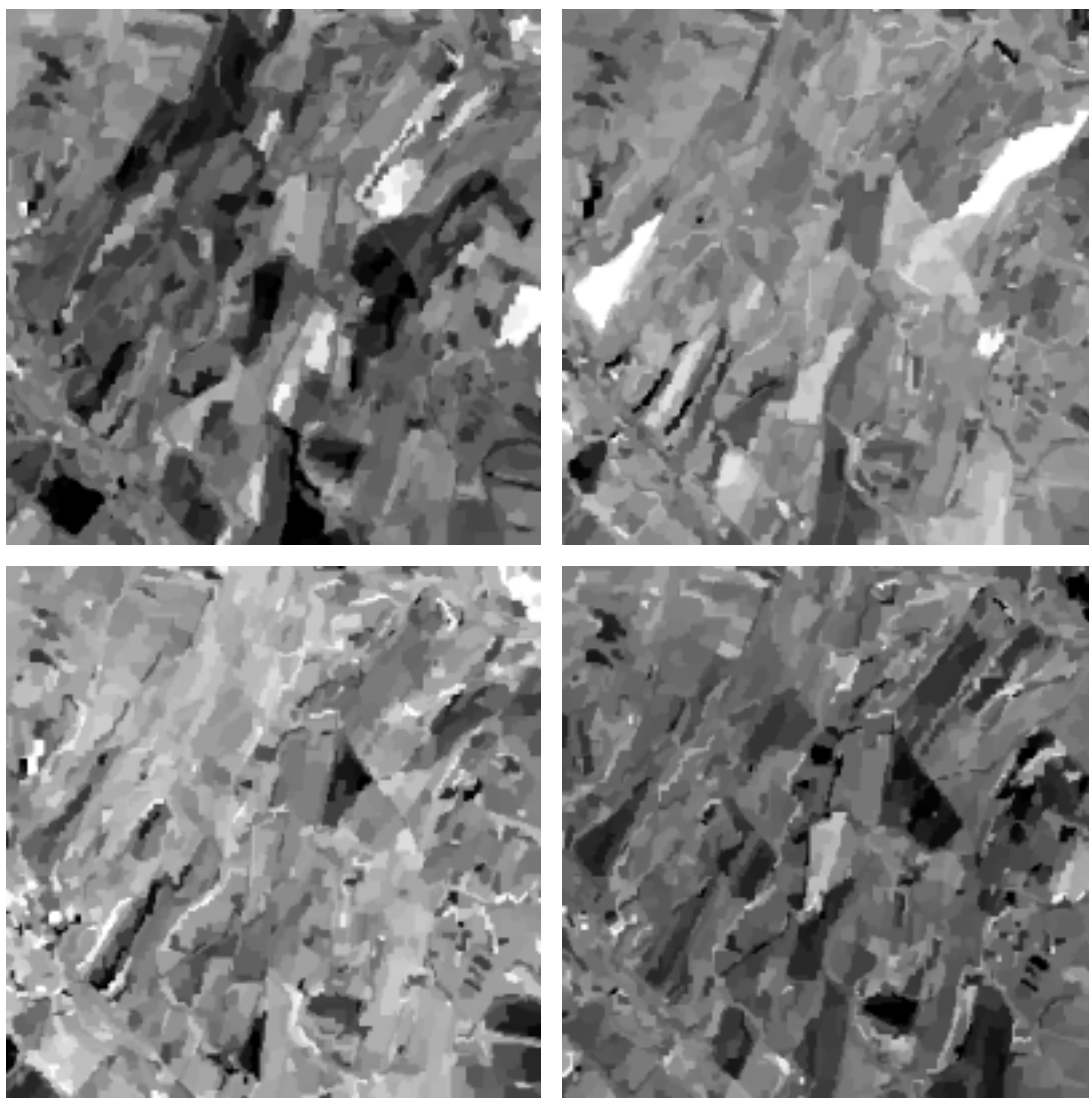
| | |
|---|---|
| a | b |
| c | d |

Příloha 6: Testovací oblast č. 1 – multitemporální detekce (zdroj: vlastní)



Pozn.: Komponenty MAD1–MAD8 jsou číslovány zleva doprava. Snímky byly zmenšeny na velikost 180×180 px. Tmavá a světlá barva znázorňuje změnové oblasti. Šedou barvu mají oblasti beze změn.

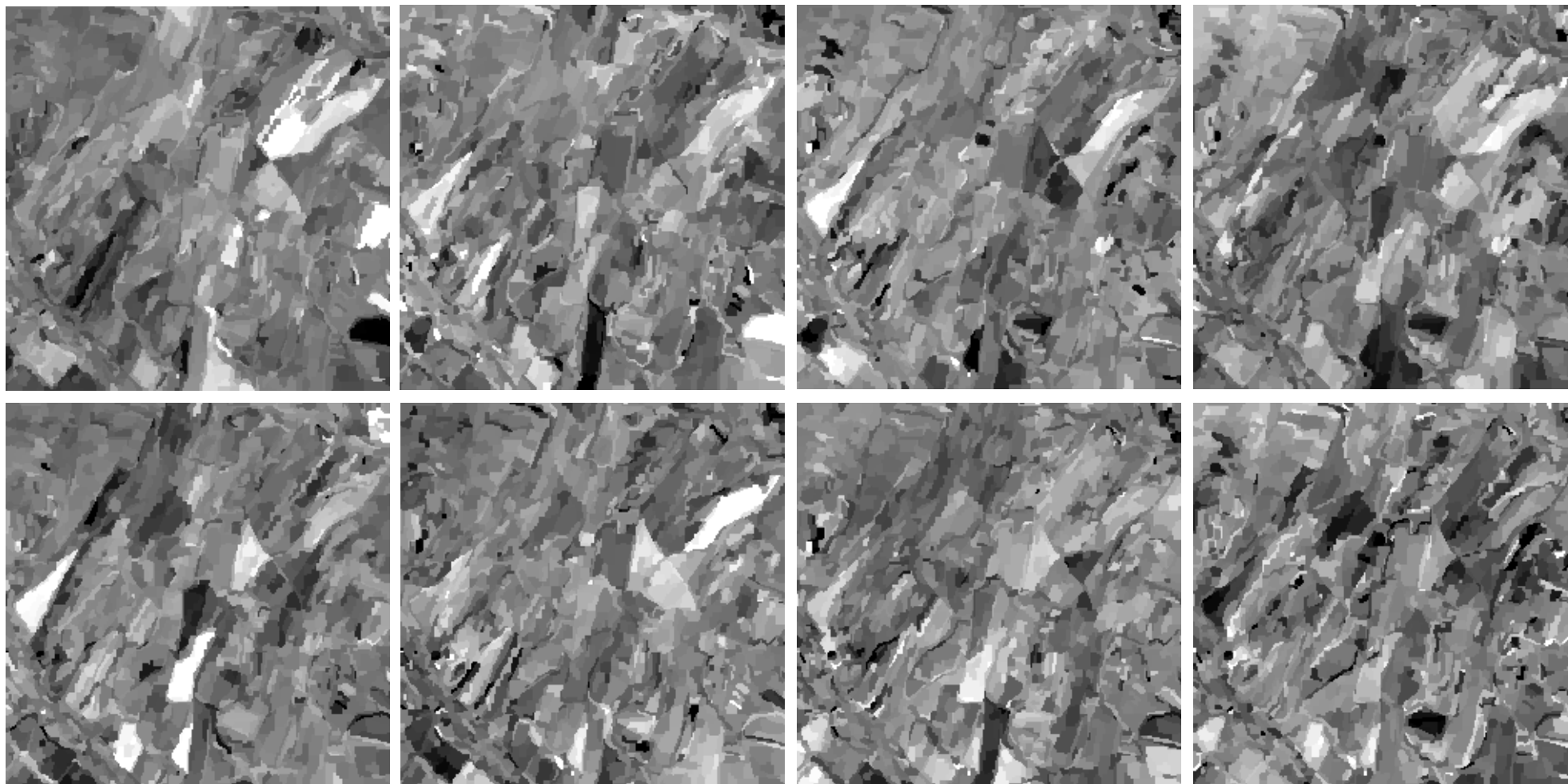
Příloha 7: Testovací oblast č. 2 – čtyři komponenty podzimní scény (zdroj: vlastní)



Pozn.: Rozmístění komponent je následující: MAD1(a), MAD2 (b), MAD3 (c), MAD4 (d).
Snímky byly zmenšeny na velikost 200×200 px. Tmavá a světlá barva znázorňuje
změnové oblasti. Šedou barvu mají oblasti beze změn.

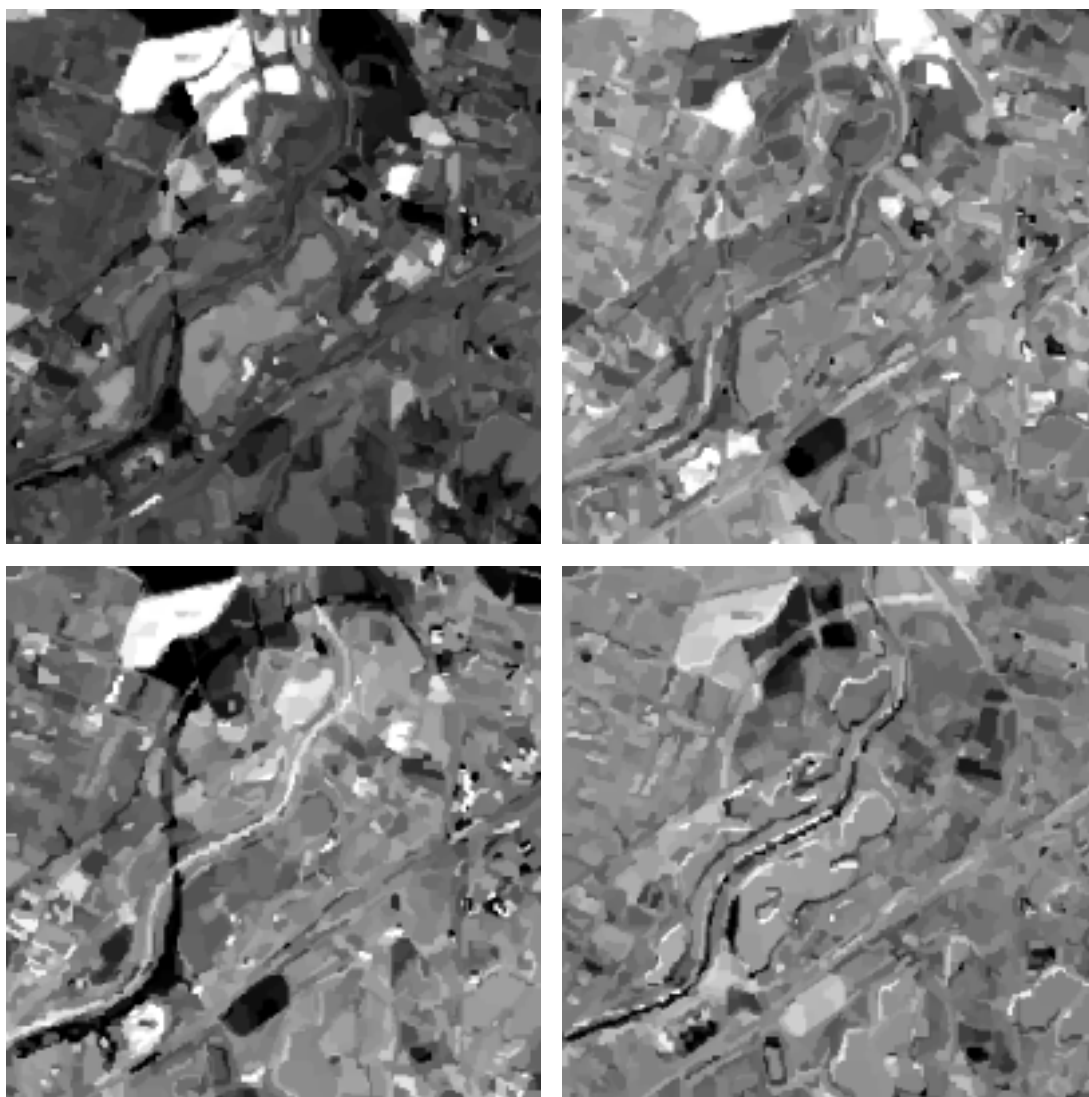
| | |
|---|---|
| a | b |
| c | d |

Příloha 8: Testovací oblast č. 2 – multitemporální detekce (zdroj: vlastní)



Pozn.: Komponenty MAD1–MAD8 jsou číslovány zleva doprava. Snímky byly zmenšeny na velikost 180×180 px. Tmavá a světlá barva znázorňuje změnové oblasti. Šedou barvu mají oblasti beze změn.

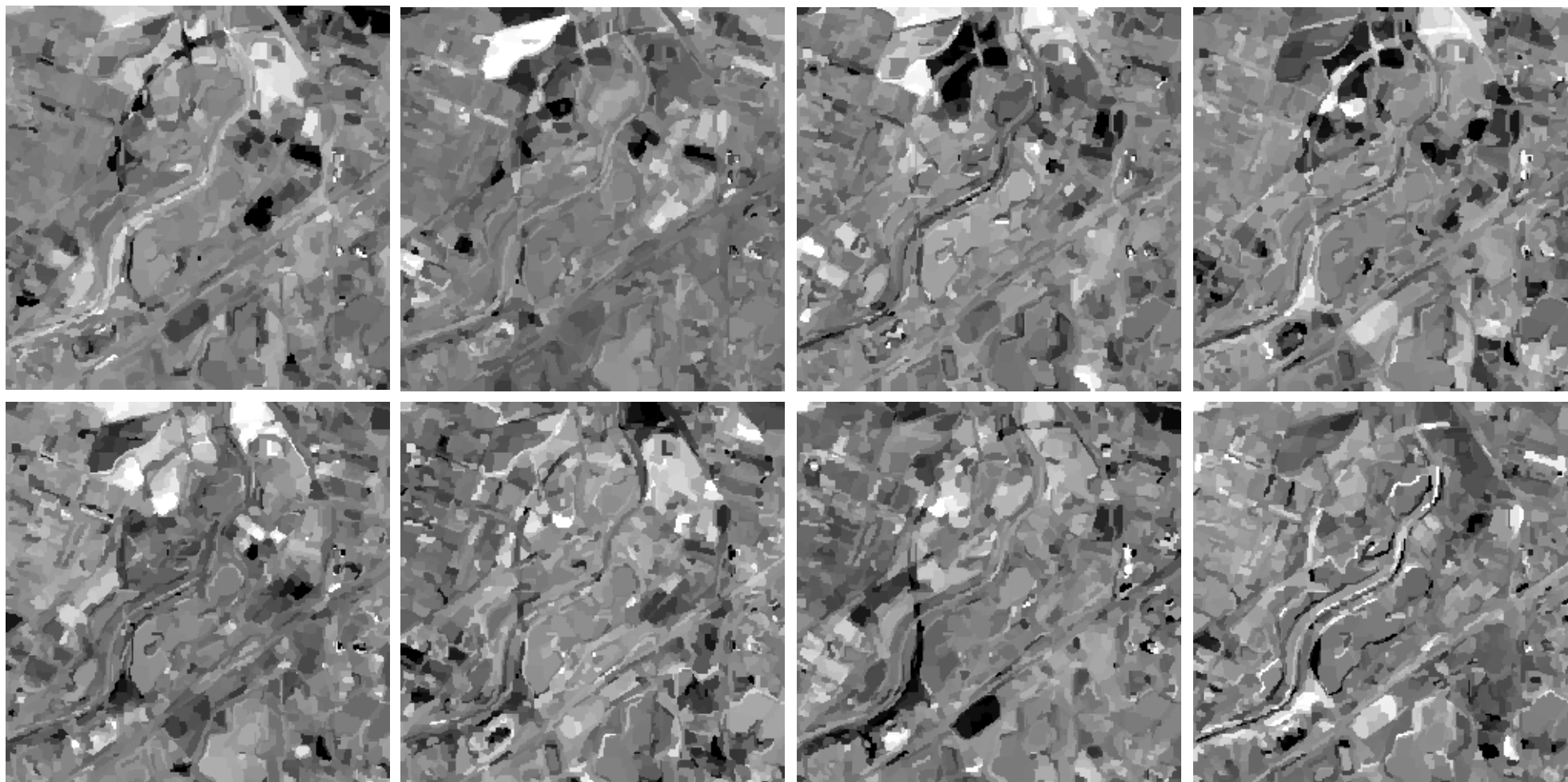
Příloha 9: Testovací oblast č. 3 – čtyři komponenty podzimní scény (zdroj: vlastní)



Pozn.: Rozmístění komponent je následující: MAD1(a), MAD2 (b), MAD3 (c), MAD4 (d).
Snímky byly zmenšeny na velikost 200×200 px. Tmavá a světlá barva znázorňuje
změnové oblasti. Šedou barvu mají oblasti beze změn.

| | |
|---|---|
| a | b |
| c | d |

Příloha 10: Testovací oblast č. 3 – multitemporální detekce (zdroj: vlastní)



Pozn.: Komponenty MAD1–MAD8 jsou číslovány zleva doprava. Snímky byly zmenšeny na velikost 180×180 px. Tmavá a světlá barva znázorňuje změnové oblasti. Šedou barvu mají oblasti beze změn.

Příloha 11: Testovací oblast č. 1 – TTA masky (zdroj: vlastní)

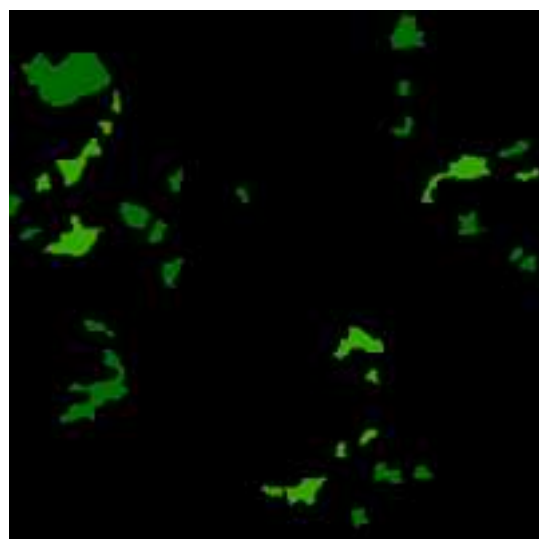
Změnová maska MAD (vlevo) a vizuální maska (vpravo) jarní scény





Změnová maska MAD (vlevo) a vizuální maska (vpravo) podzimní scény



Změnová maska MAD multitemporální detekce

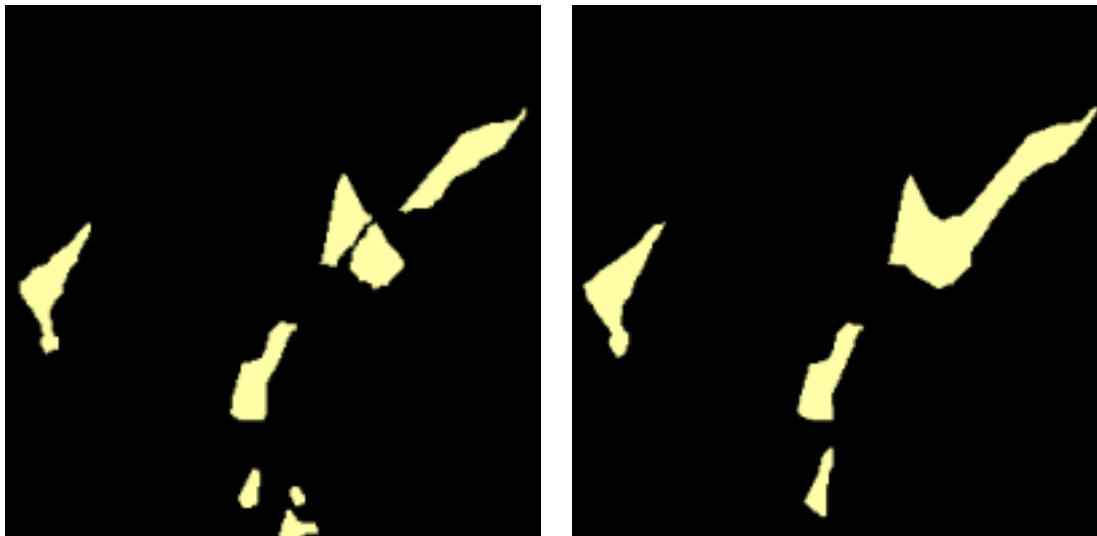


-  změnové regiony jehličnatého lesa
-  změnové regiony smíšeného lesa

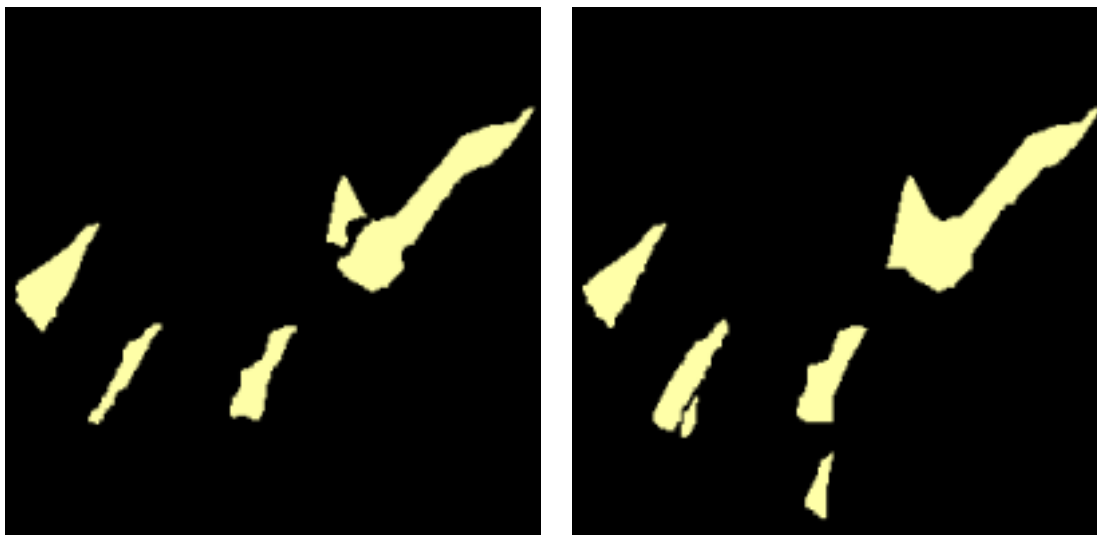
Pozn.: Snímky byly zmenšeny na velikost
200×200 px

Příloha 12: Testovací oblast č. 2 – TTA masky (zdroj: vlastní)

Změnová maska MAD (vlevo) a vizuální maska (vpravo) jarní scény




Změnová maska MAD (vlevo) a vizuální maska (vpravo) podzimní scény



Změnová maska MAD multitemporální detekce

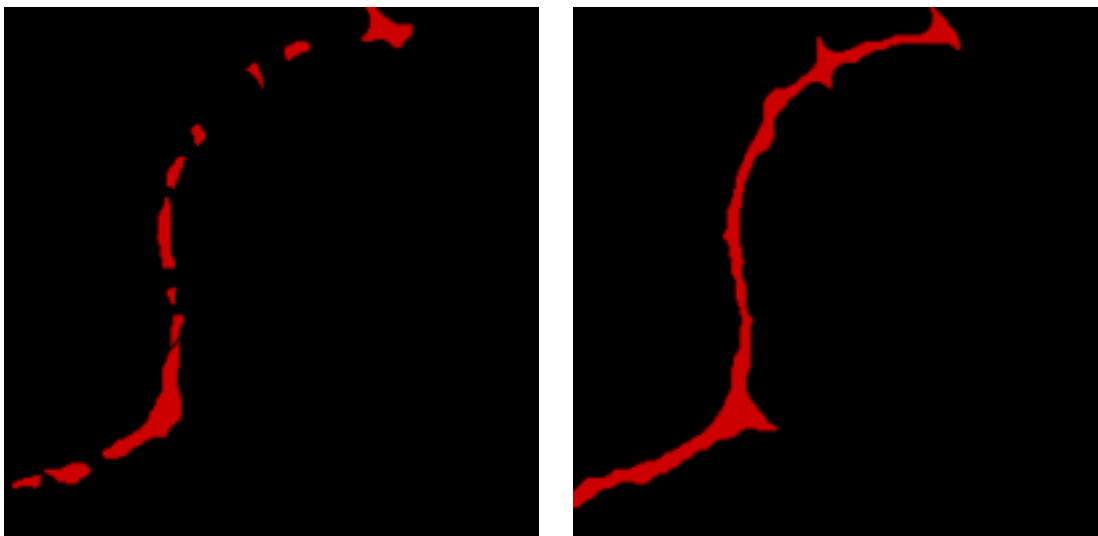


 změnové regiony orné půdy

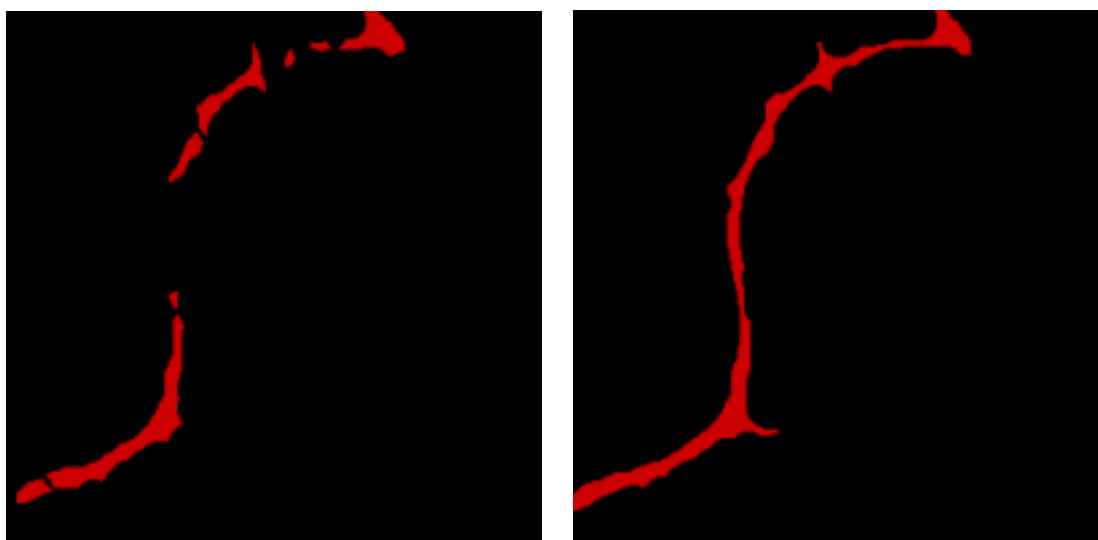
Pozn.: Snímky byly zmenšeny na velikost 200×200 px.

Příloha 13: Testovací oblast č. 3 – TTA masky (zdroj: vlastní)

Změnová maska MAD (vlevo) a vizuální maska (vpravo) jarní scény




Změnová maska MAD (vlevo) a vizuální maska (vpravo) podzimní scény



Změnová maska MAD multitemporální detekce



 změna regionů na zástavbu

Pozn.: Snímky byly zmenšeny na velikost 200×200 px.

Příloha 14: Porovnání změnových masek 1. testovací oblasti – jarní scéna (zdroj: vlastní)

Databáze CLC Change a změnová maska MAD



- změnové regiony jehličnatého lesa databáze CLC
- změnové regiony smíšeného lesa databáze CLC
- změnové regiony jehličnatého lesa masky MAD
- změnové regiony smíšeného lesa masky MAD

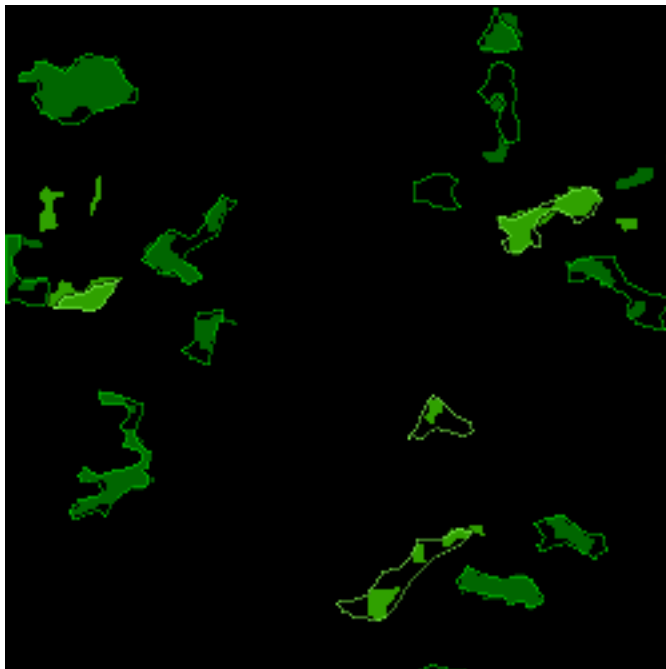
Vizuální maska a změnová maska MAD







- změnové regiony jehličnatého lesa vizuální masky
- změnové regiony smíšeného lesa vizuální masky
- změnové regiony jehličnatého lesa masky MAD
- změnové regiony smíšeného lesa masky MAD

Příloha 15: Porovnání změnových masek 1. testovací oblasti – podzimní scéna
(zdroj: vlastní)





Databáze CLC Change a změnová maska MAD



-  změnové regiony jehličnatého lesa databáze CLC
-  změnové regiony smíšeného lesa databáze CLC
-  změnové regiony jehličnatého lesa masky MAD
-  změnové regiony smíšeného lesa masky MAD

Vizuální maska a změnová maska MAD







-  změnové regiony jehličnatého lesa vizuální masky
-  změnové regiony smíšeného lesa vizuální masky
-  změnové regiony jehličnatého lesa masky MAD
-  změnové regiony smíšeného lesa masky MAD

Příloha 16: Porovnání změnových masek multitemporální detekce 1. testovací oblasti (zdroj: vlastní)





Databáze CLC Change a změnová maska MAD



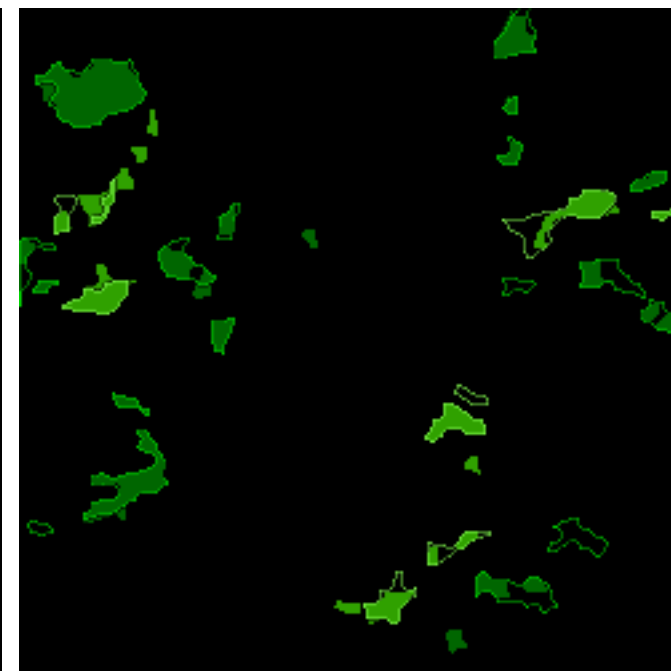
-  změnové regiony jehličnatého lesa databáze CLC
-  změnové regiony smíšeného lesa databáze CLC
-  změnové regiony jehličnatého lesa masky MAD
-  změnové regiony smíšeného lesa masky MAD





Vizuální maska jarní scény a změnová maska MAD



-  změnové regiony jehličnatého lesa vizuální masky
-  změnové regiony smíšeného lesa vizuální masky
-  změnové regiony jehličnatého lesa masky MAD
-  změnové regiony smíšeného lesa masky MAD

Vizuální maska podzimní scény a změnová maska MAD





-  změnové regiony jehličnatého lesa vizuální masky
-  změnové regiony smíšeného lesa vizuální masky
-  změnové regiony jehličnatého lesa masky MAD
-  změnové regiony smíšeného lesa masky MAD

Příloha 17: Porovnání změnových masek 2. testovací oblasti – jarní scéna (zdroj: vlastní)



Databáze CLC Change a změnová maska MAD



-  změnové regiony orné půdy databáze CLC
-  změnové regiony orné půdy masky MAD

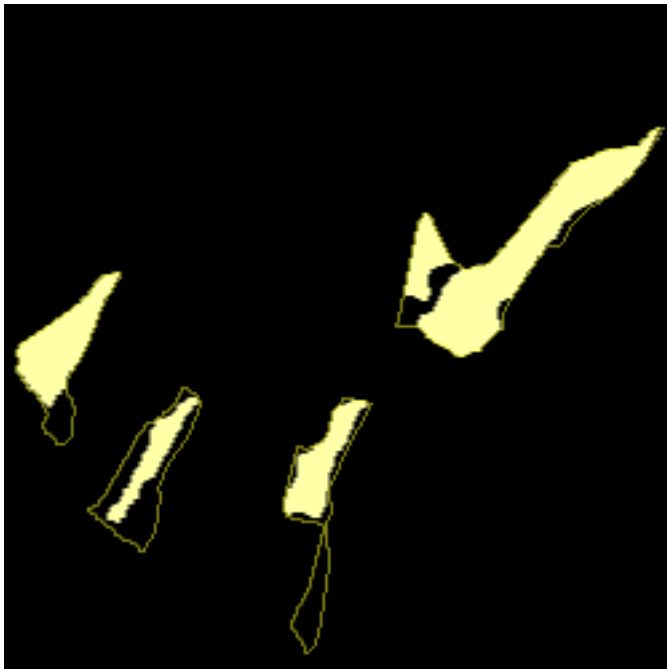
Vizuální maska a změnová maska MAD



-  změnové regiony orné půdy vizuální masky
-  změnové regiony orné půdy masky MAD

Příloha 18: Porovnání změnových masek 2. testovací oblasti – podzimní scéna
(zdroj: vlastní)

Databáze CLC Change a změnová maska MAD

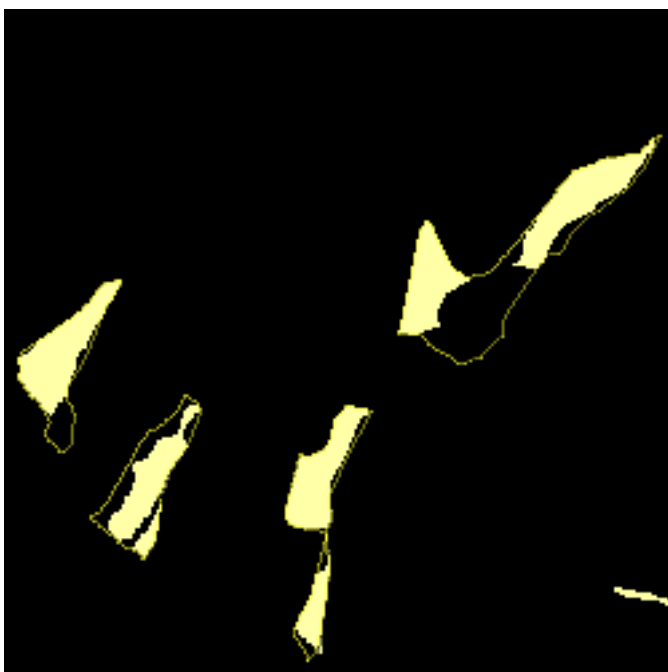


Vizuální maska a změnová maska MAD



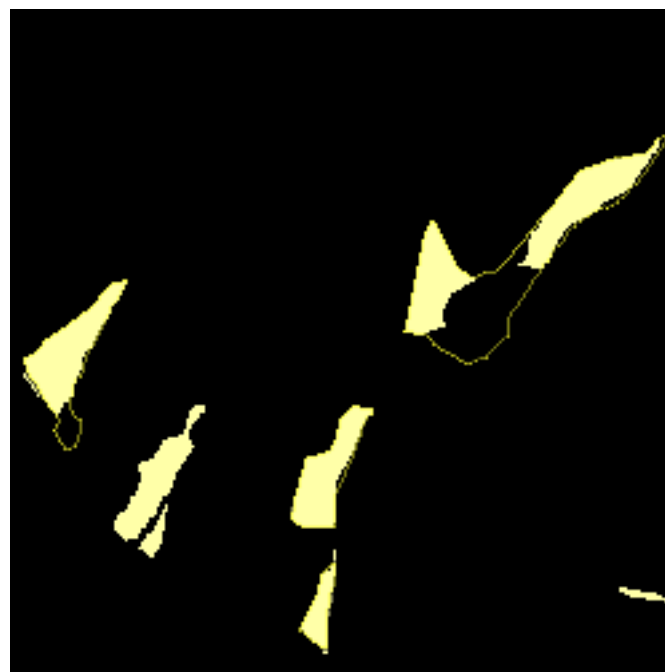
Příloha 19: Porovnání změnových masek multitemporální detekce 2. testovací oblasti (zdroj: vlastní)

Databáze CLC Change a změnová maska MAD



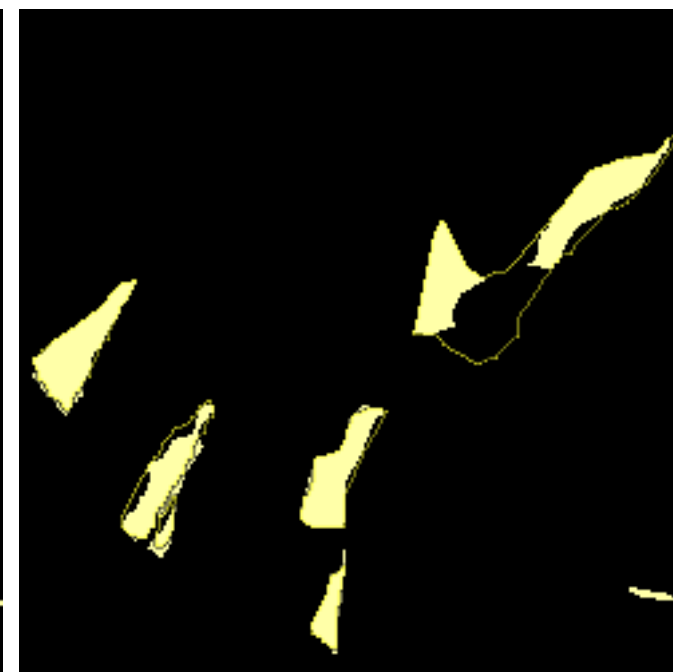
změnové regiony orné půdy databáze CLC
změnové regiony orné půdy masky MAD

Vizuální maska jarní scény a změnová maska MAD



změnové regiony orné půdy vizuální masky
změnové regiony orné půdy masky MAD

Vizuální maska podzimní scény a změnová maska MAD

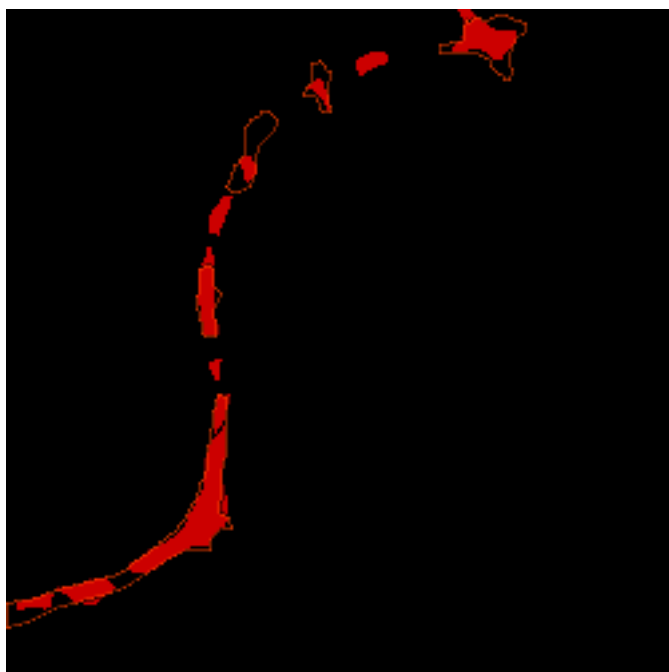




změnové regiony orné půdy vizuální masky
změnové regiony orné půdy masky MAD

Příloha 20: Porovnání změnových masek 3. testovací oblasti – jarní scéna

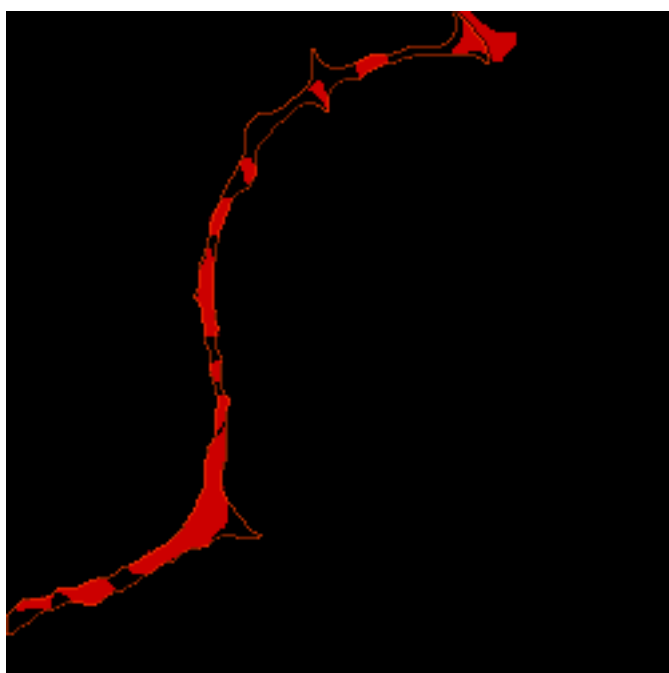
(zdroj: vlastní)



Databáze CLC Change a změnová maska MAD



-  změnové regiony zástavby databáze CLC
-  změnové regiony zástavby masky MAD

Vizuální maska a změnová maska MAD





-  změnové regiony zástavby vizuální masky
-  změnové regiony zástavby masky MAD

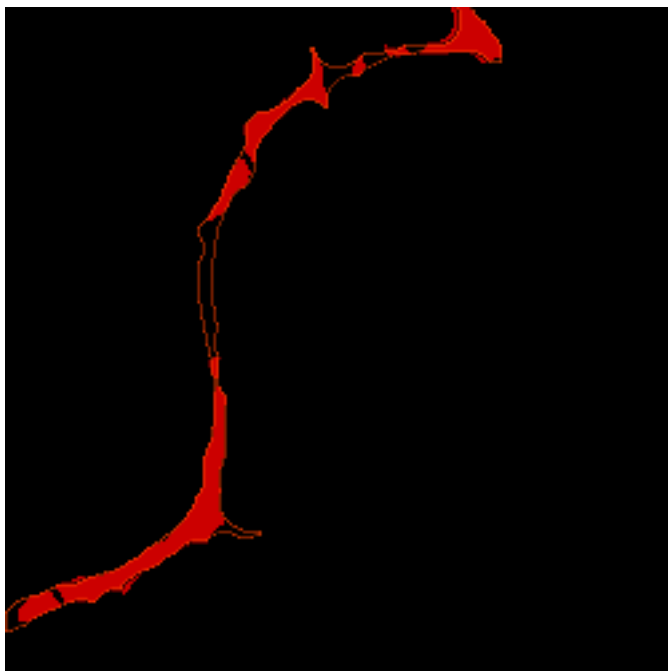
Příloha 21: Porovnání změnových masek 3. testovací oblasti – podzimní scéna
(zdroj: vlastní)



Databáze CLC Change a změnová maska MAD



-  změnové regiony zástavby databáze CLC
-  změnové regiony zástavby masky MAD

Vizuální maska a změnová maska MAD





-  změnové regiony zástavby vizuální masky
-  změnové regiony zástavby masky MAD

Příloha 22: Porovnání změnových masek multitemporální detekce 3. testovací oblasti (zdroj: vlastní)



Databáze CLC Change a změnová maska MAD



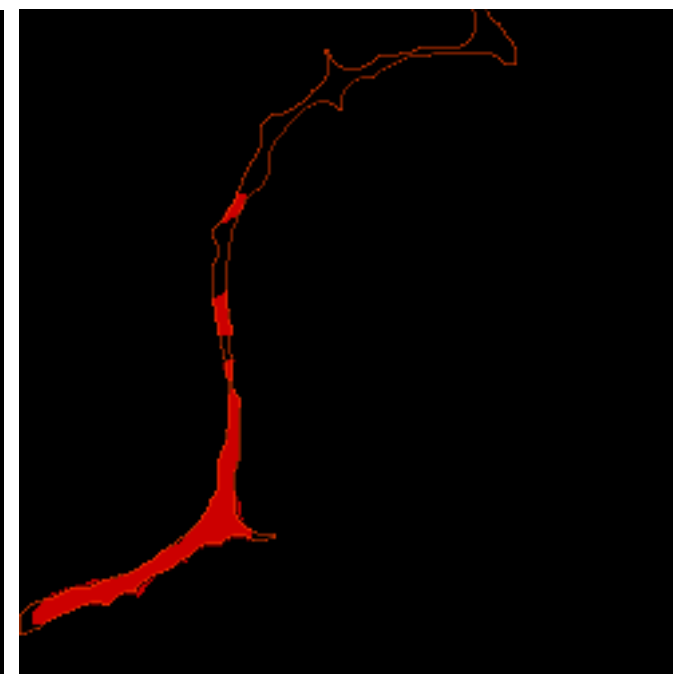
 změnové regiony zástavby databáze CLC
 změnové regiony zástavby masky MAD



Vizuální maska jarní scény a změnová maska MAD



 změnové regiony zástavby vizuální masky
 změnové regiony zástavby masky MAD

Vizuální maska podzimní scény a změnová maska MAD



 změnové regiony zástavby vizuální masky
 změnové regiony zástavby masky MAD