

Mendelova univerzita v Brně
Lesnická a dřevařská fakulta
Ústav hospodářské úpravy lesů a aplikované geoinformatiky

Stanovení druhové skladby nelesní dřevinné vegetace pomocí
metod dálkového průzkumu Země

Diplomová práce



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatel : **Bc. Ján Kosar**
Studijní program: Krajinné inženýrství
Obor: Krajinné inženýrství
Název tématu: **Stanovení druhové skladby nelesní dřevinné vegetace pomocí metod dálkového průzkumu Země**
Rozsah práce: 60 stran textu + přílohy

Zásady pro vypracování:

1. Sepište literární přehled na téma identifikace dřevin a určení druhové skladby pomocí metod DPZ se zaměřením na zpracování hyperspektrálních a lidarových dat.
2. Popište přírodní poměry zájmového území ŠLP Křtiny se zaměřením na současnou druhovou skladbu dřevin.
3. Na základě studia literatury stanovte optimální postup zpracování hyperspektrálních a lidarových dat, vyberte vhodný zpracovatelský software (objektová x per pixel klasifikace) a vhodný způsob ověření přesnosti klasifikace (počet, rozmístění trénovacích množin).
4. Na základě ověření stanovte optimální postup zpracování dat a následně vytvořte mapu nelesní dřevinné vegetace na území ŠLP Křtiny.
5. Na základě výsledků definujte možnosti využití dat DPZ pro krajinné plánování např. při návrhu ÚSES a tvorbě územních plánů obcí.



Seznam odborné literatury:

1. ŽÍDEK, V. – ŽÍDEK, V. *Analýza a GIS a zpracování dat DPZ pro pokročilé : návody ke cvičením v prostředí geoinformačního systému IDRISI pro Windows*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Lesnická a dřevařská fakulta, 2001. 107 s. ISBN 80-7157-506-2.
2. ŠUMBERA, S. *Digitální klasifikace druhové a prostorové skladby lesních porostů z materiálů DPZ*. Diplomová práce. Brno: MZLU v Brně, 2001. 144 s.
3. SKOUPÝ, O. *Návrh zpracování dat DPZ pro sledování změn krajiny*. Diplomová práce. LDF MENDELU, 2013.
4. ŠUMBERA, S. Stanovení obrysu korun stromů ze snímků s vysokým prostorovým rozlišením. In : Sborník konference GIS SEČ 2001 GIS ve státní a veřejné správě. 6-8.6.2001, Junior centrum Seč u Chrudimi, p. 95-101. In *Sborník referátů konference GIS – SEČ konference GIS – SEČ: HELP SERVICE – Education, s.r.o.*, 2001, s. 95-101. ISBN 80-86143-21-X.
5. MISÁKOVÁ, L. – ŽÍDEK, V. *Vliv prostorové rozlišovací schopnosti na výsledky klasifikace dat DPZ, návrh využití pro mapování vegetace*. Diplomová práce. MZLU v Brně, 2009. 108 s.
6. HALOUNOVÁ, L. – PAVELKA, K. *Dálkový průzkum Země*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2008. 192 s. ISBN 978-80-01-03124-7.
7. DOBROVOLNÝ, P. *Dálkový průzkum Země : digitální zpracování obrazu*. Brno: MÚ, 1998. 208 s. ISBN 80-210-1812-7.
8. MIKITA, T. – KLIMÁNEK, M. – CIBULKA, M. Hodnocení metod interpolace dat leteckého laserového skenování pro detekci stromů a měření jejich výšek. *Zprávy lesnického úzkumu*. 2013. sv. 58, č. 2, s. 99-106. ISSN 0322-9688. URL: <http://www.vulhm.cz/sites/File/ZLV/fulltext/298.pdf>
9. DOLANSKÝ, T. *Lidary a letecké laserové skenování*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, 2004. 100 s. Acta Universitatis Purkynianae., Studia geoinformatica. ISBN 80-7044-575-0.

Datum zadání diplomové práce: říjen 2013

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2015

Bc. Ján Kosar
Autor práce



Ing. Tomáš Mikita, Ph.D.
Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Klimánek, Ph.D.
Vedoucí ústavu

L. S.

prof. Dr. Ing. Petr Horáček
Děkan LDF MENDELU

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci Stanovení druhové skladby nelesní dřevinné vegetace pomocí metod dálkového průzkumu Země zpracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona c. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon c. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladu spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne

podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval zejména mému vedoucímu práce Ing. Tomáši Mikitovi, Ph.D. za trpělivost, čas strávený konzultacemi a odborné rady poskytnuté v průběhu vypracovávání diplomové práce.

Jméno autora: Ján Kosar
Název kvalifikační práce: Stanovení druhové skladby nelesní dřevinné vegetace pomocí metod dálkového průzkumu Země

Abstrakt

S vývojem technologií se zlepšují i možnosti identifikace objektů zemského povrchu pomocí leteckého snímkování. Práce se zabývá klasifikací druhů dřevin a jejich spektrálním chováním. Jako vstupní data využívá laserové skenování, hyperspektrální snímkování se 72 pásmy a data posbíraná v terénu. Pro klasifikaci využívá metodu maximum likelihood classification. Výsledkem jsou grafy znázorňující průběh spektrální odrazivosti pro několik vybraných druhů a klasifikovaný rastr podle vybraných druhů.

Klíčová slova: dálkový průzkum Země, zpracování obrazu, hyperspektrální snímkování, klasifikace, dřevinná vegetace,

Abstract

Development of the technologies enables improving identification of surface objects by remote sensing methods. This thesis deal with classification of tree species and their spectral signatures. As an input data are used airborne laser scanned data, hyperspectral images with 72 bands and manually collected data about tree species. For classification there is used maximum likelihood method. Main results of this work are graphs representing spectral characteristics of tree species and raster classified by tree species.

Key words: remote sensing, image processing, hyperspectral data, classification, tree species recognition

Seznam použitých zkratk

- 1A1 – One-Against-One přístup
- 1AA – One-Against-All přístup
- ASPRS – American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
- AV ČR – Akademie věd České republiky
- BK – buk
- BO - borovice
- BR - bříza
- BRDF - bidirectional reflectance distribution function
- CHM – canopy height model
- ČP – červené pásmo
- ČÚZK – Český úřad zeměměřičský a katastrální
- DB - dub
- DPZ – dálkový průzkum Země
- DSM – digital surface model
- DTM – digital terrain model
- EC – error of commision
- EO – error of omission
- ETM+ - Landsat Enhanced Themmatic Mapper Plus
- GPS – Global Positioning System
- HB – habr
- IČ – infračervené záření
- INS – inertial navigation system
- LAI – Leaf Area Index
- LAS – zkratka od slova Laser
- Lidar – Light Detection And Ranging
- LP - lípa
- MCARI – Modified Chlorophyll Absorbtion Ratio Index
- MD - modřín
- MLC – Maximum likelihood classification
- MLP – multi-layer perceptron
- MP – modré pásmo

MSAVI – Modified Soil-Adjusted Vegetation Index
MSR – Modified Simple Ratio
MT – mírně teplý
MW – mikrovlnné záření
NDVI - Normalized Difference Vegetation Index
NIR – near-infrared radiation
OO – omyl z opomenutí
OP – omyl z nesprávného přiřazení
PA – producers accuracy
PU – přesnost uživatele
PZ – přesnost zpracovatele
RDVI - Renormalized Difference Vegetation Index
RVI - Ratio Vegetation Index
SAM – Spectral Angle Mapper
SARVI – Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index
SAVI – Soil-Adjusted Vegetation Index
SM - smrk
SMT – Spectral measure techniques
STG – skupiny typů geobiocénů
SV - severovýchodní
SVM – Support Vector Machines
SWIR1 – short-wavelength infrared, 1467nm – 1771nm
SWIR2 - short-wavelength infrared, 1994nm –2435nm
ŠLP ML Křtiny – Školský lesní podnik Masarykův les Křtiny
TTP – trvalý travní porost
TVI – Triangular Vegetation Index
UA – users accuracy
UAV – unmanned aerial vehicle
UNS – umělé neuronové sítě
ÚSES – územní systémy ekologické stability
V – viditelné záření
VIS – visible radiation
ZABAGED – Základní báze geografických dat České republiky

Seznam obrázků použitých v textu práce

Obr 1: Schematické fungování leteckého skenování.....	18
Obr 2: Pro detekci vegetace se používá viditelné a infračervené záření.....	19
Obr 3: Ukázka digitálního modelu terénu na území obce Olomučany.....	32
Obr 4: Ukázka digitálního modelu povrchu na stejném území jako na Obr 2	32
Obr 5: Letové linie nad územím ŠLP Křtiny.....	33
Obr 6: Ukázka dat z modré části spektra.....	35
Obr 7: Ukázka dat ze zelené části spektra	35
Obr 8: Ukázka dat z červené části spektra.....	36
Obr 9: Ukázka dat pro pásmo vybrané z blízké infračervené části spektra.....	36
Obr 10: Ukázka sadu, na kterém jsou vyznačené zelenou barvou východní a jihovýchodní expozice korun	39
Obr 11: Ukázka části vytvořených trénovacích množin pro buk v páté letové linii	40
Obr 12: Ukázka korun bříz v stromořadí podél polní cesty mezi ornou půdou a travním porostem.....	43
Obr 13: Pomocí žlutých polygonů jsou ohraničeny trénovací množiny buku a smrku v souvislém porostu. V horní pravé části je zahrádkářská kolonie. Levý tmavší polygon ohraničuje smrk a pravý bledší buk. Obrázek je výřezem z rastru pásma č.60....	44
Obr 14: Žlutou barvou jsou znázorněny trénovací množiny. V tomto případě ohraničují koruny dubu. Podkladem je vrstva canopy height model.....	45
Obr 15: Stejně polygony jako na obr.11 ohraničující duby. Podkladem je rastrová vrstva s hodnotami odrazivosti v pásmu č. 42. Jsou zde dobře vidět velké rozdíly v odrazivosti mezi částí koruny natočenou čelem ke Slunci (fialová barva) a částí koruny zastíněné (žlutá barva).....	46
Obr 16: Uprostřed obrázku je viditelná linie. Linie je hranicí mezi dvěma letovými liniemi č.6 a č.7.....	47
Obr 17: Zde hranice letových linií prochází také pásem dřevinné vegetace. Na vegetaci není hranice tak patrná jako na homogennějším povrchu. V tomto případě je ukázka rozdílu mezi 10. a 11. letovou linií.....	48
Obr 18: Umístění polygonů pro zjištění rozdílu v odrazivosti mezi letovými liniemi č.6 a č.7 v pásmu č.44. S obrázkem souvisí Graf 1.....	49

Obr 19: Nástroj pro převedení hodnot odrazivostí ohraničených polygony do Excelovské tabulky pro zpracování do grafů.....	50
---	----

Seznam tabulek použitých v textu práce

Tab 1: Datum a čas snímání letových linií	34
Tab 2: Chybová matice sestavená podle původních trénovacích množin	55
Tab 3: Chybová matice, kde jako referenční plocha druhu dřeviny je plocha uvažovaného druhu s výskytem více jak 80% zjištěná z hospodářských souborů. Pro tento typ referenčních ploch je k dispozici v páté letové linii pouze druh BK, DB a SM. Chybová matice je sestavena pouze z klasifikovaných V a JV expozic korun.....	56

Seznam použitých příloh

Příloha 1: Parametry skeneru Leica ALS70-CM	
Příloha 2: Očíslování pásem, počáteční hodnota intervalu a rozsah pásma	
Příloha 3: Mapa č.1 Ukázka klasifikace pomocí MLC podle vlnových délek 1013 nm, 681 nm, 463 nm. Podkladní vrstvou je kompozice pásem odpovídající reálným barvám.	
Příloha 4: Hodnoty Grafu 2	
Příloha 5: Hodnoty Grafu 3	
Příloha 6: Hodnoty Grafu 4	
Příloha 7: Hodnoty Grafu 5	
Příloha 8: Hodnoty Grafu 6	
Příloha 9: Hodnoty Grafu 7	
Příloha 10: Hodnoty Grafu 8	
Příloha 11: Hodnoty Grafu 9	
Příloha 12: Mapa č.2 Výsledek klasifikace na území obce Olomučany.	

Obsah

1. Úvod	13
2. Cíl práce	14
3. Literární přehled.....	15
3.1. Dálkový průzkum Země.....	16
3.1. Lidar	17
3.2. Charakteristika základních oblastí elektromag. spektra....	19
3.3. Spektrální chování objektů.....	20
3.3.1. Spektrální chování vegetačního povrchu – listu	21
3.3.2. Spektrální odrazivost půdy	23
3.4. Vegetační indexy.....	23
3.5. Klasifikace per pixel a objektově orientované klasifikace.	25
3.6. Postup zpracování obrazové informace	25
3.6.1. Předzpracování obrazů.....	25
3.6.2. Radiometrické korekce.....	25
3.6.3. Atmosférické korekce	25
3.6.4. Geometrické korekce.....	26
3.6.5. Klasifikace obrazu – extrahování informace.....	26
3.7. Klasifikace.....	26
3.8. Další nástroje a metody pro klasifikaci z hyperspektrálních dat.....	27
4. Metodika a materiál	30
4.1. Přírodní poměry a základní údaje o území ŠLP Křtiny	30
4.1.1. Horniny a reliéf	30
4.1.2. Podnebí	30
4.1.3. Půdy	31
4.1.4. Vegetace	31
4.2. Informace o vstupních datech	31
4.2.1. Lidarová data.....	31
4.2.2. Hyperspektrální snímky.....	32
4.2.3. ZABAGED	36
4.2.4. Data sesbíraná v terénu	37

4.2.5. Poloha Slunce na obloze	37
4.3. Postup	38
4.3.1. Vylišení nelesní vegetace	38
4.3.2. Popis vytvoření trénovacích množin	38
4.3.3. Vytvoření segmentů	41
4.3.4. Klasifikace.....	41
5. Výsledky práce	42
5.1. Trénovací množiny.....	42
5.2. Hodnoty odrazivosti.....	45
5.3. Spektrální chování jednotlivých druhů dřevin.....	50
5.4. Klasifikace a chybové matice.....	55
5.5. Další výsledky - spektrální chování různých povrchů.....	57
5.5.1. Orná půda	57
5.5.2. Vozovky silnic.....	57
5.5.3. Střechy – zástavba.....	58
5.5.4. Vodní plocha.....	59
5.5.5. TTP	60
5.5.6. Stíny	61
6. Uplatnění	62
7. Diskuse	63
8. Závěr	65
9. Summary.....	66
10. Použitá literatura.....	67

1. Úvod

S trochou nadsázky je možné mezi první dálkový průzkum Země zařadit pohled z výhledů v krajině z vrcholků kopců a skal. Dá se tedy říci, že dálkově prozkoumávali krajinu už naši dávní předkové. Až s nástupem moderních technologií, které umožňují přelet nad krajinou letadlem, družicí nebo dronem a hlubší analýzy dat se otevřela nová dimenze, kterou je možný systematický podrobný výzkum povrchu Země. Mezi první z moderních využití dálkového průzkumu se zařazuje zjištění geologické charakteristiky území nebo hledání minerálů. Jednou z možností využití dálkového průzkumu je mapování vegetace. Mapování může mít nejrůznější cíle od pouhého rozeznání vegetace od ostatních povrchů po podrobnou diferenciaci jednotlivých rostlinných druhů nebo zjišťování kvalitativních parametrů vegetace.

Přínos souvislého spektra rozděleného do úzkých intervalů získaného pro jeden pixel charakteristického pro hyperspektrální data není jenom v rozeznání jednotlivých povrchů podle jejich typického průběhu odrazivosti, ale také možnosti určení a odstranění vlivu atmosféry na hodnoty záření. Další výhodou je možnost srovnání spektrální křivky zařazovaného pixelu se záznamy ze spektrálních knihoven, což jsou databáze, které obsahují pro určitou skupinu povrchů charakteristické průběhy spektrální křivky. Důležitým souputníkem vývoje hyperspektrálního snímkování je zlepšování možností techniky, sensorů, software a digitální elektroniky. V budoucnu je možné předpokládat výrazný vývoj a posun v oblasti zpracování hyperspektrálních dat a také v jejich získávání.

2. Cíle práce

Mezi cíle práce patří zpracování literárního přehledu na téma určení druhové skladby pomocí metod DPZ se zaměřením na hyperspektrální a lidarová data, dále popis přírodních poměrů na zájmovém území, stanovení postupu pro zpracování dat, výběr vhodného zpracovatelského software a ověření přesnosti klasifikace, vytvoření mapy nelesní dřevinné vegetace a zjištění možností využití dat pro krajinné plánování.

3. Literární přehled

Spektrálnímu chování vegetace se dlouhodobě věnuje řada autorů u nás i ve světě. Tematicky se zabývají mapováním vegetace, rozeznáváním rostlinných druhů včetně dřevinné vegetace nebo změnami ve spektrálním chování v závislosti od různých faktorů jako jsou obsah vody, pigmentů nebo jiných látek, zdravotní stav a podobně. Část prací zkoumá spektrální chování vegetace v laboratorních podmínkách. Prací, které se zabývají rozeznáváním dřevinných druhů v našich zeměpisných šířkách je výrazně méně.

Ze zahraničních autorů se Clark (2005) zabýval rozlišováním druhů dřevin v tropických deštných pralesech. Využívá 161 pásem mezi vlnovými délkami 437-2434 nm.

Rozeznává mezi 7 druhy stromů. Zaměřuje se na úroveň listu, pixelu i koruny. Využívá klasifikátory linear diskriminant analysis, maximum likelihood a spectral angle mapper.

Ghiyamat (2013) porovnává ve své práci rozeznávání dřevinných druhů pomocí jednoho a několika referenčních spekter pro jeden druh, tzv. Spectral measure techniques (SMTs). Jedním z parametrů je také věk dřeviny. Zabývá se společnými spektrálními znaky různých druhů dřevin ve stejném věku a také naopak dřevin různého věku ale stejného druhu.

Rozeznáváním dřevinných druhů v urbanizovaném prostředí pomocí hyperspektrálních snímků a lidarových dat se zabýval například Alonzo (2014). Ve své práci se zaměřuje na rozeznání 29 běžných (Kalifornie, USA) druhů dřevin. Úspěšnost má na úrovni 83,4% na úrovni druhů a 93,5% na úrovni rozeznání listnáčů od jehličnanů. Lidarová data zlepšili v prvním případě úspěšnost o 4,2%.

Vaiphasa (2005) se zabývá rozeznáváním druhů mangrove. Ve své práci se věnoval porovnávání středních hodnot spektrální odrazivosti mezi 16 druhy mangrovů v 2151 pásmech od 350nm do 2500nm. Z toho 1941 pásem mělo statisticky významné rozdíly mezi druhy ve středních hodnotách s 95% spolehlivostí a z toho 477 pásem se spolehlivostí 99%. Experiment byl proveden v laboratorních podmínkách na listech rostlin. Vlnové délky s největší informační hodnotou byly podle Vaiphasa (2005) 720 nm, 1277 nm, 1415 nm a 1644 nm. Autor uvádí, že pro řádné oddělení rostlinných druhů v terénních podmínkách je potřeba rozšířit výzkum o posouzení parametrů, jako jsou fluktuace v slunečním záření, změny stavu v atmosféře v průběhu dne, odrazivost směsi různých povrchů, ekonomická dostupnost, změny v odrazivosti v průběhu ročních

období, vliv odrazivosti půdy a vody a další. Dále autor uvádí, že s obsahem pigmentů v listech souvisely pouze vlnové délky mezi 380 nm a 750 nm. Domnívá se, že pro rozeznávání druhů mangrovů mohou být důležitější větší vlnové délky. Je to z důvodu podobného obsahu pigmentů napříč druhy mangrovů a v rozdílnostech v obsahu solí, cukrů, vody, bílkovin, olejů, ligninu, škrobu, celulózy a struktury listu.

Clark (2005) ve své práci pomocí hyperspektrálních pásem klasifikuje dřeviny tropického deštného pralesa na úrovni listu, pixelu a koruny. Koruny dřevin rozlišil v nejlepším případě s 92% úspěšností pomocí 30 spektrálních pásem a linear discriminant analysis klasifikátoru. Celkem vybírá ze 161 pásem VIS, NIR, SWIR1 a SWIR2. Rozlišuje zde také mezi vnitrodruhovými a mezidruhovými rozdíly v odrazivosti a porovnává per pixel klasifikace podle osluněné strany koruny a podle celé plochy koruny. Provádí klasifikace pomocí Linear Discriminant Analysis klasifikátoru, Maximum Likelihood klasifikátoru a Spectral Angle Mapper klasifikátoru. Na rozdíl od našich zeměpisných šířek klasifikaci ovlivňovala častá přítomnost epifytů. Rozeznává 7 druhů dřevin, pro každou používá 300 pixelů s rozlišením 1,6 metru. Považuje za důležité také faktory stáří listu, přítomnost herbivorů nebo chorob, množství chlorofylu a vody.

3.1. Dálkový průzkum Země

V angličtině se používá výraz Remote Sensing. Jedná se o získávání informací o objektech a jevech na dálku. Jako jednu z mnoha definic lze uvést například Campbell (1996): “Dálkový průzkum je způsob získávání informací o zemském povrchu i vodních plochách s využitím snímků pořízených z ptáčích perspektivy. Využívá elektromagnetického záření v jednom nebo více intervalech spektra. Toto záření je emitováno ze zemského povrchu.“ Jedná se o zkoumání zemského povrchu, ale i spodních vrstev atmosféry, vrstvy sedimentů, vodního sloupce a jevů a procesů, které zde probíhají. Zařízení zaznamenávající intenzitu je umístěno na leteckých nosičích, UAV nebo družicích. V procesu dálkového průzkumu jsou stejně důležité fáze sběru dat, analýzy dat a jejich interpretace. Jedna z výhod dálkového průzkumu spočívá v značně rychlejším získání dat v porovnání s terénním mapováním. Nevýhodou je generalizace informace a zastarávání snímků.

Podle zdroje energie používaného pro zaznamenání objektu se rozděluje dálkový průzkum Země na dvě třídy - pasivní a aktivní systémy. Pasivní systémy zaznamenávají záření, které je generováno externím zdrojem energie jako je Slunce. Zatímco aktivní systémy generují záření přímo proti objektu a následně ho detekují.

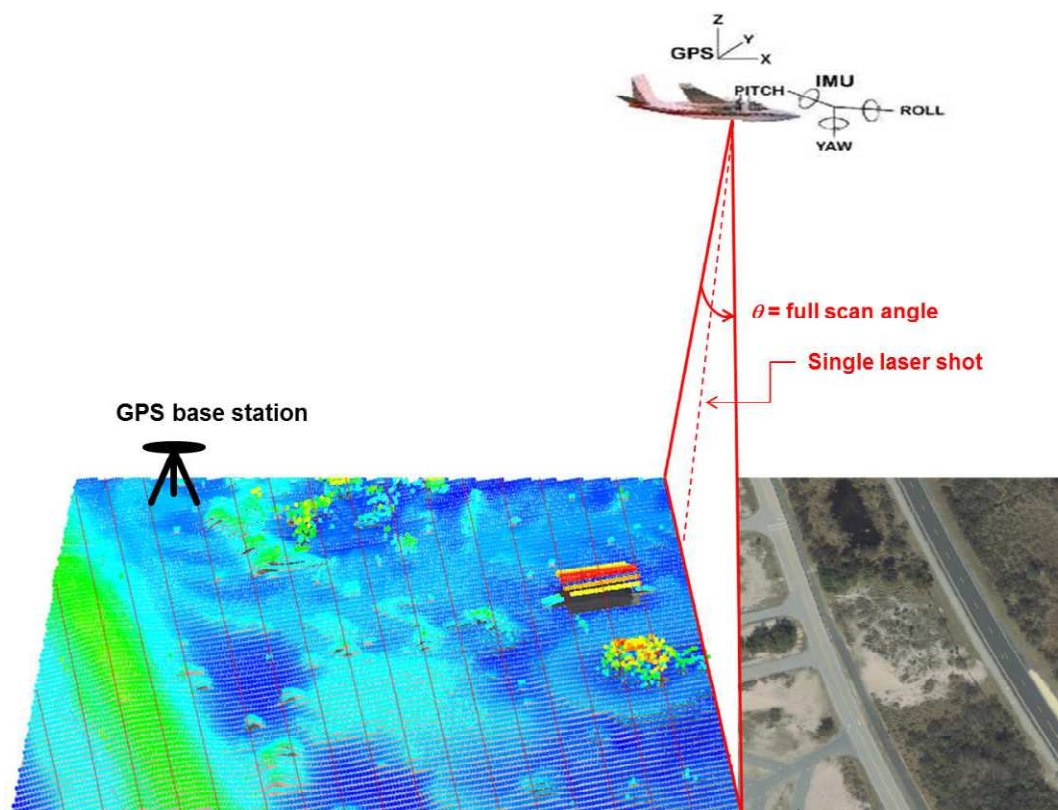
3.2. Lidar

Zkratka lidar vznikla z anglických slov „Light Detection And Ranging“. Je to přístroj nebo technologie k detekci objektů nebo měření vzdáleností. Ekvivalentním používaným pojmem je také “laserový skener“ nebo “laserové skenování“.

Přístroj obsahuje zdroj laserového záření, optickou soustavu, mechanický prvek, detektor elektromagnetického záření a velmi přesné hodiny. Jako zdroj se může použít dioda nebo vysokovýkonný pevnolátkový laser. Některé lasery je možné přeladovat mezi různými vlnovými délkami. V tom případě je ovšem nutné přeladit i detektor. Optická soustava zajišťuje koncentraci záření do velmi úzkého svazku a soulad emitoru s detektorem. Hodiny měří čas od vyslání svazku paprsků po jejich detekci. Ze znalosti rychlosti světla se poté získá vzdálenost. (Dolanský 2004)

Letecký laserový skener zařazujeme mezi aktivní digitální senzory. Měření lze provádět 24 hodin denně, protože není závislé od slunečního záření. Pro vychylování paprsku mimo svou osu je ve skeneru umístěno zpravidla rotující zrcadlo, které paprsek vychyluje v příčném směru. Pohyb paprsku v podélném směru je zajištěn pohybem letadla. Vnitřní hodiny mají největší vliv na celkovou přesnost měření vzdálenosti. Dalším problémem je detekce slabého odrazu. Při nízkých hodnotách u prahových hodnot detektoru může vznikat šum.

Organizace ASPRS, tedy American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, se už více let snaží o zavedení jednotného výměnného formátu LAS standardizovaného pro ukládání dat. V roce 2003 ho vyhlásila jako oficiální standard, který definuje typ informací a způsoby jejich ukládání v souborech. (Dolanský 2004)



Obr 1: Schematické fungování leteckého skenování. Nejčastěji se používá měření po paralelních liniích. Obrázek je převzat z dokumentu amerického Národního úřadu pro oceán a atmosféru, kterého autorem je Carter a kol. z roku 2012.

Důležitou součástí leteckého skenování je GPS systém sledující přesnou polohu leteckého nosiče. Zjišťování přesné polohy letadla zajišťuje Inerciální měřící jednotka a Inerciální měřící systém. Tyto součásti jsou schopny zachycovat změny směru letadla a přeměňovat je na určení pozice.

Prostorové souřadnice cílového objektu jsou vypočítány z časové prodlevy mezi vypuštěním a opětovným zachycením paprsku, úhlu, z kterého byl paprsek vypuštěn a absolutním umístěním senzoru na povrchu nebo nad povrchem Země. (Carter a kol., 2012)

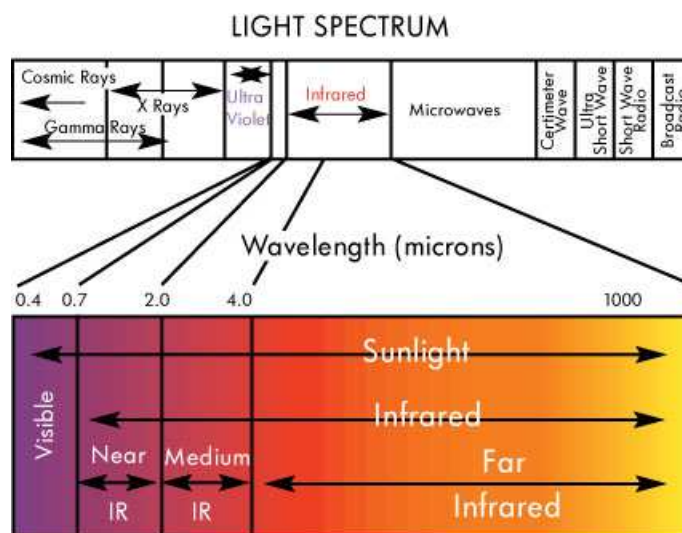
Lidarové systémy jsou aktivními systémy, protože přímo emitují záření, které i zachycují. Lidar nedokáže proniknout mračny, nelze s ním pracovat v deštivém počasí. Je nutné provádět měření během dne bez mraků.

Technologie je schopna zachytit až 150 000 bodů během jedné sekundy. Výsledním produktem je hustá síť vysoce přesných georeferencovaných bodů nazývaných mračno

bodů. Přesnost s jakou jsou body měřeny v prostoru je 10 až 30 centimetrů. Přesnost je důležitá vlastnost lidarů a výhodný parametr technologie. (Carter a kol., 2012)

3.3. Charakteristika základních oblastí elektromagnetického spektra

Celé spektrum je rozděleno do několika základních úseků elektromagnetického záření podle vlnové délky. V dálkovém průzkumu se využívají především vlnové délky viditelného (V), infračerveného (IČ) a mikrovlnného (MW) záření. Lidské oko je citlivé pouze na vlnové délky mezi 0,38 μm až 0,72 μm , proto se označuje jako viditelné. Oblast infračerveného záření je rozdělena na tři pásma, jejichž označení odpovídá blízkosti k viditelnému záření z hlediska vlnové délky. Infračervené blízké se nachází mezi vlnovými délkami 0,72 – 1,3 μm , infračervené střední mezi 1,3 – 4,0 μm a infračervené daleké mezi 4,0 – 25 μm . Záření s vlnovou délkou větší než cca 25 μm je velmi silně pohlcováno v zemské atmosféře, takže není pro dálkový průzkum použitelné. (Kolář 1997)



Obr. 2: Pro detekci vegetace se používá viditelné a infračervené záření. Zdroj obrázku je web The Heat Is On, 2016.

Základním pohybem, jímž v přírodě vzniká elektromagnetické záření, je rotační pohyb atomů v molekulách. Atomy kromě toho vykonávají také kmitavý pohyb podél jejich chemických vazeb. Frekvence záření způsobeného tímto pohybem je závislá na druhu atomů i na druhu chemické vazby. Pro každou molekulu jsou tyto frekvence charakteristické a jejich počet je přímo úměrný počtu atomů v molekule. (Kolář 1997)

Záření pocházející z rotačního pohybu molekul má vlnové délky zasahující do oblasti vzdáleného infračerveného a mikrovlnného záření, zatímco vibračním pohybem je produkováno záření v blízkém a středním infračerveném oboru. (Kolář 1997)

Důležitým zdrojem záření jsou jednotlivé atomy. Pohyb elektronů kolem jádra se děje podle pravidel, která určují dráhy, po nichž elektrony obíhají bez toho, že by emitovali záření. Pouze přechody mezi těmito drahami, které jsou spojeny se změnou celkové energie elektronů, jsou doprovázeny produkcí elektromagnetického záření. Tyto dráhy jsou pro každý atom charakteristické, takže i vysílané záření je tvořeno vlnami, jejichž vlnové délky jsou pro daný atom typické. Proto je spektrum záření atomů čárové. Záření způsobené přechody elektronů v atomu má vlnovou délku z oboru ultrafialového, viditelného i blízkého infračerveného oboru. (Kolář 1997)

Různé procesy vedoucí ke vzniku záření se v přírodě obvykle vyskytují současně a ve vzájemné souvislosti. Proto je emitované záření obvykle charakterizováno spojitým spektrem. Pouze tam, kde výrazně převažuje jen jeden způsob vzniku záření, bude výsledné spektrum pásové nebo čárové. (Kolář 1997)

Zdroje záření v dálkovém průzkumu mohou být přírodní nebo umělé. Pasivní dálkový průzkum využívá přírodní a aktivní umělý zdroj, který se po odrazu zpětně snímá pomocí senzorů. Většinou se využívá přírodní zdroj.

3.4. Spektrální chování objektů

Vychází se z předpokladu, že různé objekty vykazují různé spektrální chování. Za nejjednodušší způsob automatické klasifikace využívající pouze jednoho pásma lze považovat například techniku prahování. Objekty podobných odrazových či zářivých vlastností se kumulují v určité části histogramu a lze je tedy oddělit od jiných objektů, které by teoreticky měli zaujímat jinou část histogramu. Celý koncept lze zobecnit a použít pro charakterizování objektů více charakteristik – více pásem. Pokud naměřená či vypočtená charakteristika každého objektu v určitém pásmu bude zároveň

představovat charakteristiku, podle které bude možné objekt rozpoznat, tj. příznak – potom lze každé pásmo označit jako jeden rozměr tzv. příznakového prostoru. Obecně tedy platí, že čím více pásem použijeme k charakterizování objektů, tím bude větší pravděpodobnost, že daný objekt či jev bude zaujímat v příznakovém prostoru takovou polohu, která ho bude odlišovat od objektů jiných. Výběr či výpočet nejvhodnějších pásem, které by definovali prostor, v němž budou klasifikované objekty dostatečně odlišitelné, je jednou z nejdůležitějších etap automatické klasifikace obrazu. Nejčastěji používané klasifikátory založené na spektrálních vlastnostech jevů a objektů se označují jako bodové per-pixel klasifikátory, protože používají k odlišení objektů pouze klasifikovaný pixel.

Klasifikaci lze dělit na řízenou a neřízenou. Při řízené klasifikaci se specifikuje předem numerický popis hledaných povrchů ve formě trénovacích ploch. Trénovací množiny (plochy) jsou známá data vyčtená z leteckých snímků, map nebo terénního průzkumu. Pro každou kategorii z předem sestaveného klasifikačního schématu jsou vygenerovány statistické charakteristiky spektrálních příznaků. S nimi je postupně porovnáván každý obrazový prvek a podle zvoleného pravidla (klasifikátoru) je zařazen do určité třídy. U neřízené klasifikace jsou v prvním kroku zatříděny všechny prvky obrazu do určitých tříd a poté zpracovatel dává těmto třídám informační obsah. Kombinací řízené a neřízené klasifikace lze dostat hybridní polořízenou klasifikaci. (Dobrovolný 1998)

3.4.1. Spektrální vlastnosti vegetačního povrchu - listu

Spektrální projev porostu určitého rostlinného druhu je výslednicí odrazivých a emisních vlastností různých částí rostliny i jejího pozadí, které jsou závislé na obrovském počtu stavových parametrů. Dominující jsou však příspěvky od listů. (Kolář 1997)

Spektrální vlastnosti listu závisí zejména na obsahu buněčné tekutiny, celulozy, tuků, ligninu, proteinů, cukrů a oleje. Průběh křivky spektrální odrazivosti vegetace lze rozdělit na tři oblasti odpovídající třem faktorům. Oblast pigmentační absorpce v pásmu 0,4 μ m až 0,7 μ m, oblast vysoké odrazivosti neboli buněčné struktury mezi 0,7 μ m až 1,3 μ m a oblast vodní absorpce od 1,3 μ m do 3 μ m. U většiny rostlin je nejrozšířenějším pigmentem chlorofyl, který může tvořit až 65% listového pigmentu. Chlorofyl pohlcuje většinu zářivé energie v modrém (0,45 μ m) a červeném (0,65 μ m) světle. Mezi nimi je

maximum odrazivosti v okolí vlnové délky zeleného světla $0,54\mu\text{m}$. Listem odražené záření je málo intenzivní, protože je velkou měrou absorbováno a zčásti listem projde. Z dalších pigmentačních látek se uplatňuje vliv karotenu, xanthofylu a také anthokyanů. Karoten a xanthofyl bývají žlutým pigmentem s absorpčním pásmem pouze v modré části spektra. Chlorofyl absorbuje záření na stejné vlnové délce, proto není vliv žlutého pigmentu na zdravém zeleném listu patrný. Stárnutí rostliny se projevuje úbytkem chlorofylu a vliv karotenu a xanthofylu se stává převažující. Proto žluté zbarvení listů na podzim. Ve stejném období produkují rostliny ve značné míře anthokyan – červené zbarvení. Nárůst obsahu chlorofylu se projeví nejdříve prohloubením absorpčního pásu $0,68\mu\text{m}$, jeho mírným posunem do větších vlnových délek a snižováním maxima odrazivosti v zelené barvě. Přesná poloha začátku vysoké odrazivosti v blízkém infračerveném pásmu může udávat obsah chlorofylu v listech. Jelikož jeho obsah lze korigovat přidáváním dusíku do půdy, je přímá souvislost mezi obsahem dusíku v rostlině a odrazivostí listů.

Hlavním faktorem ovlivňujícím odrazivost v pásmu blízkého infračerveného záření je morfologická struktura listu. V této oblasti je spektrální charakteristika listu určována hlavně velmi nízkou pohltivostí buněk ($0,05-0,25$). Stavební látkou je celulóza. Spektrální odrazivost v oblasti vodní absorpce je formována výraznými absorpčními pásy vody na délkách $1,4\mu\text{m}$, $1,9\mu\text{m}$ a $2,7\mu\text{m}$. Z nich je největší pás na $2,7\mu\text{m}$ označovaný jako hlavní vibrační pás vody. Druhý základní absorpční vibrační pás vody je v pásmu $6,27\mu\text{m}$. U spektrální křivky odrazivosti horní vrstvy listů se ještě mohou projevit také další vedlejší pásy vody na $0,96\mu\text{m}$ a $1,1\mu\text{m}$. (Kolář 1997)

Odrazivost listů v blízké infračervené části spektra je silně závislá od anatomické struktury listu. Závisí od počtu buněčných vrstev, velikosti buněk nebo tloušťky houbového parenchymu. Například rostliny přizpůsobené suchu mohou mít velmi vysokou odrazivost v blízkém infračerveném světle – nepřímo úměrně velikosti buněk a přímo úměrně počtu buněčných vrstev.

Věk listu také ovlivňuje odrazivost. Výrazně se liší u mladých a starých jedinců.

„Dospělé“ porosty mají poměrně konstantní optické vlastnosti. U jehličnanů se zvyšuje podíl chlorofylu v průběhu stáří listu. (Steven 1990)

Obsah vody v listech má vliv na odrazivost v blízké infračervené i ve viditelné části spektra. Snižování obsahu vody ji snižuje v celém úseku spektra. Výrazný vliv má také obsah dusíku, protože souvisí s tvorbou chlorofylu. Snižování obsahu dusíku vyvolává nárůst odrazivosti v celém viditelném spektru a zároveň pokles v blízkém

infračerveném spektru. Nemoci dřevin mohou vyvolávat změny obsahu pigmentů a tedy také změny odrazu v různých částech spektra.

Kůra stromů neobsahuje chlorofyl a i proto má jiný průběh spektrální křivky v porovnání s listy. Odrazivost se zvyšuje od viditelného po střední infračervené záření. Odrazivost viditelného záření je vyšší nežli u listů. V blízkém infračerveném je nižší a ve středním infračerveném je zase vyšší nežli u listů. (Steven 1990)

3.4.2. Spektrální odrazivost půdy

Odrazivost půdy nebo také porostu a objekty pod stromy se s odrazivostí stromů nutně kombinuje v určitém poměru, který závisí i od velikosti pixelu. Průběh odrazivosti se zvyšuje od viditelného po střední infračervené spektrum. Výrazný vliv má obsah vody v půdě. Pro jakoukoli z uvedených vlnových délek platí, že odrazivost se snižuje se zvyšujícím se obsahem vlhkosti. Dalším faktorem spektrálního chování půdy je obsah různých minerálů, který je tímto způsobem těžké stanovit. Nejvýrazněji se projevuje v půdě obsah železa. Také obsah organické složky, pokud je vyšší než 2%, výrazně redukuje odrazivost ve viditelné a blízké infračervené části. Důležitý je také faktor zrnitosti. Obecně obsah většího množství větších frakcí v půdě více pohlcuje světlo. Změny v spektrálním chování ovlivňuje také sklon a orientace povrchu, výška slunce nad horizontem a úhel pohledu pozorovatele nebo skeneru. (Steven 1990)

3.5. Vegetační indexy

Vyjadřují poměr nebo lineární kombinaci odrazivosti v červené a blízké infračervené části spektra. Vegetační indexy mohou mít různé zaměření, například lepší odlišení vegetace od půdy, zjištění listové plochy nebo obsah půdní vláhy. Podle toho se pak mění použité vlnové délky a výpočet.

Dále jsou uvedeny některé často používané vegetační indexy:

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index. Obecně čím vyšší hodnota, tím hustší vegetace. Je jedním z nejužívanějších. Autorem je Rouse a kol., z roku 1974. Základem je kontrast mezi maximální absorpcí v červeném pásmu zapříčiněné chlorofylem a

maximální odrazivosti v blízkém infračerveném spektru zapříčiněné buněčnou strukturou.

$$NDVI = \frac{R_{800} - R_{670}}{R_{800} + R_{670}}$$

kde R_{800} – odrazivost v blízkém infračerveném pásmu, vlnová délka 800nm

R_{670} – odrazivost ve viditelné části spektra, vlnová délka 670nm

Navzdory širokému užívání NDVI je informace kterou poskytuje o něco horší v hustých a vícevrstvých porostech vegetace. Nemá lineární souvislost s biofyzikálními parametry jako je LAI. Z toho důvodu byly z něho odvozeny další vegetační indexy, které tuto souvislost lépe vystihují. Patří mezi ně RDVI a MSR. (Haboudane 2002)

RDVI – Renormalized Difference Vegetation Index. Byl navržen jako kombinace výhod DVI (Difference Vegetation Index) a NDVI pro nízké a vysoké hodnoty LAI.

$$RDVI = (R_{800} - R_{670}) / \sqrt{(R_{800} + R_{670})}$$

RVI – Ratio Vegetation Index. Je jedním z prvních a jedním z nejvíce využívaných indexů. Je možné ho transformovat na index NDVI. Je vhodnější pro vizuální posuzování řídké vegetace, méně vhodný na práci s hustou vegetací. (Haboudane 2002)

$$RVI = \frac{NIR}{red}$$

Dalšími indexy, které částečně odstraňují vliv spektrálního chování půdy a atmosféry jsou SAVI, MSAVI, SARVI.

Indexy využívající zelené pásmo a „red edge“ byli vyvinuty pro měření absorpce chlorofylu v červeném pásmu. Patří mezi ně MCARI a TVI. Využívají tři vlnové délky. (Haboudane 2002)

3.6. Klasifikace per pixel a objektově orientované klasifikace

Klasifikace „per pixel“ zařazuje do tříd vždy rastr po jednom pixelu bez ohledu na okolní pixely. Je to starší typ předcházející objektově orientované klasifikaci, která zařazuje pixely před zařazováním do tříd nejprve prostorově do menších skupin podle určitých souvislostí. Tyto skupiny se nazývají segmenty. Pak teprve zařazuje tyto segmenty (objekty) do cílových tříd. V rámci segmentu se vždy předpokládá podobné spektrální chování pixelů. Proces vytváření segmentů se nazývá segmentace. Možností klasifikace obrazu je velké množství.

3.7. Postup zpracování obrazové informace

Dle Dobrovolného (1998) lze zpracování rozlišit do následujících částí:

3.7.1. Předzpracování obrazů

Získaná data mohou mít různé chyby, které se předzpracováním odstraňují nebo alespoň do určité míry potlačují. Může se jednat o systematické nebo náhodné chyby, vnitřní nebo vnější.

3.7.2. Radiometrické korekce

V první řadě závisí na přesné kalibraci měřícího zařízení.

3.7.3. Atmosférické korekce

Atmosféra způsobuje modifikaci hodnot především pohlcováním a rozptylem. Oba procesy závisí zejména na vlnové délce měřeného elektromagnetického záření. Atmosférické efekty způsobují vodní kapičky, plyny, aerosoly a pevné částice. Eliminace je možná metodou nejtmašího pixelu, použitím regresní analýzy mezi daty naměřenými distančními metodami a daty získanými pozemním měřením nebo modelováním vlivů atmosféry a parametrizací. (Dobrovolný 1998)

3.7.4. Geometrické korekce

Geometrické nepřesnosti jsou způsobeny například kolísáním výšky nosiče, pohybem nosiče, zakřivením Země, atmosférickými refrakcemi, zdánlivými změnami v poloze objektů v důsledku kolísání nadmořské výšky terénu a nelinearity v průběhu snímání senzoru. Účelem geometrických oprav a transformací je získat pro obraz souřadný systém či kartografické zobrazení s použitím pro mapu – tedy například pro měření ploch či vzdáleností. (Dobrovolný 1998)

3.7.5. Klasifikace obrazu - extrahování informace

Jednotlivým obrazovým prvkům je při klasifikaci přiřazován informační význam. Cílem je nahradit radiometrické hodnoty hodnotami vyjadřujícími tzv. informační třídy. Nová informace závisí od zaměření projektu. Klasifikace je založena na použití určitých rozhodovacích pravidel – klasifikátorů. Mohou být založeny na spektrálním, prostorovém (textura, proximita, velikost, tvar, opakovatelnost či kontext), časovém nebo kombinovaném chování objektů. (Dobrovolný 1998)

3.8. Klasifikace

Kategorizace radiometrické informace do určitých tříd se nazývá klasifikace.

Nejjednodušším typem klasifikace je prahování – hledání hraničních hodnot příznaků pro jednotlivé třídy. Klasifikace je možné rozdělit na řízené a neřízené. Pro řízené klasifikace je potřeba sestavit klasifikační schéma, které představuje třídy výsledné tematické mapy. Klasifikace obrazu nemusí být závěrečným stadiem zpracování obrazu. Průběh řízené klasifikace se rozděluje na trénovací etapu, výpočet statistických charakteristik jednotlivých tříd a klasifikační etapu.

Cílem první etapy je vymezení trénovacích ploch pro každou kategorii klasifikačního schématu. Výběr je proveden zpracovatelem na základě terénního průzkumu, jiných tematických map nebo jiných zdrojů. Kvalita této etapy značně ovlivňuje úspěch či neúspěch klasifikace. Zpracovatel musí charakterizovat všechny hledané třídy. Pokud některé z povrchů s typickým spektrálním chováním nejsou natrénovány, potom je výsledkem velké procento nezařazených obrazových prvků. Třídy by měli být

charakterizovány typickými částmi obrazu. Měli by být odlišeny například různě osluněné svahy. Trénovací plochy by měli být pro jednu třídu co nejvíce homogenní. Okraje trénovacích ploch by měli být odsazeny od okrajů plochy, na které se nachází požadovaný povrch. Pro jakýkoli klasifikátor je nutné, aby minimální počet pixelů tvořících trénovací plochu byl $N+1$, kde N je počet klasifikovaných spektrálních pásem. Menší počet pixelů neumožňuje správně generovat statistické spektrální příznaky. V praxi se ovšem většinou používá výrazně větší počet pixelů. Trénovací plochy by měli být rozděleny pokud možno rovnoměrně na ploše obrazu, protože odrazivé, či vyzářovací vlastnosti stejných objektů či jevů mohou být v různé části obrazu odlišné. (Dobrovolný 1998)

Pixely trénovacích ploch jedné třídy tvoří vzorek, ze kterého jsou vypočteny statistické charakteristiky definující signatury – spektrální příznaky pro třídu. Tyto charakteristiky jsou představovány například průměrovým vektorem, směrodatnou odchylkou nebo kovarianční maticí. Podle těchto statistik je možné posoudit, jestli trénovací plochy vhodně charakterizují jednotlivé třídy nebo zda se trénované třídy dostatečně vzájemně odlišují. (Dobrovolný 1998)

Řízená klasifikace po definování trénovacích ploch a výpočtu statistických charakteristik zahrnuje dále výběr vhodných pásem pro vlastní klasifikaci, volbu vhodného rozhodovacího pravidla pro zařazení všech prvků obrazu do jednotlivých tříd a nakonec úpravu a hodnocení výsledků.

Pro řízenou klasifikaci existují různé klasifikátory. Patří mezi ně například klasifikátor minimální vzdálenosti, pravouhelníkový klasifikátor, klasifikátor nejbližších sousedů, Bayesovský klasifikátor, klasifikátor Mahalanobisovy vzdálenosti.

V případě problematického shánění trénovacích množin je možné využít klasifikace, které nepoužívají trénovací množiny v klasifikačním procesu. Jedná se o neřízenou klasifikaci. Klasifikátory využívané pro tento typ jsou například ISO DATA nebo K-means.

3.9. Další nástroje a metody pro klasifikaci z hyperspektrálních dat

Support Vector Machines – zkratka SVM v překladu algoritmy podpurných vektorů; je jedna z nových metod klasifikace dat. Má kořeny v Statistical Learning Theory, které

autorem je Vapnik (1995). SVM má široké uplatnění v oblastech strojového rozeznávání písma a prací s textem. SVM tvoří určitou kategorii z tzv. jádrových algoritmů - kernel machines. Jedním ze základních principů je převod vstupního prostoru do vícedimensionálního, kde je možné od sebe oddělit třídy lineárně. SVM je v zásadě binární klasifikační technika, tedy odděluje dvě třídy. Pro použití rozeznávání více tříd v reálných problémech týkajících se dálkového průzkumu Země musí být modifikována.

Existují dva hlavní přístupy 1A1 One-Against-One a 1AA One-Against-All.

Například v situaci, kdy je potřeba oddělit od sebe třídy vegetace, vodní plochy a zástavbu se v přístupu 1AA můžou oddělovat třídy vegetace a plochy bez vegetace nebo zástavba a plochy bez staveb, to znamená požadovaná třída v porovnání se všemi ostatními povrchy jako jednou další třídou. Datová sada o N třídách se rozdělí na N porovnávání dvou tříd. Přístup 1A1 porovnává každou dvojici tříd klasifikačního schématu a vždy přiřadí k jedné ze tříd. K té třídě, ke které přiřadil nejvíce krát nakonec objekt připíše. V případě 1A1 tedy proběhne $N \cdot (N-1) / 2$ porovnání.

Nevýhoda 1A1 je, že potřebuje k průběhu více porovnání dvou tříd, tedy je výpočetně náročnější. (Gidudu 2007)

Huang (2002) uvádí, že SVM přináší lepší výsledky v přesnosti klasifikace v porovnání s metodou rozhodovacích stromů nebo klasifikátoru největší pravděpodobnosti.

Překonává dokonce i metodu neuronových sítí. (Shi 2012)

Stejně jako u ostatních klasifikátorů řízených klasifikací i u SVM může ovlivnit výsledek velikost a kvalita trénovacích množin. Pro jednu třídu a pro jedno pásmo vlnových délek by mělo být použito minimálně 10-30 pixelů ze spektrálně co nejvíce homogenních ploch. (Shi 2012)

Umělé neuronové sítě – mají schopnost zlepšovat přesnost klasifikace vzhledem k jejich decentralizované struktuře a podchycení komplexních jevů. UNS jsou založeny na zjednodušeném fungování biologických neuronových sítí. Skládají se ze vzájemně propojené skupiny neuronů - perceptronů. Každý perceptron je založený na jednoduchém výpočtu. V praxi je nejpoužívanějším typem neuronové sítě multi-layer-perceptron, zkratka MLP, kvůli jednoduchosti v pochopení a implementaci. Typická struktura MLP neuronové sítě je složena z neuronů a vzájemných propojení ve vrstevnaté struktuře. Vstupem do jednoho neuronu je vážený součet všech výstupů z předcházející vrstvy neuronů. Mnoho prací ukázalo, že MLP neuronové sítě přinášejí přesnější výsledky pro klasifikaci i v dálkovém průzkumu Země než tradiční statistické

metody. Je potřeba zvážit poměrně hodně parametrů před zavedením neuronové sítě do výpočtů pro klasifikaci různých povrchů. Jedná se například o vstupní data, trénovací množiny, požadavky na výstupy, architektura neuronové sítě, nastavení vah vstupů do perceptronu nebo jak ověřit výsledky. (Zhou 2008)

Zhou se zabýval nastavením parametrů neuronové sítě pro klasifikaci využití území z ETM+ snímku (Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus). Senzor ETM+ je součástí družice Landsat 7.

Spectral measure techniques – zk. SMTs, porovnávají cílové spektrum s referenčním spektrem. Jejich výhoda nad parametrickými metodami jako je maximum likelihood je, že můžou využít spektrální knihovny druhů. (Ghiyamat 2013)

Mezi spectral measure techniques patří například spectral angle mapper (SAM). Pro n dimenzí se získává spektrální úhel mezi požadovaným a referenčním spektrem.

Spektrální úhel znázorňuje, jak jsou si spektra podobné. (Spectral Angle Mapper (Using ENVI) 2016).

Maximum likelihood classification – zkratka MLC, v překladu klasifikátor maximální pravděpodobnosti. V software ArcGIS je tato klasifikace založena na dvou principech: Gaussovo rozdělení četností a Bayesův teorém. Každý pixel zařazuje podle signatury do určité třídy. Za předpokladu normálního rozdělení může být třída charakterizovaná vektorem středních hodnot a kovarianční maticí. Statistickou pravděpodobností je pak každá buňka – pixel zařazena do některé třídy klasifikačního schématu. (How Maximum Likelihood Classification Works 2016)

Obecněji se jedná o metodu maximum likelihood estimation, tedy odhad parametrů statistického modelu daných dat.

4. Metodika a materiál

4.1. Přírodní poměry a základní údaje o území ŠLP Křtiny

Původní Školní lesní statek Adamov Vysoké školy zemědělské v Brně byl zřízen výnosem Ministerstva zemědělství ČSR v roce 1922 po převzetí konfiskovaného lichtenštejnského majetku státem. V dnešní době se jedná o Mendelovu univerzitu v Brně. Čestný název Masarykův les byl udělen výnosem Ministerstva zemědělství v roce 1932. (90 let ŠLP ML Křtiny 2008)

Lesní pozemky MENDELU mají rozlohu 10 200 ha. Vytvářejí souvislý komplex bezprostředně navazující na severní okraj města Brna. Lesy se nacházejí v nadmořské výšce 210 až 575 m a vyznačují se značnou pestrostí přírodních podmínek.

Území ŠLP Křtiny je součástí geomorfologického celku Dražanská vrchovina. Z hlediska biogeografie patří do bioregionů Brněnský, Macošský a Dražanský.

4.1.1. Horniny a reliéf

V západní části, která je součástí brněnského masivu se vyskytují zejména amfibolické granodiority, případně diority a diabasy. Moravský kras, který patří pod Macošský bioregion, budují příkrovy převážně čistých devonských vápenců. V jižní části přecházejí spráše do sprašových hlín. Významná jsou vápencová suťová pole. Západní část pokrývají převážně souvrství mořského spodního karbonu – kulmu: břidlice, droby. (Culek 2005)

4.1.2. Podnebí

Dle Quitta patří území do mírně teplé oblasti od MT 7 až po MT 11. Na severu Macošského bioregionu až do MT 3. Obecně je nejteplejší území v okolí Brna (8,6°C, 547 mm) a k severu se ochlazuje a zvyšují se průměrné srážky. Vranov u Brna má průměrné roční srážky 610 mm, Olomučany 620 mm a průměrnou teplotu 7,7°C. SV část Macošského bioregionu má průměrné teploty 6,6 °C a srážky 660 mm. (Culek 2005)

4.1.3. Půdy

Na území převažují kambizemě s luvizeměmi, v Moravském krasu pak rendziny. Méně se zde objevují hnědozemě. (Culek 2005)

4.1.4. Vegetace

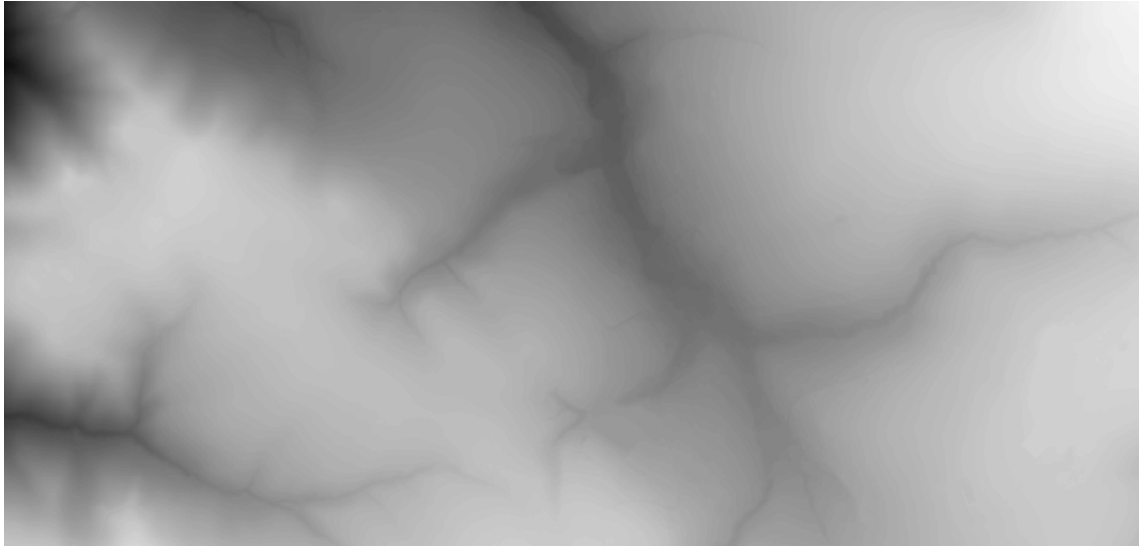
Ve střední části Masarykova lesa v Moravském krasu je přirozená vegetace tvořena dubohabřinami. V jižní části Moravského krasu se ostrůvkovitě vyskytují teplomilné doubravy. Na plošinách severní a střední části jsou bučiny. Na kamenitých ospech se nacházejí suťové lesy. Převažuje zde 3. dubobukový a 4. bukový vegetační stupeň, trofické řady B mezotrofní a D bazická, hydriká řada normální. (Culek 2005)

4.2. Informace o vstupních datech

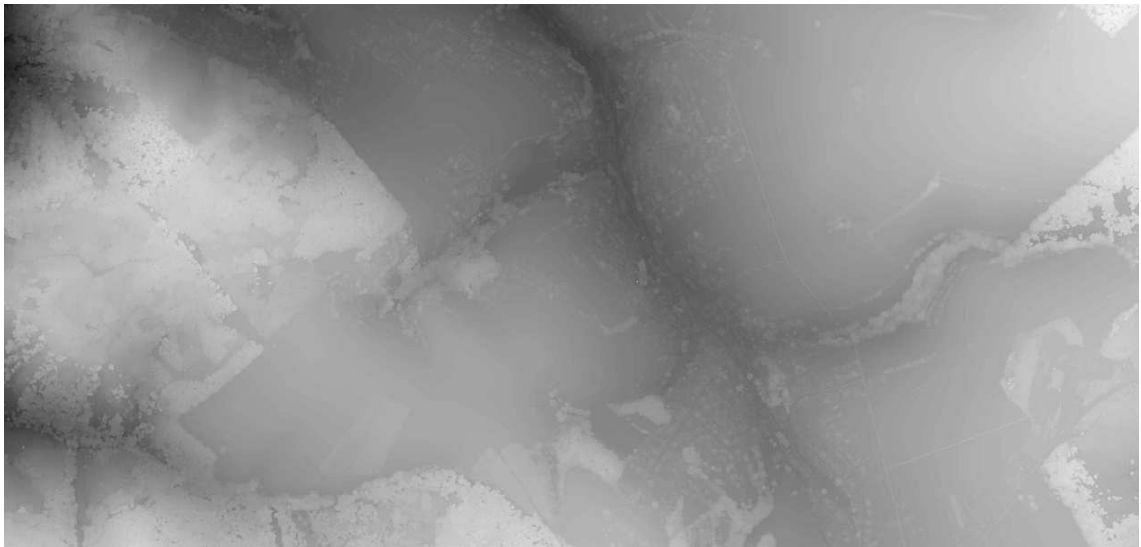
4.2.1. Lidarová data

Letecké snímání bylo provedeno dne 17.9.2014 a 18.9.2014 pomocí skeneru Leica ALS70-CM(SN7209). Další podrobnosti o skeneru se nacházejí v příloze 1. Jako souřadný systém je použitý WGS-84 UTM33N a výškový systém GRS-80. Leteckým nosičem byla Cessna 206 Turbo stationair OK-EKT. Výpočet trajektorií softwarem Leica IPASDTC (ver. 3.20.06) a ALS PP Ver. 2.75, georeferencování softwarem TerraMatch, export do LAS formátu a zpracování DTM a DSM v prostředí Microstation V8i bylo provedeno dodavatelem. V prostředí Microstation byly vyseparovány laserové body do dlaždic o rozměrech 500x500m. Dbalo se na to, aby počet laserových bodů v jedné dlaždici nedosahoval příliš velkého objemu dat. Na takto předpřipravená data byl aplikován automatický proces klasifikace šumových bodů pod terénem, bodů na terénu, vegetace a šumových bodů nad terénem. (Bednář 2014)

Výsledným produktem leteckého laserového skenování a jeho zpracování byly soubory digitálního modelu povrchu (digital surface model, DSM) a digitálního modelu terénu (digital terrain model, DTM). Tyto soubory byly vstupními daty pro zpracování závěrečné práce.



Obr 3: Ukázka digitálního modelu terénu na území obce Olomučany.



Obr 4: Ukázka digitálního modelu povrchu na stejném území jako na Obr 2.

4.2.2. Hyperspektrální snímky

Měření proběhla 18.8.2014 a 28.8.2014 pomocí senzoru CASI1500 od firmy Itres v spektrální oblasti viditelného a blízkého infračerveného spektra s vlnovými délkami 380 – 1050 nm se zorným úhlem 40°. Prostorové rozlišení je 1 metr, šířka snímané linie je 1500 metrů. Počet nasnímaných spektrálních pásem je 72. Příčný překryt je 30%. Data poskytl Centrum pro výzkum globální změny AV ČR, v. v. i., Oddělení dálkového průzkumu Země. Leteckým nosičem byla Cessna 208B Grand Caravan.

Z důvodu nepříznivých atmosférických podmínek se nepodařilo nasnímat oblast za jeden den. Radiometrické a atmosférické korekce byly pro oba dva dny zpřesněny pomocí referenčních terčů, jejichž odrazivost byla na zemi měřena přenosným spektrometrem FieldSpec-4.

Celá oblast Masarykova lesa je nasnímana v 16 liniích ve směru sever – jih. Znázorněno na obrázku č.2. (Hanuš 2014)



Obr. 5: Letové linie nad územím ŠLP Křtiny (Hanuš, 2014)

Některé linie byly snímány v obou dnech a do výsledné mozaiky byla začleněna linie nasnímaná za vhodnějších atmosférických podmínek. (Hanuš, 2014)

Dále se pracovalo se 72 pásmy tak, že 1. pásmo bude označeno jako pásmo s nejmenšími vlnovými délkami a 72. pásmo s největšími vlnovými délkami. Pásma byla v takovémto pořadí také dodána. Pásma mají vlnový rozsah 9-10 nm. Intervaly délek a vlnové rozsahy jsou uvedeny v příloze č.2.

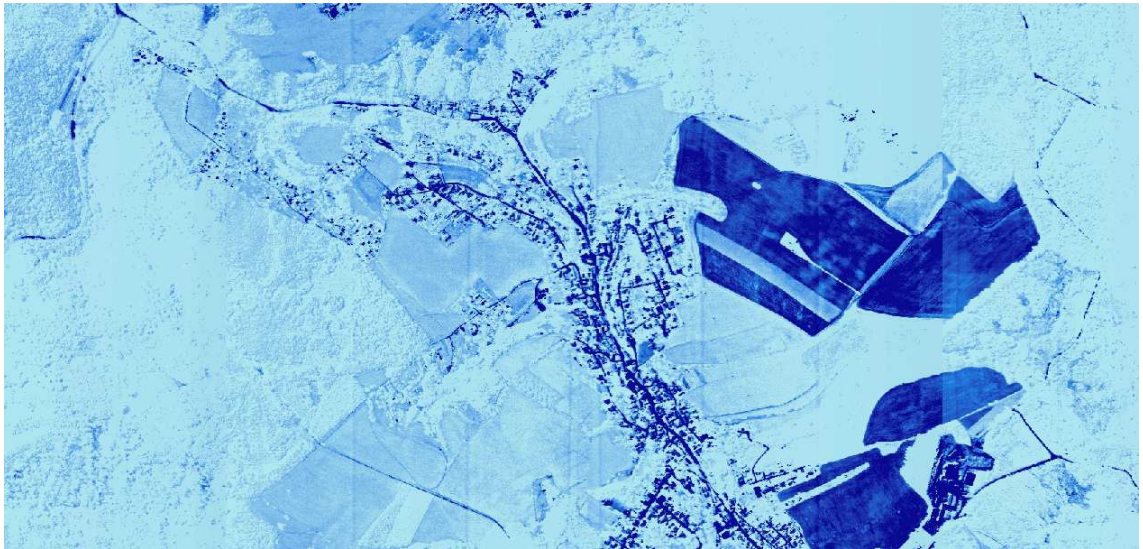
Tab. 1: Datum a čas snímání letových linií

Č. linie	Datum	Čas snímání
1	18.8.2014	10:05
2	18.8.2014	10:23
3	18.8.2014	10:38
4	18.8.2014	10:53
5	28.8.2014	09:52
6	28.8.2014	09:37
7	18.8.2014	10:14
8	18.8.2014	10:29
9	18.8.2014	10:44
10	28.8.2014	10:08
11	28.8.2014	10:00
12	28.8.2014	09:46
13	28.8.2014	09:30
14	28.8.2014	10:16
15	28.8.2014	10:20
16	28.8.2014	10:26

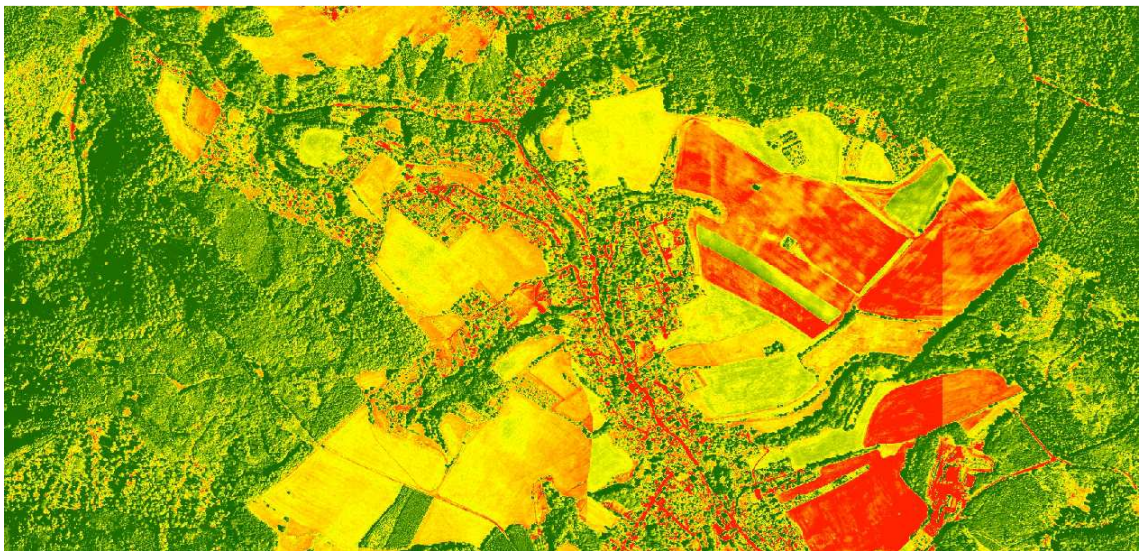
Radiometrické korekce byly provedeny v programu RadCorr 5.2.11.2. Hodnoty finálních radiometrických dat jsou uvedeny v radiometrických jednotkách $\frac{\mu W}{cm^2 \cdot str \cdot nm}$, vynásobených 1000. Násobek byl použitý z důvodu výhodnějšího použití datového typu unsigned integer. (Hanuš 2014)

Atmosférické korekce byly provedeny v programu ATCOR-4 Ver. 6.0 z důvodu vyloučení vlivu atmosférických plynů a aerosolů. Hodnoty odrazivosti jsou v datech vynásobeny konstantou 100 (Hanuš 2014). Nadir normalizace byla provedena pro snížení rozdílů v odrazivosti způsobených BRDF efektem na rozhraní sousedních linií ve výsledné mozaice. Georeferencování bylo provedeno metodou parametrického geokódování za pomoci dat pořízených GPS/INS jednotkou a digitálního modelu povrchu v programu GeoCor Ver. 4.15.3. V jednom kroku jsou tak provedeny geometrické korekce, ortorektifikace i georeferencování. Použitý digitální model

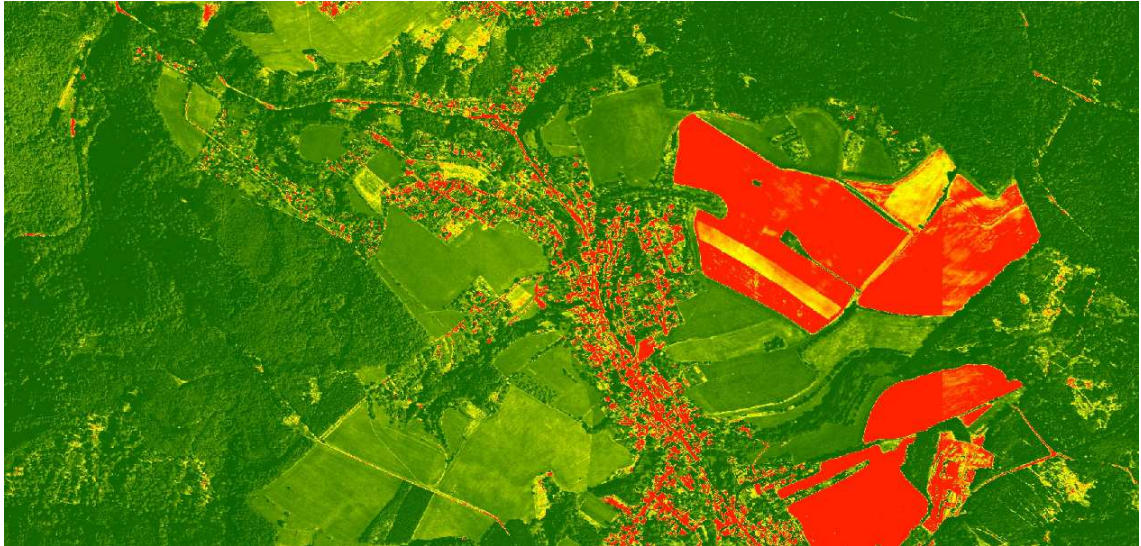
povrchu v rozlišení 1 m, byl vygenerován na základě laserskenových dat stejného území. Pro převzorkování dat do souřadnicového systému byla použita metoda nejbližšího souseda (Hanuš 2014). Všechny korekce byly provedeny dodavatelskou firmou.



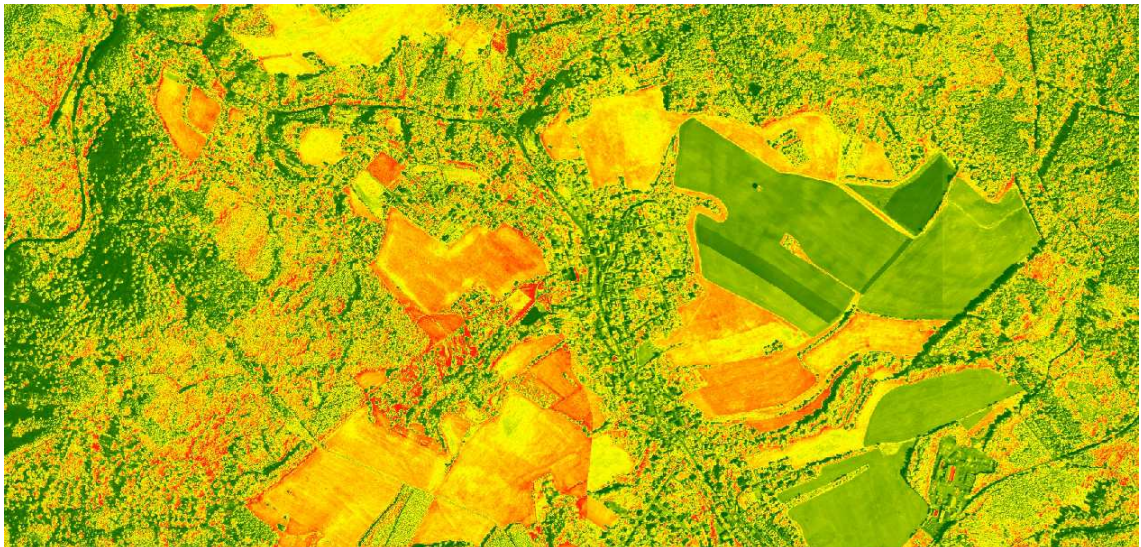
Obr 6: Ukázka dat z modré části spektra.



Obr 7: Ukázka dat ze zelené části spektra



Obr 8: Ukázka dat z červené části spektra.



Obr 9: Ukázka dat pro pásmo vybrané z blízké infračervené části spektra.

4.2.3. Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED) - polohopis

Základní báze geografických dat České republiky, zn. ZABAGED® je digitální geografický model území České republiky (ČR). Polohopisnou část ZABAGED® tvoří v současné době geografické objekty sídel, komunikací, rozvodných sítí a produktovodů, vodstva, územních jednotek a chráněných území, vegetace a povrchu, terénního reliéfu a vybrané údaje o geodetických bodech. Objekty jsou reprezentovány

dvourozměrnou vektorovou prostorovou složkou a popisnou složkou, obsahující kvalitativní a kvantitativní informace o objektech. (ČÚZK Geoportál 2015)

Pro účely závěrečné práce byly využity mapové vrstvy:

1. Budovy a bloky budov
2. Elektrické vedení
3. Lesní půda se stromy
4. Lesní půda s křovinatým porostem

Jde o polygonové vrstvy, které znázorňují území, na kterých se nelesní vegetace nenachází. Pro získání území, na kterém se potenciálně může nacházet nelesní vegetace se použije doplněk z těchto vrstev. Postup je uvedený v části 4.3.1.

4.2.4. Data sesbíraná v terénu

V terénu byla sesbírána data pro vytvoření trénovacích množin, resp. polygonů se známým složením vegetace. Pochůzka byla provedena 21.2.2015, 23.2.2015, 2.3.2015, 9.12.2015 a 10.12.2015. Trénovací množiny byly zakresleny do podrobných map 1:3000 vytvořených z vrstvy CHM vytištěných speciálně pro tyto účely. V několika případech bylo použito GPS ze smartphonu Acer Liquid E700 nebo GPS Trimble Juno 3. Polygony měli různou velikost od zachycení jedné koruny po porosty do velikosti desítek arů. Celkem šlo odhadem o plochu několika hektarů zjištěného druhového složení, resp. rodového složení. Část z ploch nebyla využita pro zpracování z důvodu celkového nedostatečného množství ploch pro druh/rod.

4.2.5. Poloha Slunce na obloze

Hyperspektrální snímky byly získány 18.8.2014 mezi 10:00 a 11:00, kdy se Slunce nachází mezi 47° a 52° nad horizontem a 28.8.2014 mezi 9:30 a 10:30, kdy je Slunce přibližně mezi 40° a 47°. Uvedené hodnoty platí pro 50° severní zeměpisné šířky. (Výška Slunce během roku 2016)

4.3. Postup

4.3.1. Odlišení nelesní vegetace

Jako nelesní vegetace je pro tuto práci považována dřevinná vegetace, která se nenachází na pozemcích určených pro plnění funkcí lesa podle § 3 zákona č. 289/1995 Sb., o lesích. Nelesní vegetace byla vylišována v programu ArcGIS 10.3.1. Princip následujícího postupu je vytvoření doplňku k množině vrstev, na kterých se nenachází nelesní vegetace. Vrstva "ElektrickéVedení" byla doplněna o soustavu nových linií znázorňujících elektrické vedení, které se reálně nachází na území a je patrné i v lidarových vstupních datech, ale není obsaženo ve vrstvě ZABAGED. Z vrstvy "BudovaBlokBudov" bylo odstraněno několik polygonů budov, které při konverzi vektorového polygonového formátu na rastrový formát vytvářeli chybové neexistující pásy. Dále byl nástrojem Buffer vytvořen pás kolem elektrického vedení s poloměrem 2 metry a kolem budov s poloměrem 5 metrů.

- 1.krok: spojení vrstev "LesniPudaSeStromy", "LesniPudaSKrovinatymPorostem", s doplněnou a upravenou vrstvou elektrického vedení a upravenou vrstvou budov – zástavby nástrojem Merge.
- 2.krok: vrstvu vytvořenou v 1.kroku změnit z vektorové na rastrovou pomocí nástroje Polygon to raster.
- 3.krok: nástrojem Reclassify reklasifikovat hodnoty vrstvy vzniklé v 2.kroku tak, aby pixely bez hodnoty (NoData) měli hodnotu 1 a všechny ostatní pixely byly bez hodnoty – NoData.
- 4.krok: následně nástrojem Raster to polygon, pro který bude vstupní vrstvou výsledná vrstva z 3.kroku se vytvoří polygonová maska, kterou se nástrojem Extract by mask vyčlení segmentované území.

4.3.2. Popis vytvoření trénovacích množin

Předpokladem pro následující postup je, že každý druh dřeviny má určitou svou typickou odrazivost odlišující se od ostatních druhů. Dále, že nejlépe se odliší druhy mezi sebou podle nejvíce osvětlené části koruny od zdroje záření. Trénovací množiny se vytvářejí za účelem získání spektrálních křivek pro jednotlivé druhy/rody. Spektrální

křivka je souvislý průběh odrazivosti. V této práci průběh ve viditelném a blízkém infračerveném spektru.

1.krok: pomocí nástroje Aspect je rozdělen původní rastr výšek povrchu nebo rastr výšek objektů na expozice ke světovým stranám: severní, severovýchodní, východní, jihovýchodní, jižní, jihozápadní, západní, severozápadní.

Důvodem rozdělení je nalezení expozice nebo expozic přivrácených ke zdroji záření.



Obr. 10: Ukázka sadu, na kterém jsou vyznačené zelenou barvou východní a jihovýchodní expozice korun.

2.krok: nástrojem Reclassify se získá jednotkový rastr s požadovanou expozicí. V tomto případě to je východní a jihovýchodní expozice.

3.krok: v ArcCatalogu se vytvoří nové polygonové vrstvy. Každá bude ohraničovat trénovací množiny jednoho druhu v jedné letové linii. Informace o tom kde leží hranice jednotlivých polygonů se získají z terénních pochůzek. Může jít o různé velké polygony od jednotlivých korun solitérů po souvislý porost. Musí se jednat vždy o reprezentativní vzorek pro druh.

4.krok: nástrojem Extract by mask se vyberou ty východní a jihovýchodní expozice,

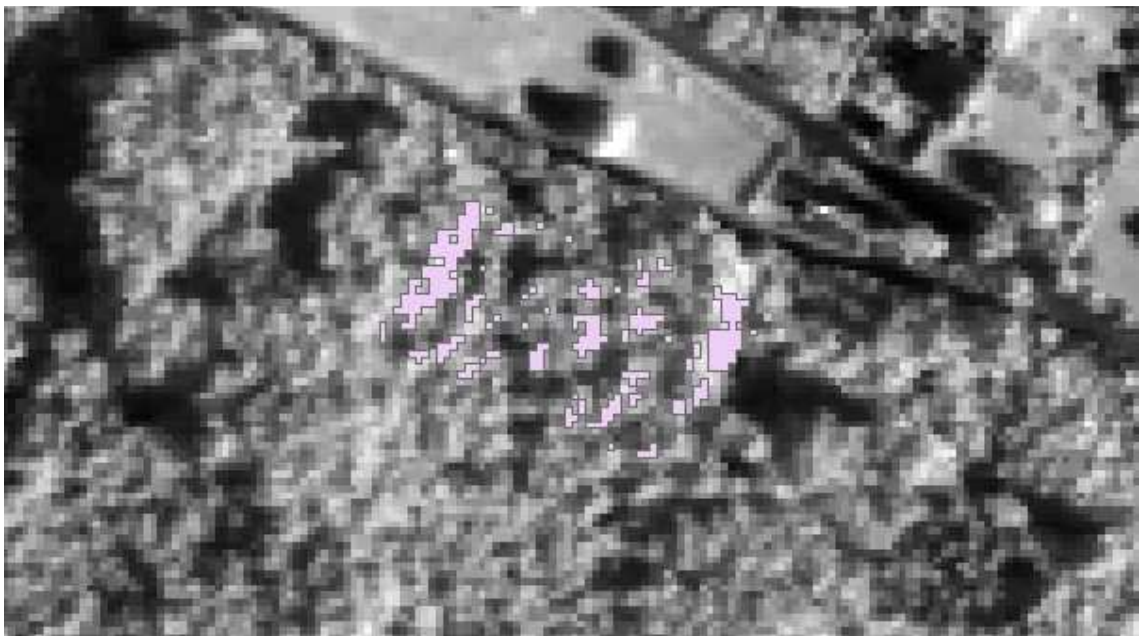
které náleží jednotlivým polygonům.

5.krok: nástrojem Raster to polygon se změní rastrový formát na vektorový. Nepoužije se možnost Simplify. Vznikne vrstva, kde budou nejčastější malé polygony ve velikosti přibližně 1 až 20 pixelů. Malá velikost je způsobena tím, že místo celých korun se berou pouze východní a jihovýchodní expozice.

6.krok: do nově vzniklé vrstvy z 5.kroku se v atributové tabulce přidá sloupec s druhem dřeviny a vypíše se pro každý polygon druh dřeviny.

7.krok: podle sloupce s druhem dřeviny se nástrojem Dissolve sjednotí polygony se stejným dřevinným druhem. Vznikne takový počet multi-polygonů jaký je počet zkoumaných dřevin.

8.krok: každá soustava trénovacích množin pro každý druh se může posunout řádově o jedničky pixelů nástrojem Shift podle odhadu uživatele. To z důvodu, že na sebe „nesedí“ přesně rastry z lidarového snímkování ze kterých jsou získané expozice korun a hyperspektrálního snímkování ze kterých se budou brát hodnoty odrazivosti.



Obr. 11: Ukázka části vytvořených trénovacích množin pro buk v páté letové linii.

4.3.3. Vytvoření segmentů

Pro vytvoření segmentů je použita jako vstupní vrstva canopy height model. Je to vrstva vytvořená odečtením hodnot digitálního modelu terénu od hodnot digitálního modelu povrchu. Jde tedy o rastrovou vrstvu rozdílů výšek mezi dvěma pixely se stejnou polohou – výšek objektů. Za pomoci nástroje Reclassify se vytvoří rastrová vrstva s objekty vyššími než 2 metry. Tato vrstva se potom nástrojem Raster to polygon změní na masku, podle které se nástrojem Extract by mask vybere z původní vrstvy canopy height model pixely s větší výškou objektů než 2 metry. Dalším krokem je vytvoření vrstvy směru odtoku pomocí nástroje Flow direction a poté nástroje Basin, který vytvoří “povodí“ ohraničující koruny stromů.

4.3.4. Klasifikace

Pro klasifikaci je využitý nástroj Maximum likelihood classification. Po klasifikaci je výstupní rastr využitý nástrojem Zonal statistics s možností nalezení nejčastější hodnoty – “Majority“, která označuje druh/rod stromu. Jako zóny jsou použité vytvořené segmenty. Celému segmentu je poté přiřazena nejčastější hodnota. Ukázky výsledné klasifikace jsou zobrazeny na Mapě č.1 a Mapě č.2.

5. Výsledky práce

5.1. Trénovací množiny

Trénovací množiny (polygony) byly vybrány v katastrálním území obce Olomučany se zaměřením na častěji se vyskytující rody dřevin – SM, DB, BR, HB, MD, LP, BK, BO, z důvodu získání dostatečné plochy (dostatečného množství pixelů) na zpracování. U rodů jako například růže (*Rosa*), jírovec (*Aesculus*), tis (*Taxus*), tuje (*Thuja*), topol (*Populus*), vrba (*Salix*), líska (*Corylus*) nebo u ovocných stromů byl problém v malé pokryvnosti korun nebo malém počtu jedinců na zkoumaném území. Odrazivost v různých pásmech byla ovlivněna okolím nebo charakterem koruny. Většinou se odrazivost jedince dřeviny zvyšovala směrem od okrajové zastíněné části do osvětlené části koruny. Někdy splývala s okolím – například s travním porostem. Toto záviselo na zkoumaném pásmu i na dřevině, resp. na vlastnostech odrazivosti – mezerovitost koruny, přirozeném stavu koruny - hustotě koruny, na typech objektů, které se nacházeli v okolí (zemina bez podrostu, zemina s podrostem, další vlastnosti zeminy, povrch vozovky, stavba a jiné), na použitém pásmu. Z toho důvodu byly okrajové části problematické. Dřeviny s malou pokryvností koruny měly odrazivost v místě koruny často značně smíšenou se svým okolím, proto byly nevhodné pro trénovací množiny, které mají být reprezentativní pro daný povrch.

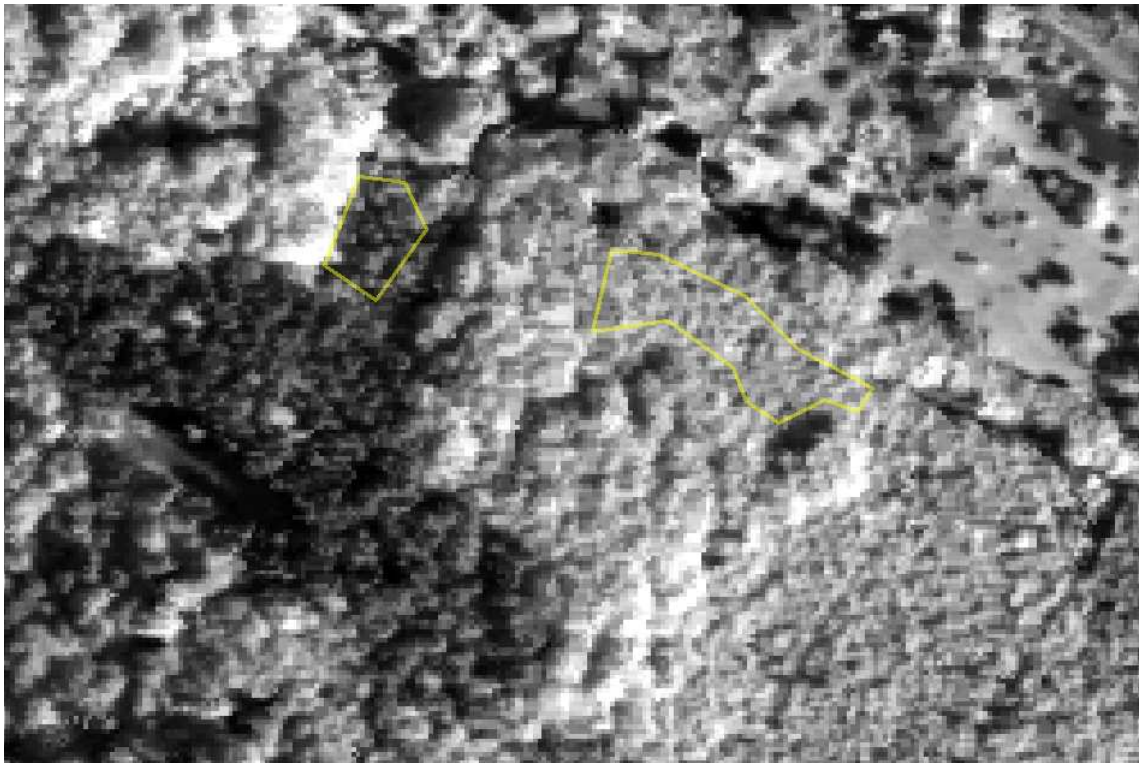
Problém s malým počtem jedinců většiny rodů dřevin zjištěných na území se odrážel do statistického zpracování dat. Rody s malým celkovým počtem pixelů v trénovacích množinách může být nevhodné statisticky porovnávat s velkým počtem pixelů u jiného rodu, který byl na území častý.

Následující obrázky č.11 a č.12 znázorňují příklady vizuálních rozdílů mezi různými korunami a pásmy.



Obr. 12: Ukázka korun bříz v stromořadí podél polní cesty mezi ornou půdou (tmavší plocha vlevo) a travním porostem (bledší plocha vpravo). Obrázek je z rastrové vrstvy s vlnovými délkami 0,927-0,936 μm , tedy blízké infračervené části spektra.

Hyperspektrální data byla pořízena v srpnu 2014 kolem desáté hodiny dopoledne. Konkrétně u těchto bříz vznikl dojem, že odrážejí ve větší míře záření v modré části spektra. Odrazivost ovšem způsobuje povrch vozovky prosvítající přes koruny.

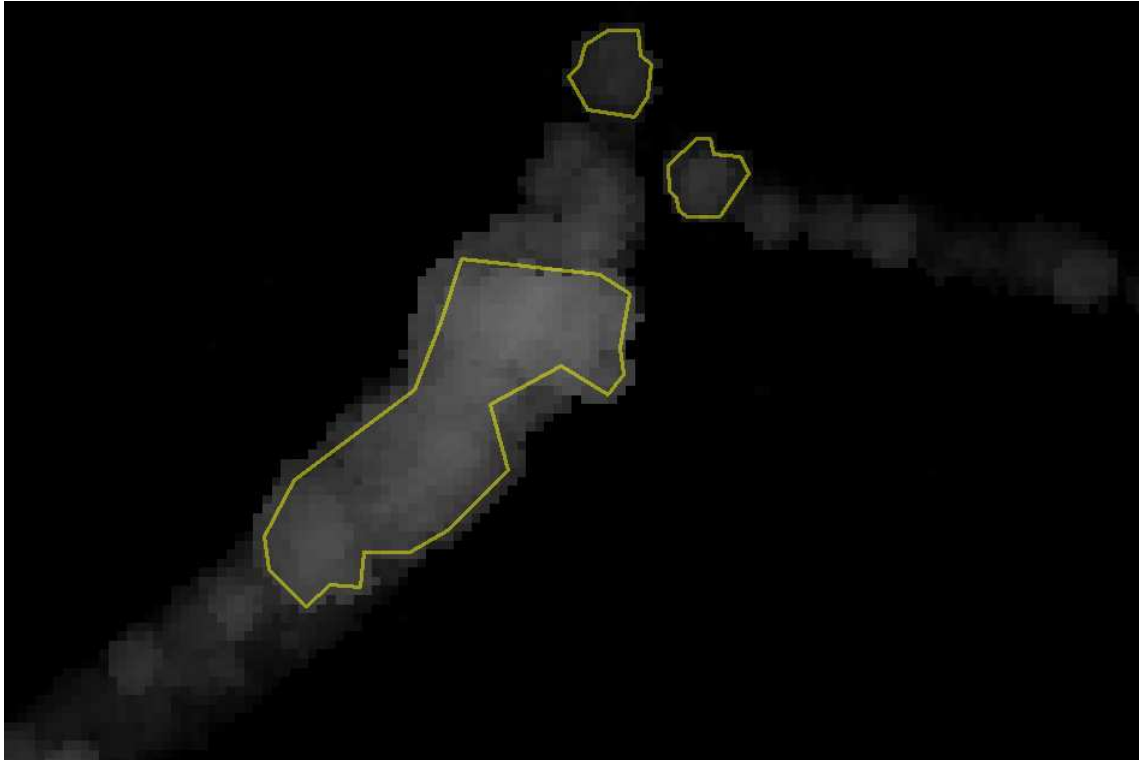


Obr. 13: Pomocí žlutých polygonů jsou ohraničeny trénovací množiny buku a smrku v souvislém porostu. V horní pravé části je zahrádkářská kolonie. Levý tmavší polygon ohraničuje smrk a pravý bledší polygon buk. Obrázek je výřezem z rastru pásma č.60 (NIR).

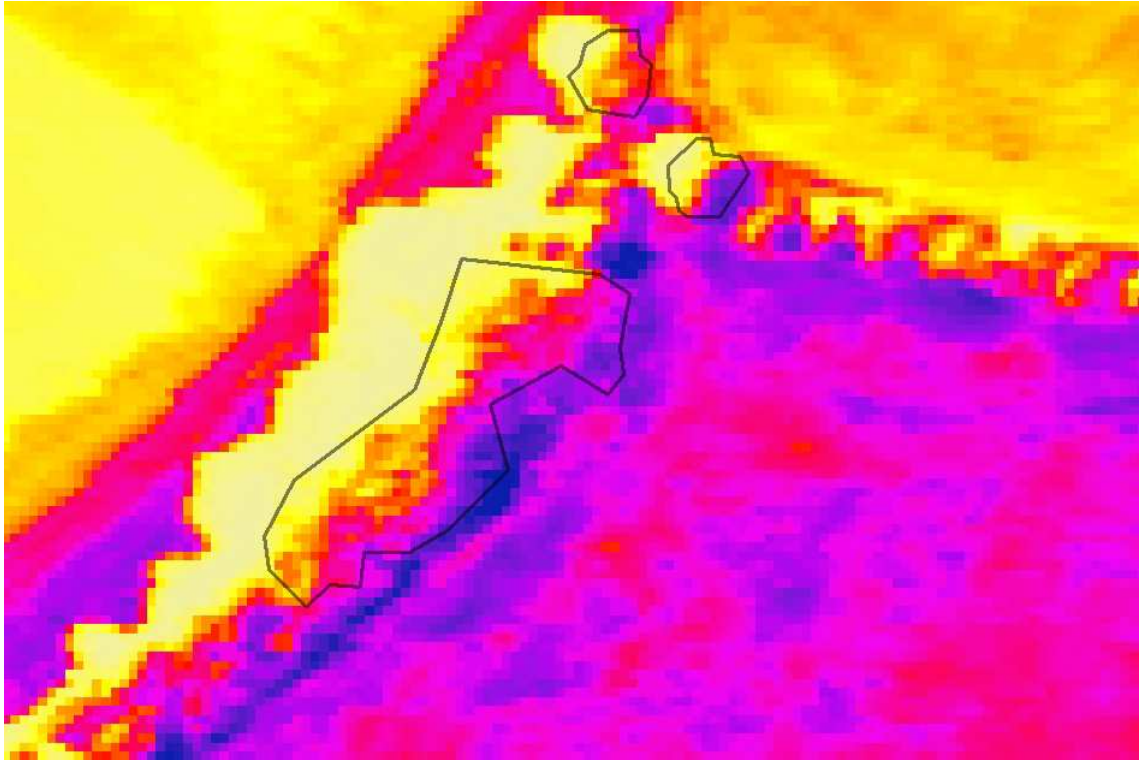
Stromy, které mají solitérní postavení, tzn. je kolem nich volný prostor bez souvislého zápoje korun, mají větší variabilitu hodnot pixelů. Je to způsobeno tím, že na část koruny nedopadá přímé světlo (nízké hodnoty odrazivosti) a na čelní straně dřeviny směrem ke zdroji světla byla odrazivost naopak často velmi vysoká. Rozdíly hodnot odrazivosti koruny jedné dřeviny mezi osluněnou a zastíněnou částí bývají řádově v tisících jednotek v blízkém infračerveném pásmu. To znamená i kolem 10-15% z maximálních hodnot rastru. To má vliv na umístění trénovacích množin.

5.2. Hodnoty odrazivosti

Na následujících obrázcích je znázorněn vliv umístění trénovací množiny na hodnoty odrazivosti získané z hyperspektrálních snímků.



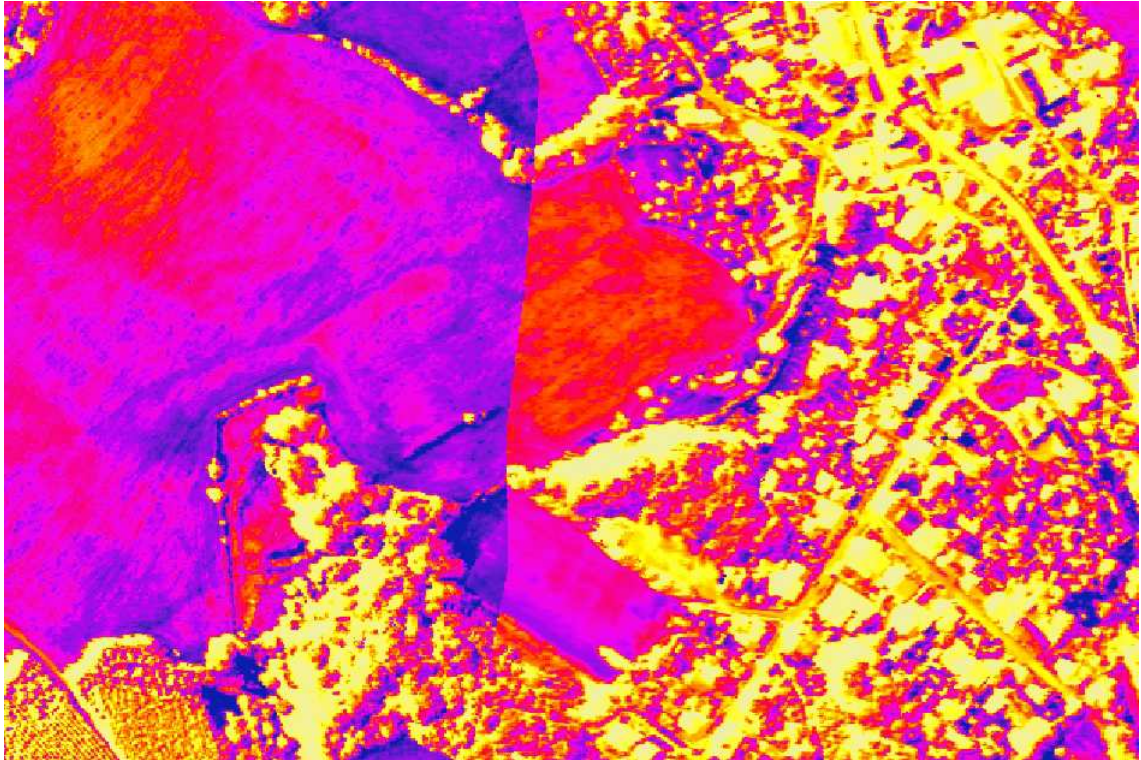
Obr.14: Žlutou barvou jsou znázorněny trénovací množiny. V tomto případě ohraničují koruny dubu. Podkladem je vrstva canopy height model.



Obr. 15: Stejně polygony jako na obr.11 ohraničující duby. Podkladem je rastrová vrstva s hodnotami odrazivosti v pásmu č. 42. Jsou zde dobře vidět velké rozdíly v odrazivosti mezi částí koruny natočenou čelem ke Slunci (fialová barva) a částí koruny zastíněné (žlutá barva).

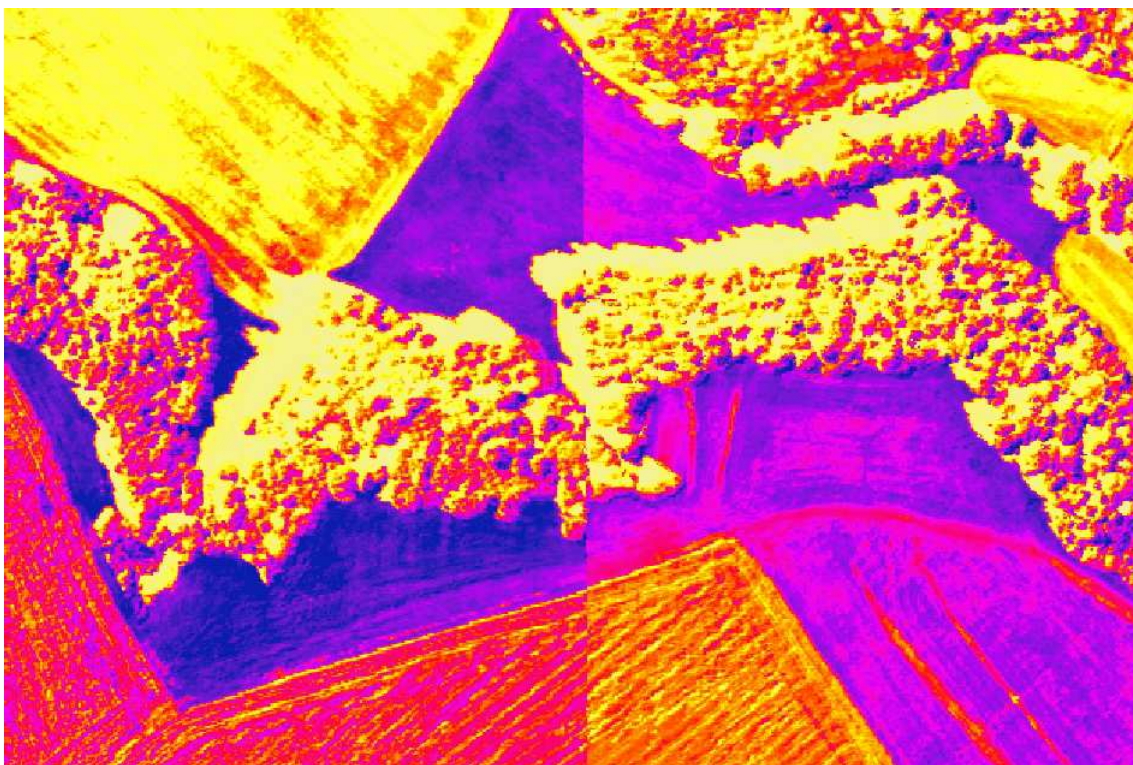
Na obrázku č.15 se hodnoty fialové barvy v polygonu pohybují kolem 4000-5000 a hodnoty žluté barvy mezi 1000-2000. Rozdíl v odrazivosti v rámci jedné koruny může tedy nabývat hodnot až 3000-4000. To je přibližně 30% z maximálních hodnot rastru pásma 42, které je na obrázku.

Plošné hodnocení bylo ovlivněno rozdílnými hodnotami v rámci letových linií.



Obr. 16: Uprostřed obrázku je viditelná linie. Linie je hranicí mezi dvěma letovými liniemi č.6 a č.7.

Na obrázku č.16 je viditelný rozdíl v odrazivosti mezi dvěma sousedními letovými liniemi. Rozdíl v tomto případě se pohybuje i kolem 1500 pro stejný povrch (v tomto případě TTP) na dvou různých letových liniích. To může výrazně ovlivňovat střední hodnotu odrazivosti pro trénovací množiny a klasifikaci, v případě je-li počítána společná statistika pro polygony z různých letových linií. Rozdíl hodnot je způsobený zřejmě natočením skeneru ke zdroji světla v průběhu snímkování v pravé části linií a odvrácením skeneru od zdroje světla v levé části linií. Dále může být důvodem snímkování v jiný den a čas nebo vlastnost skeneru.

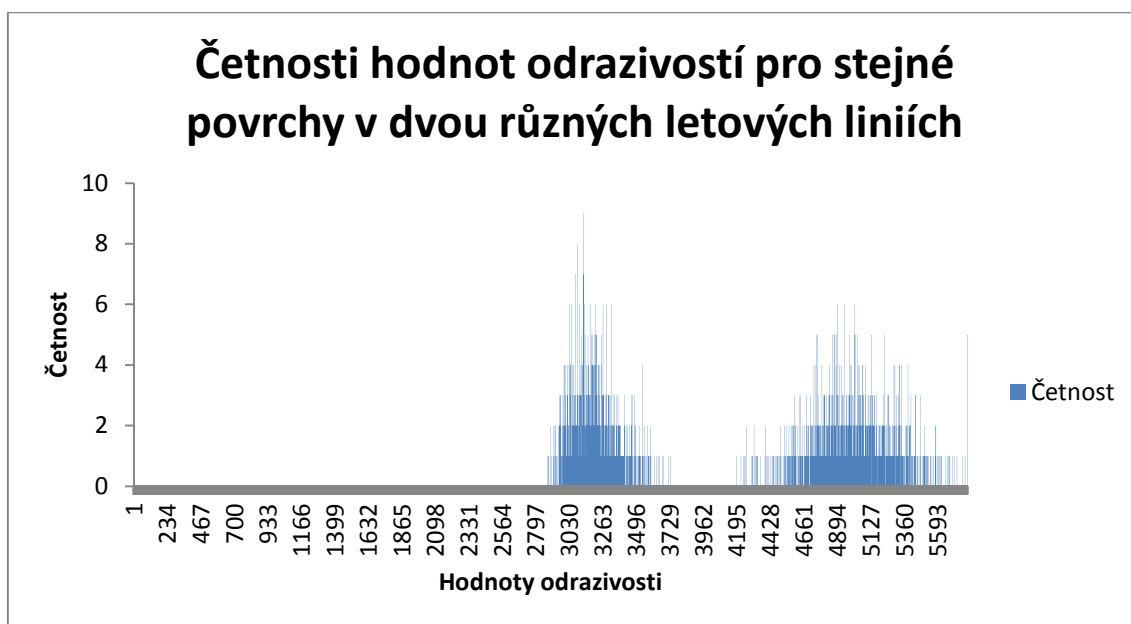


Obr. 17: Zde hranice letových linií prochází také pásem dřevinné vegetace. Na vegetaci není hranice tak patrná jako na homogennějším povrchu. V tomto případě je ukázka rozdílu mezi 10. a 11. letovou linií.

Rozdíly v odrazivosti nejsou patrné mezi všemi letovými liniemi, ale pouze mezi některými. Na následujících obrázcích jsou znázorněny testovací polygony pro zjištění rozdílu v odrazivosti mezi letovými liniemi s jejich histogramy, tedy početnosti hodnot odrazivosti.



Obr. 18: Umístění polygonů pro zjištění rozdílu v odrazivosti mezi letovými liniemi č.6 a č.7 v pásmu č.44. S obrázkem souvisí Graf 1.

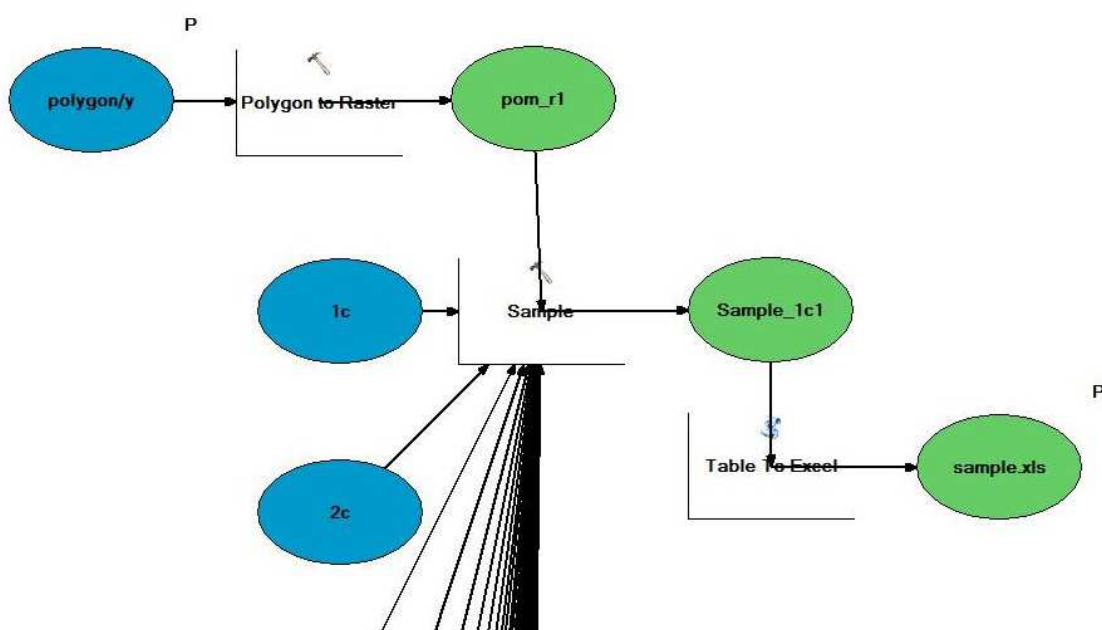


Graf 1: Histogram ukazuje úplné oddělení souboru hodnot odrazivosti pro dva polygony z Obr. 10. Lokální maximum umístěné v levé části histogramu souvisí s pravým polygonem a lok. maximum umístěné v pravé části histogramu s levým polygonem.

Z rozdílností vyplývá, že je potřeba letové linie klasifikovat každou zvlášť, nebo se pokusit o určité vyrovnání v odrazivostech. S tím souvisí také případné získání vhodných trénovacích množin pro každou letovou linii zvlášť.

5.3. Spektrální chování jednotlivých druhů dřevin

Z polygonových vrstev trénovacích množin se vytvoří opět rastrová nástrojem Polygon to raster. Pro získání hodnot odrazivostí jednotlivých trénovacích množin je použitý nástroj Sample. Následně se hodnoty exportují nástrojem Table to Excel do Microsoft Excel a zde se vytvoří následující grafy. Tyto tři kroky se často za sebou opakují při vytváření výsledných grafů, proto byly spojeny do jednoho nástroje v ModelBuilder v ArcGIS.

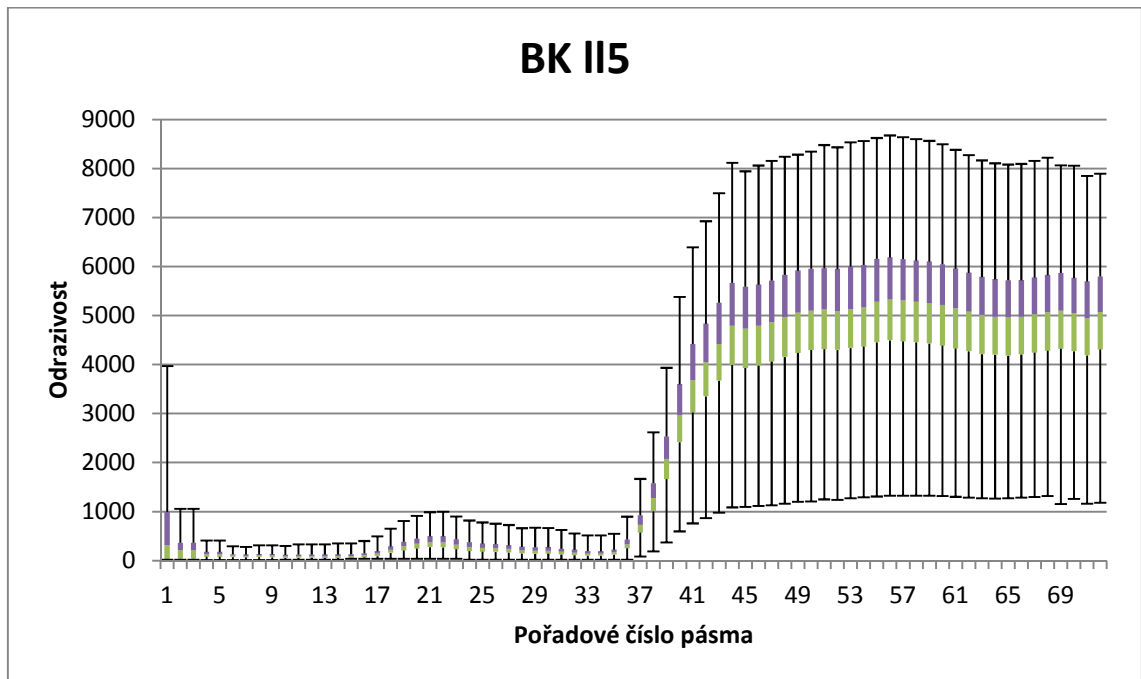


Obr. 19: Nástroj pro převedení hodnot odrazivostí ohraničených polygony do Excelovské tabulky pro zpracování do grafů.

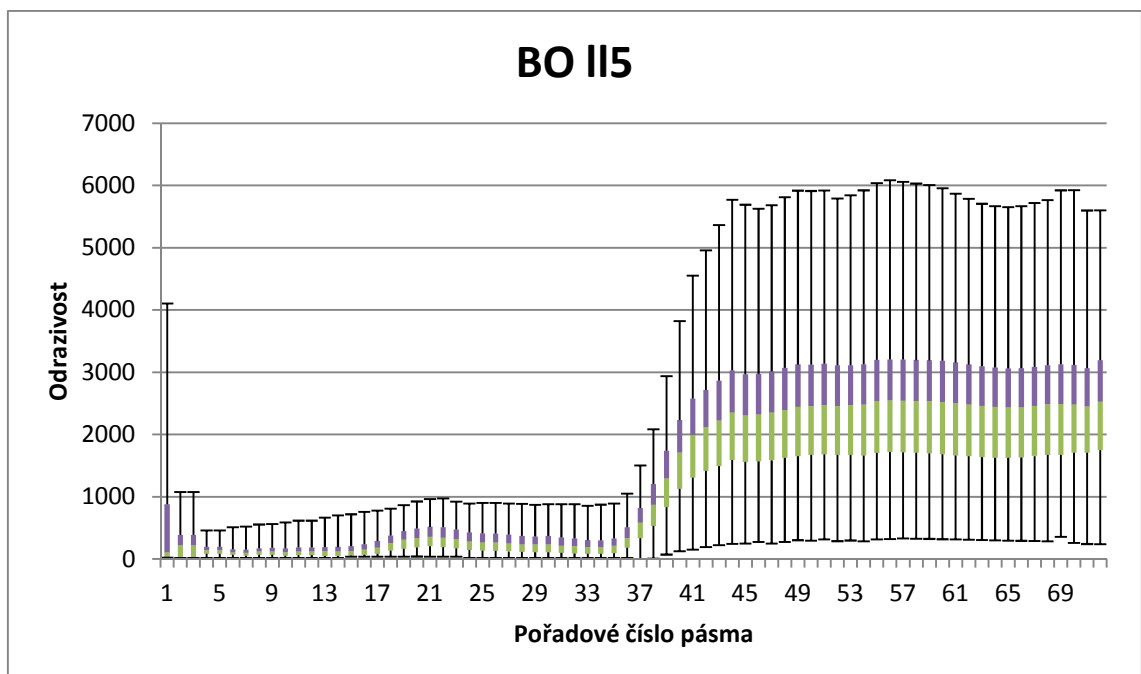
Každý krabicový graf pro každé pásmo v následujících grafech je složen z charakteristik: minimální hodnota výběru, dolní kvartil Q_1 , medián, horní kvartil Q_3 , maximální hodnota výběru. Horní svorka znázorňuje maximální hodnotu, přechod z černé linie do fialové barvy je horní kvartil Q_3 , přechod mezi fialovou a zelenou barvou je medián, přechod mezi zelenou barvou a černou linií je dolní kvartil Q_1 a dolní svorka znázorňuje minimální hodnotu. Krabicové grafy jsou vytvořeny nástrojem Real Statistics, který je doplňkem do programu Microsoft Excel.

Množiny hodnot, ze kterých jsou sestavené následující grafy jsou získané spojením východní a jihovýchodní expozice koruny. Podrobnější popis vytvoření ohraničujících

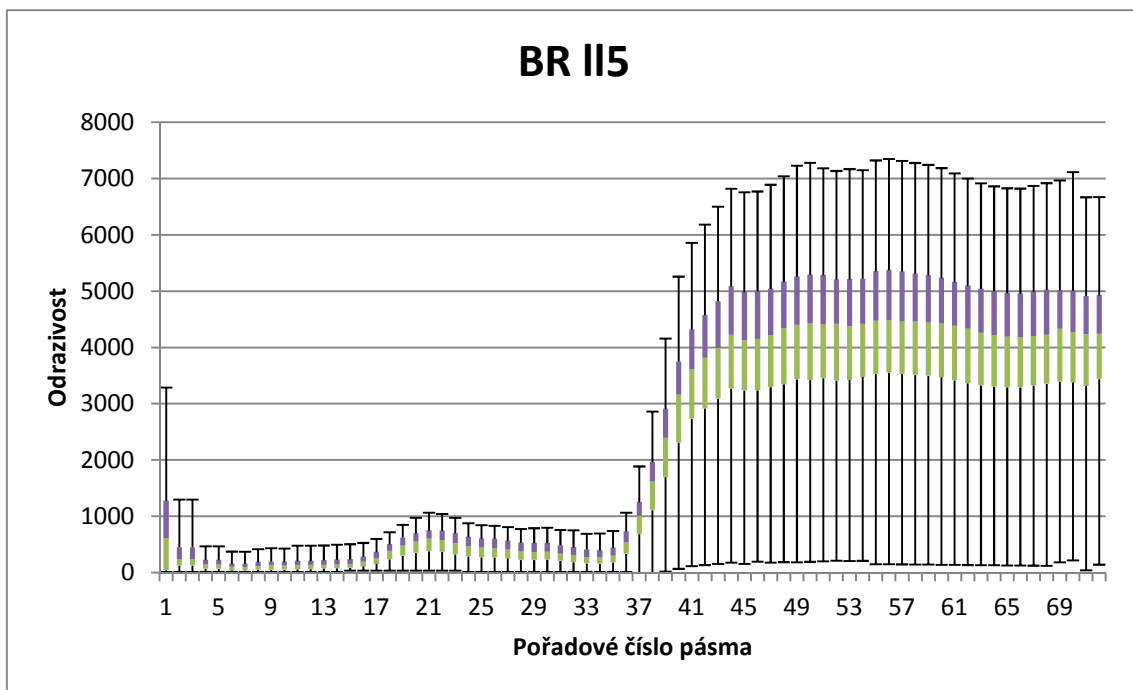
polygonů se nachází v předcházející kapitole. Svislá os je ve všech případech uvedena v jednotkách odrazivosti $\frac{1000 \cdot \mu W}{cm^2 \cdot str.nm}$.



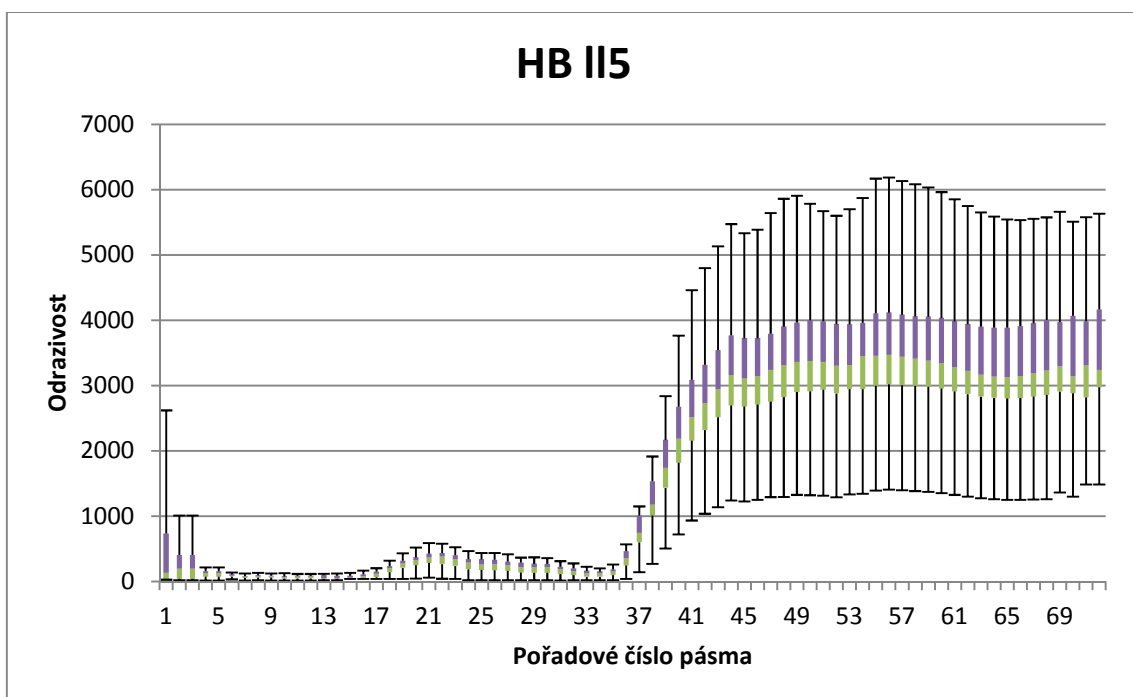
Graf 2: Průběh odrazivostí pro buk v páté letové linii.



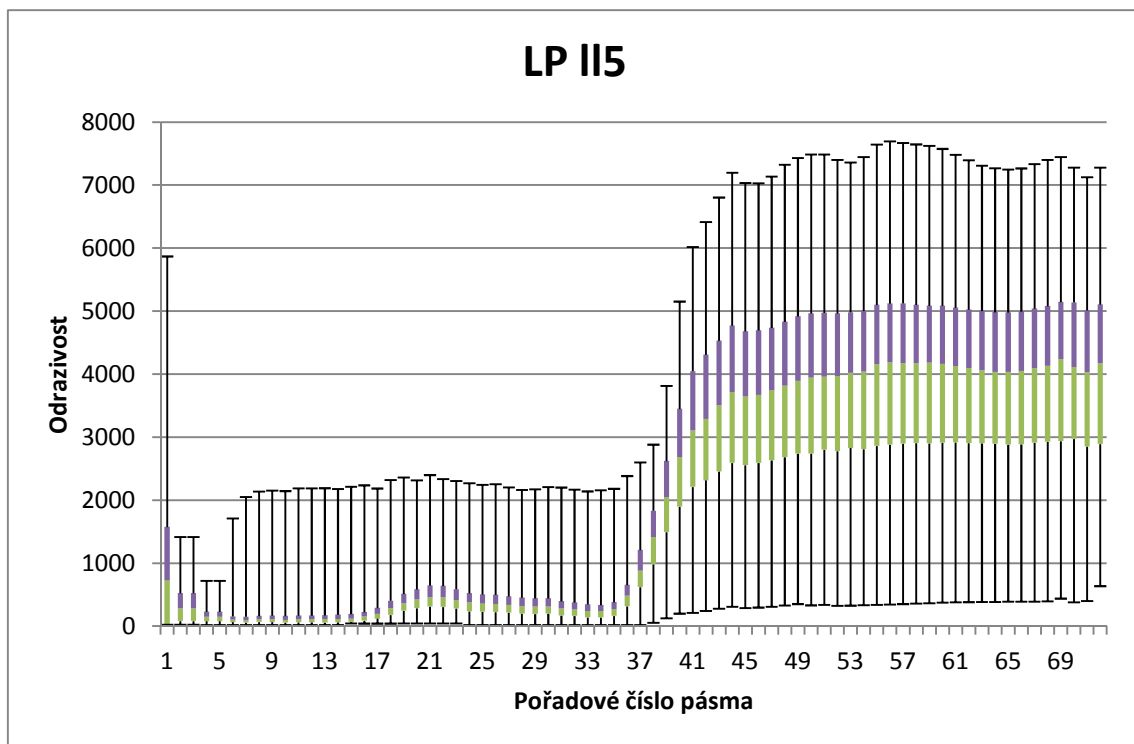
Graf 3: Odrazivost borovice se pohybuje v nižších hodnotách v porovnání s listnatými dřevinami a v o něco vyšších hodnotách v porovnání se smrkem.



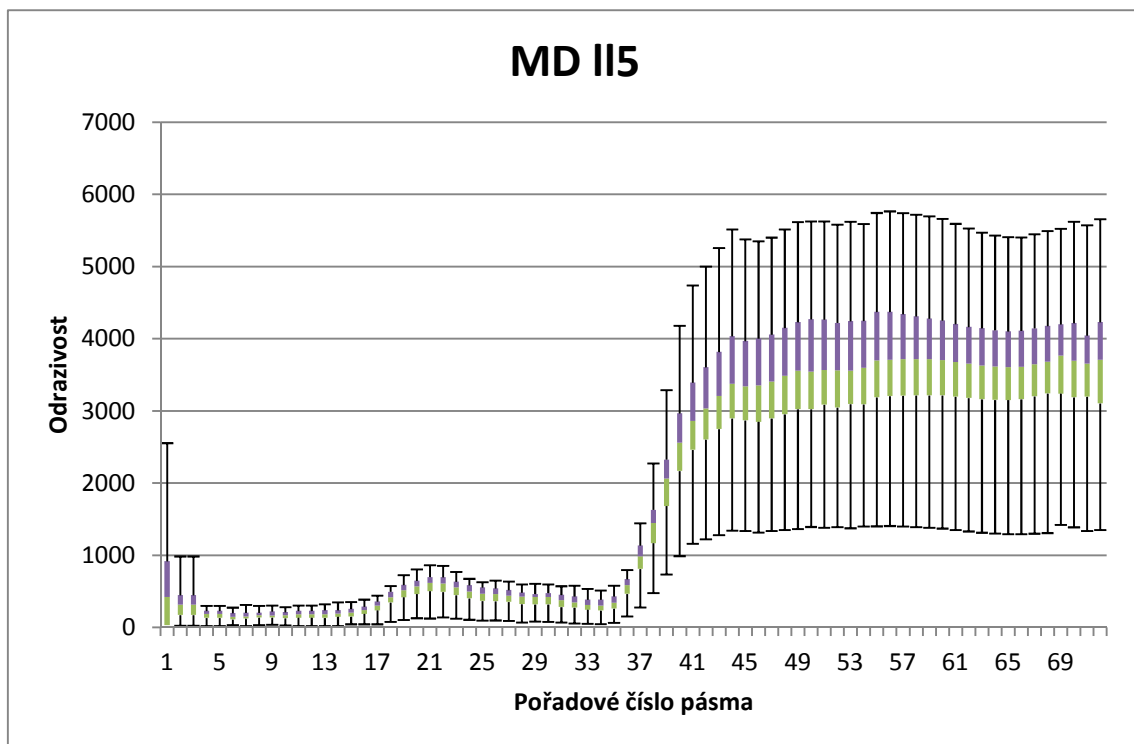
Graf 4: Průběh odrazivosti břízy ze získaných trénovacích množin.



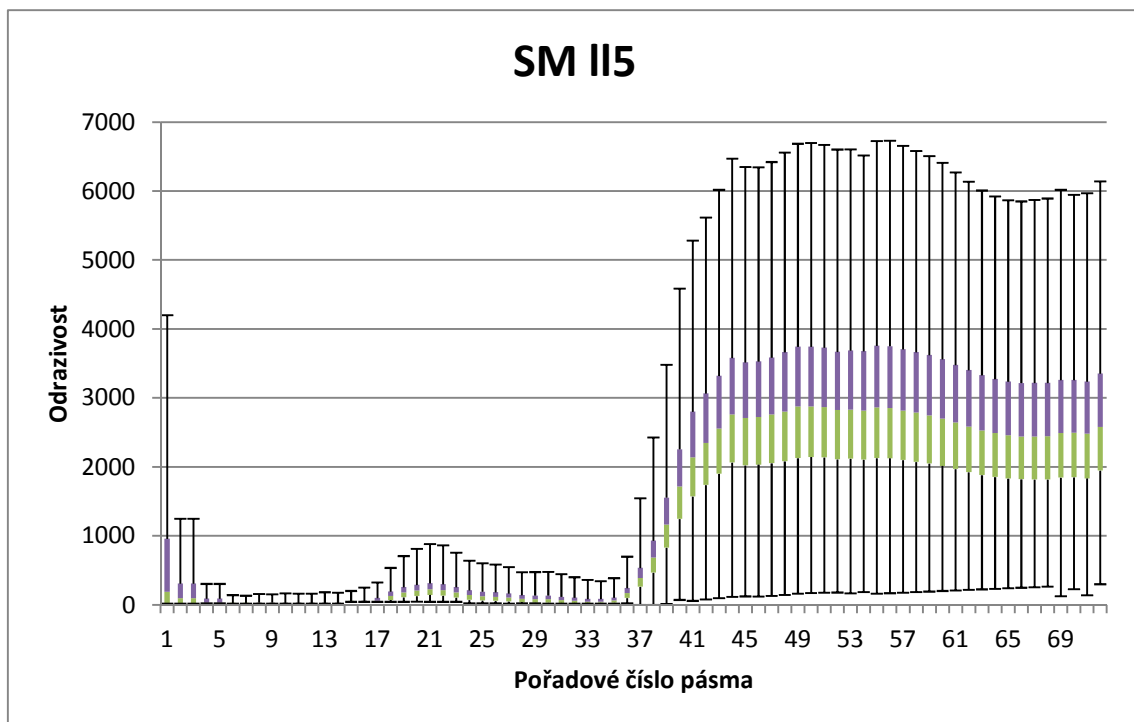
Graf 5: Průběh odrazivosti habru.



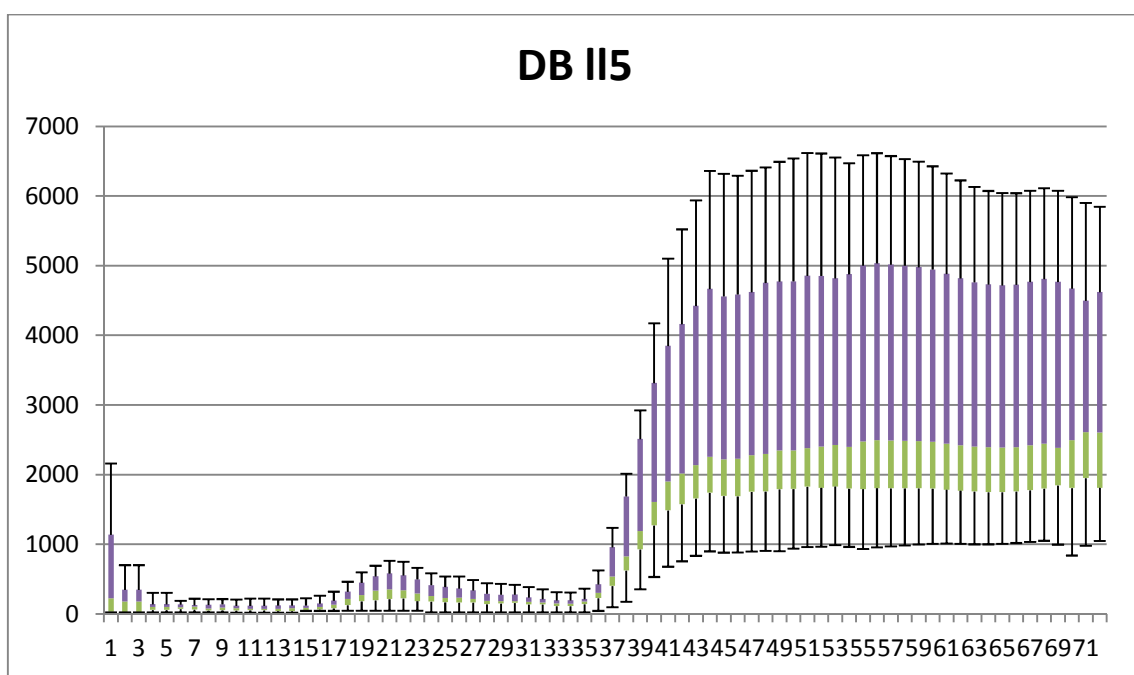
Graf 6: Průběh odrazivosti lípy.



Graf 7: Odrazivost modřínu.



Graf 8: Pro smrk je charakteristická nižší odrazivost v celém spektru v porovnání s ostatními dřevinami. Z toho důvodu je také stín často zařazovaný do třídy smrku.



Graf 9: Nesouměrnost rozdělení hodnot odrazivostí souvisí s dvěma faktory trénovacích množin pro dub. Jednou je malý počet pixelů a druhý je mírný polohový nesoulad hyperspektrálních rastrů s rastrem povrchu.

5.4. Klasifikace a chybové matice

V software ArcGIS byl pro klasifikaci použitý nástroj Maximum Likelihood Classification. Jako vstupní vrstvy byly použity vrstvy vzniklé kompozicí různých vlnových délek nástrojem Composite. Vstupní vrstvy se vybírali na základě vizuálního posouzení grafů z předchozí kapitoly. Pro odlišení různých druhů dřevin byly na základě jejich spektrálního chování vybrány nejvhodnější pásma s následujícími vlnovými délkami: 1013nm, 681 nm a 463 nm.

Příloha 3 (Mapa č.1) a Příloha 12 (Mapa č.2) ukazuje výřez rastru, který znázorňuje klasifikaci kompozice vrstev s vlnovými délkami 1013 nm (NIR), 681 nm (ČP) a 463 nm (MP). Je klasifikovaný nástrojem Maximum likelihood classification podle trénovacích množin získaných z východních a jihovýchodních expozic.

Tab. 10: Chybová matice sestavená podle původních trénovacích množin

		Referenční údaje [pixely]										
	Kategorie	BK	BO	BR	DB	HB	LP	MD	SM	Spolu	EC [%]	UA [%]
Klasifikované údaje [pixely]	BK	686	6	3	3	4	33		52	787	12,8	87,2
	BO	5	318	3	0	2	29	8	10	375	15,2	84,8
	BR	12	32	129	0	0	47	2	130	352	63,4	36,6
	DB	20	77	5	23	0	26	3	29	183	87,4	12,6
	HB	89	34	3	0	21	26	1	96	270	92,2	7,8
	LP	9	37	16	0	0	143	1	8	214	33,2	66,8
	MD	6	103	19	2	0	15	48	15	208	76,9	23,1
	SM	27	98	41	1	8	23	1	3415	3614	5,5	94,5
	Spolu	854	705	219	29	35	342	64	3755			
	EO [%]	19,7	54,9	41,1	20,7	40,0	58,2	25,0	9,1			
	PA [%]	80,3	45,1	58,9	79,3	60,0	41,8	75,0	90,9			

Tab. 11: Chybová matice, kde jako referenční plocha druhu dřeviny je plocha uvažovaného druhu s výskytem více jak 80% zjištěná z hospodářských souborů. Pro tento typ referenčních ploch je k dispozici v páté letové linii pouze druh BK, DB a SM. Chybová matice je sestavena pouze z klasifikovaných V a JV expozičních korun.

		Referenční údaje [pixely]					
	Kategorie	BK	DB	SM	Spolu	EC [%]	UA [%]
Klasifikované údaje [pixely]	BK	5550	325	1281	7156	22,4427	77,5573
	BO	85	4	338			
	BR	989	18	637			
	DB	787	73	615	1475	95,0508	4,94915
	HB	1104	22	767			
	LP	801	34	377			
	MD	140	25	223			
	SM	3206	31	7899	11136	29,0679	70,9321
	Spolu	12662	532	12137			
	EO [%]	56,1681	86,2782	34,918			
	PA [%]	43,8319	13,7218	65,082			

Vysvětlení zkratk:

EO – anglicky error of omission, v českém jazyce OO - omyl z opomenutí. Výpočet je ze vztahu: (suma sloupce – počet správně klasifikovaných pixelů) / počet správně klasifikovaných pixelů. Udává procento pixelů, které byly nesprávně zařazeny v rámci referenční třídy.

EC – anglicky error of comission, v českém jazyce OP – omyl z nesprávného přiřazení. Výpočet je: (suma řádku – součet nesprávně klasifikovaných pixelů) / suma sloupce. Udává procento nesprávně klasifikovaných pixelů v rámci klasifikovaných třídy.

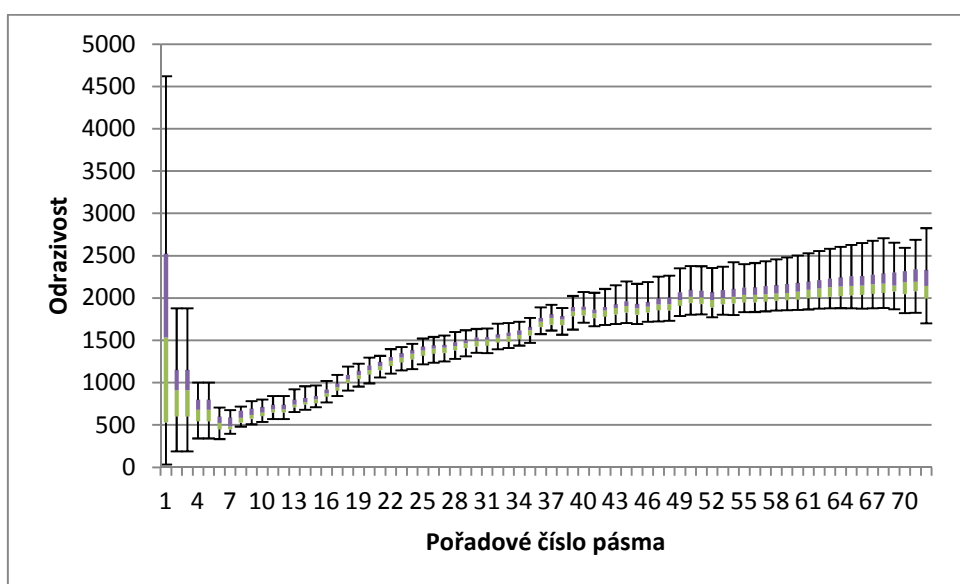
PA – anglicky producer´s accuracy, v českém jazyce PZ – přesnost zpracovatele. Výpočet: počet správně klasifikovaných pixelů / suma sloupce. Znárodnuje procento správně klasifikovaných pixelů z referenční třídy.

UA – anglicky user´s accuracy, v českém jazyce PU - přesnost uživatele. Výpočetem je: počet správně klasifikovaných pixelů / suma řádku. Znárodnuje procento správně klasifikovaných pixelů z klasifikované třídy.

5.5. Další výsledky - spektrální chování různých povrchů

5.5.1. Orná půda

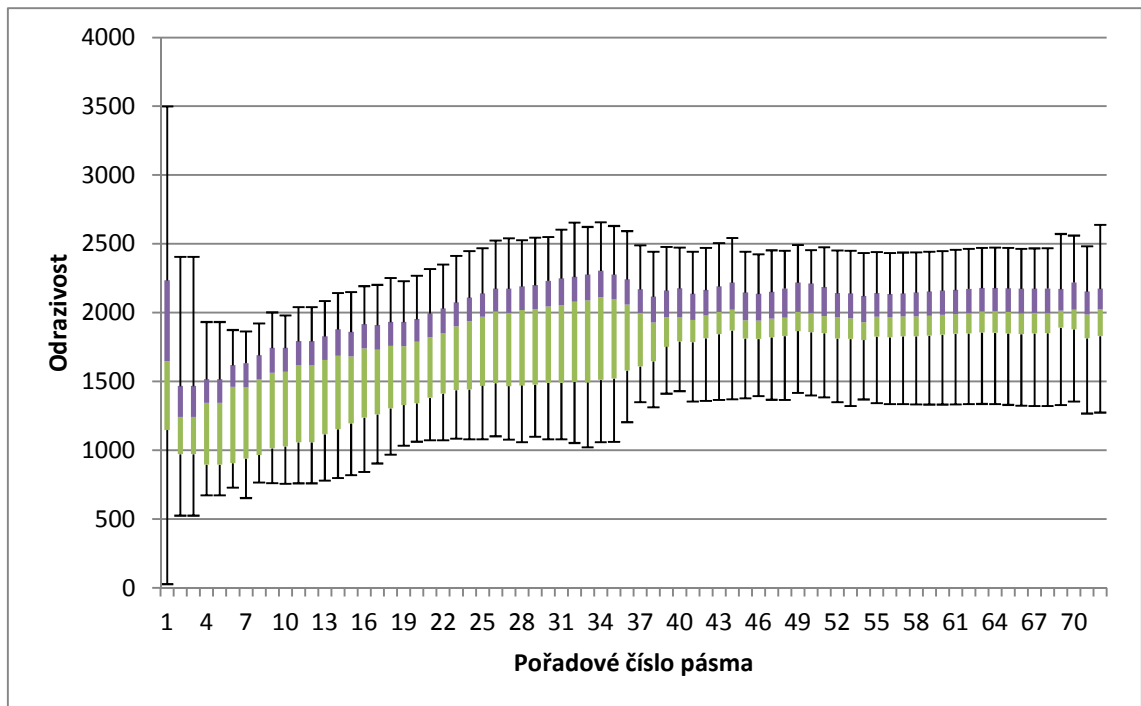
Pro ornou půdu je typická rovnoměrně stoupající odrazivost se zvyšující se vlnovou délkou. Od vegetace je jí možno lehko odlišit například podle odrazivosti některé vlnové délky červeného pásma nebo malým rozdílem odrazivostí v úseku spektra red edge. V červeném pásmu má orná půda výrazně vyšší odrazivost.



Graf 9: Spektrální chování orné půdy.

5.5.2. Vozovky silnic

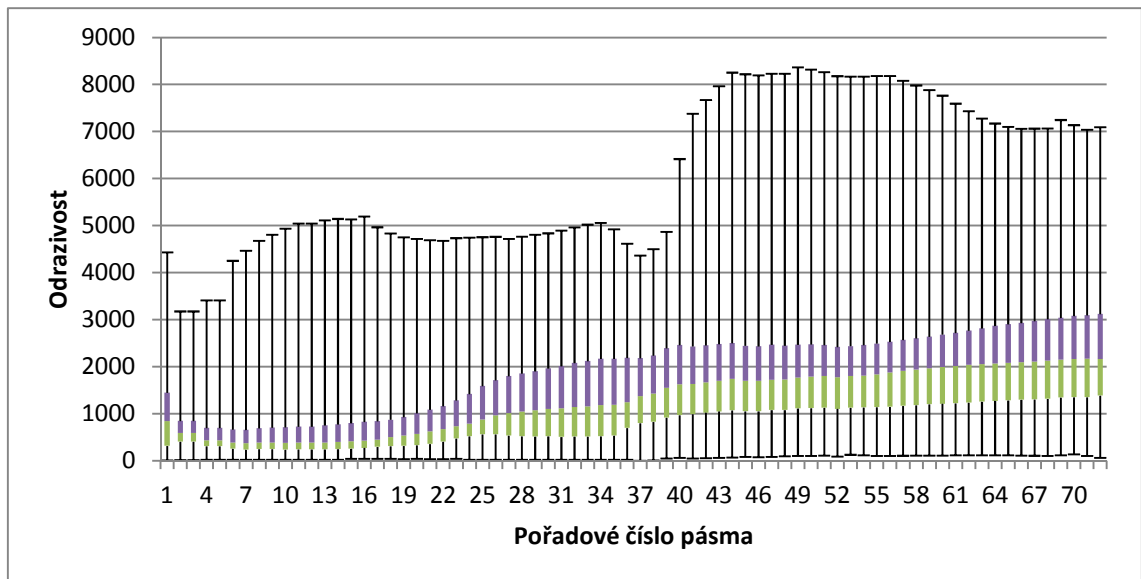
Odrazivost vozovky má rovnoměrný přibližně konstantní průběh v blízké infračervené části spektra. Ve viditelné části je více variabilní, většinou mírně stoupající. Odrazivost závisí na použitém materiálu pro stavbu. Od vegetace se lehko odliší například podle červeného pásma. Vegetace má zde výrazně nižší odrazivost.



Graf 10: Různé průběhy spektrální odrazivosti pro pixely vozovky. V závislosti od charakteru vozovky se mění i průběh odrazivosti.

5.5.3. Střechy - zástavba

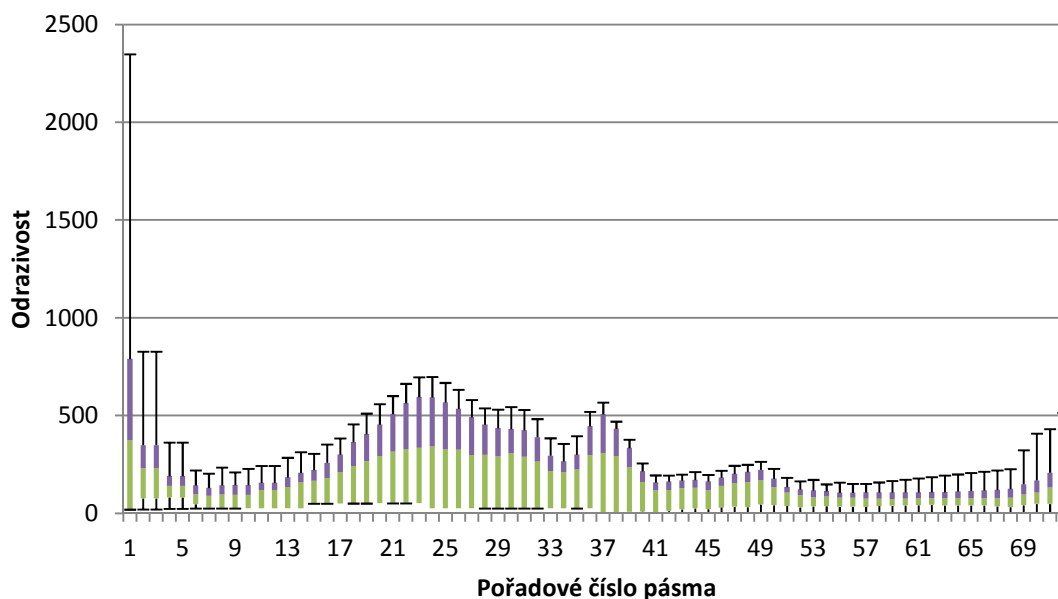
Zástavba má většinou mírně stoupající nebo přibližně konstantní hodnoty odrazivosti napříč viditelným a blízkým infračerveným spektrem. Nízké hodnoty odrazivosti v průběhu spektrální křivky některých pixelů jsou způsobeny zastíněním části střechy. Od vegetace je možno střechy odlišit například poměrem blízkého infračerveného záření s červeným zářením v rámci úseku „red edge“. V tomto případě to může být pásmo 44 a 34. Tento poměr se používá i u některých vegetačních indexů.



Graf 11: V tomto případě je různorodost průběhů dána hlavně zastíněním částí střech, kde je celý průběh u části pixelů posunutý na ypsilonové ose směrem k nižším hodnotám. Snímkování probíhalo kolem desáté hodiny dopoledne.

5.5.4. Vodní plocha

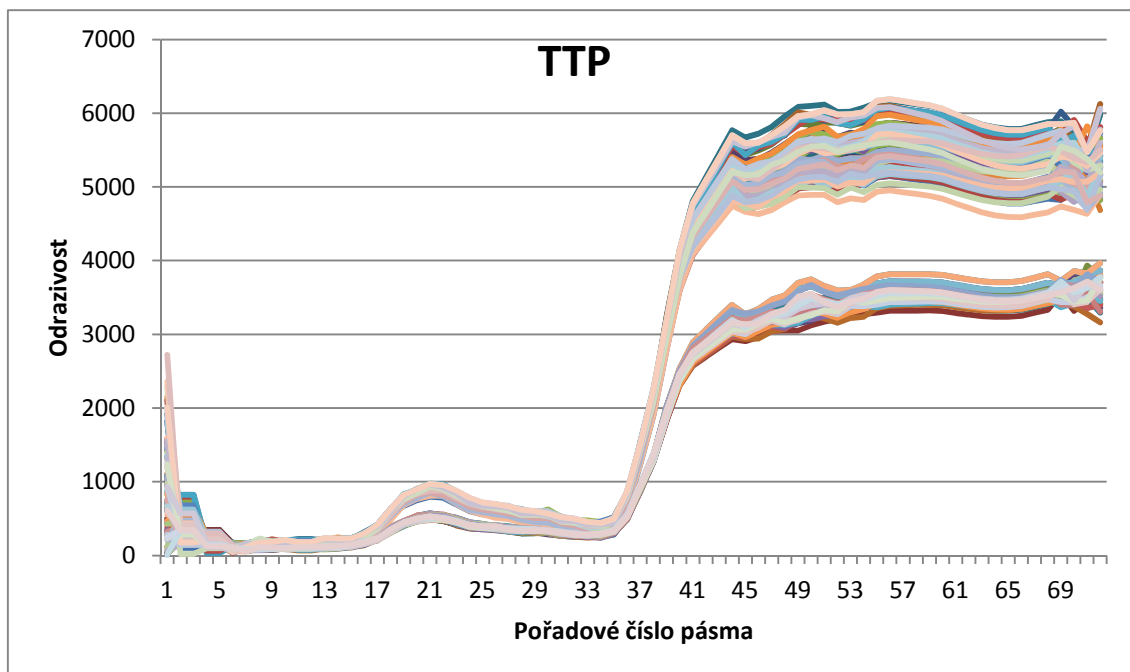
Vodní plochy jsou typické velmi nízkou odrazivostí v úseku blízkého infračerveného záření a tím i lehko odlišitelné od vegetace. Náročnější může být odlišení vodní plochy od silně zastíněné vegetace. V takovémto případě je ale možné použít jako parametr výšku objektu, která bude v případě vodní plochy nulová a v případě dřevinné vegetace se bude pohybovat v kladných hodnotách.



Graf 12: Pro spektrální křivku vodních ploch je typická velmi nízká odrazivost v blízkém infračerveném spektru a vyšší odrazivost v zelené části a v červené části spektra.

5.5.5. TTP

Mezi průběhem odrazivosti trvalého travního porostu a dřevinnou vegetací jsou někdy rozdíly na první pohled malé. Platí to zejména pro porovnání s některými listnatými stromy v určitých situacích (závisí od zdroje záření a zřejmě i od dalších fyziologických faktorů). Jehličnaté stromy mají často nižší odrazivost. TTP má v zelené části spektra i v infračervené části často vyšší odrazivost v porovnání s dřevinami, i listnatými. Na grafu jsou výrazně odděleny dvě skupiny pixelů, kde jedna má v průběhu celého spektra nižší hodnoty. V tomto případě je to způsobeno odlišnou letovou linií.



Graf 13: Hodnoty odrazivosti pro trvalý travní porost jsou v porovnání s ostatní vegetací často vyšší. Obecně má trvalý travní porost typický průběh křivky vegetace. V tomto grafu jsou použité průběhy odrazivosti jednotlivých pixelů, aby byl evidentní rozdíl mezi letovými liniemi.

5.5.6. Stíny

Pro stíny je typická výrazně nižší odrazivost v porovnání s ostatními povrchy. Jakýkoli zastíněný povrch má nižší odrazivost než stejný povrch ozářený. Stíny jsou problematické pro klasifikaci, protože jejich průběh odrazivosti pro různé druhy dřevin je podobný.

6. Uplatnění

Obecně závisí uplatnění výsledků v praxi také od přesnosti klasifikace. Vzhledem k tomu, že se v této práci nepodařilo dosáhnout lepších přesností, lze použít výsledky pouze orientačně. Při dosažení vyšších přesností lze použít výsledky při vymezení místního ÚSES pro kritérium aktuálního stavu krajiny. Proces vzniku plánu místního ÚSES lze rozdělit na třicet kroků – nejmenších možných pracovních operací (Maděra, Zímová, 2005). Z těchto kroků lze využít klasifikaci pro 2. krok – terénní namátková kontrola STG vymezeného z lesnických typologických map, pro 6. krok – mapování aktuálního stavu krajiny. Pro 2. krok lze kontrolu provést porovnáním klasifikovaného rastru s dřevinnou skladbou STG získanou z mapových podkladů. Pro 6. krok je klasifikovaný rastr možné využít při posouzení jestli dřevinná vegetace patří mezi přirozenou, přírodě blízkou, polokulturní, kulturní nebo degradovanou podle Metodiky mapování krajiny, autorkou metodiky je H. Vondrušková z roku 1994. Pravděpodobně by nebylo možné využití za každých okolností a v některých situacích by byl potřebný terénní průzkum. Část nákladů za terénní průzkum by ale mohla být ušetřena. Klasifikace druhů dřevin nebo rostlin se využívá v praxi například při detekci invazních druhů. Perspektivně v budoucnosti s dalším vývojem technologií by bylo zajímavé využití pro mapování bylinné vegetace ve fytoecologii.

7. Diskuse

Spektrální odrazivost druhů dřevin je ovlivňována mnoha faktory. Výrazný vliv v závislosti také od vybraného typu metody pro zpracování má expozice koruny, tvar koruny, fyziologický stav stromu, hustota koruny, vliv okolních korun, charakter porostu, spektrální vlastnosti povrchu pod korunou nebo podíl jaký má povrch pod korunou na odrazivost pixelu.

Pro zjištění spektrálního chování jednotlivých druhů je potřeba mít více vzorových trénovacích množin pro každý druh. Dá se předpokládat zvýšení přesnosti. Ovšem příliš velké množství různorodých ploch jednoho druhu také není žádoucí. To z důvodu, že pokud se vytvoří statistické charakteristiky, které zahrnují například mladý i starý porost stejného druhu, odvrácenou i natočenou stranu korun ke zdroji záření, zastíněné i nezastíněné části korun/porostů požadovaného druhu, tak variabilita hodnot odrazivosti bude příliš velká a budou se mezi sebou jednotlivě klasifikované třídy výrazně překrývat. Tím pádem se snižuje přesnost klasifikace. Pojem “vzorová trénovací množina pro druh“ je tedy zavádějící. Každý strom roste v určitých podmínkách. Pokud by se teoreticky podařilo zjistit přesný vliv všech podmínek na odrazivost koruny v jednom pixelu, tak by za vzorovou trénovací množinu za těchto přesných zjištěných podmínek byl možná pouze tento jeden pixel.

V této práci má na přesnost vliv také geometrická přesnost s jakou na sebe “sedí“ rastry hyperspektrálního snímkování s rastry lidarových dat. Z důvodu daných technických parametrů skeneru a získávání hyperspektrálních dat byla hyperspektrální data prostorově méně přesná. Problém vznikal hlavně při napasování polygonů jižních a jihovýchodních expozic korun vzniknutých z rastrů lidarových dat na správnou množinu pixelů hyperspektrálních rastrů. Jednalo se často o malé polygony několika pixelů, kde posun o 1-2 pixely směrem do stínu může být významným faktorem pro statistické vlastnosti spektrálních signatur.

V klasifikaci maximum likelihood uvedené ve výsledcích je vzhledem k ostatním dřevinám vysoká přesnost smrku. To je způsobeno zařazováním zastíněných částí ostatních dřevin a obecně pixelů s nižší odrazivostí do třídy smrku, protože smrk má z klasifikovaných dřevin nejnižší průměrnou odrazivost. Naopak do třídy buku, který má nejvyšší odrazivost byly zařazeny i pixely s nejvyššími odrazivostmi na okrajích lesů natočených na zdroj záření patřících i do jiných druhů.

Dalším faktorem je různý počet trénovacích pixelů pro jednotlivé druhy. Nejvyšší počet má smrk, druhý nejvyšší buk, nejnižší dub. V počtech jsou výrazné rozdíly.

Pro ověření přesnosti klasifikace byly využité chybové matice v Tab č.10 a Tab č.11. Ani jedna z chybových matic není zcela ideální. Tab č.10 je vytvořena z původních trénovacích množin a Tab č.11 obsahuje referenční plochy pouze pro SM, DB a BK, kde referenční plocha je plocha se zastoupením dřeviny nejméně 80%. Vzhledem k tomu, že DB má pro trénovací množiny malý počet pixelů, nelze výsledek pro DB považovat za relevantní.

Pro každou dřevinu byla zjištěna určitá specifika průběhu odrazivosti, která souvisí jednak s odrazivostí charakteristickou pro druh ale také se zvolenou metodikou.

V procesu vytváření segmentů můžou vznikat určité nepřesnosti. Jde o více těsně rostoucích kmenů složených z různých druhů nebo ze stejných druhů, které spolu tvoří tvarem zdánlivou jednu korunu. Může se také ojediněle stát, že nástroj Basin spojí 2 koruny do jednoho segmentu v případě, že vrcholky korun jsou blízko u sebe.

Z výsledků průběhu odrazivosti lze usoudit, že jehličnany mají obecně nižší odrazivost než-li listnáče ve viditelné i blízké infračervené části spektra. Výrazný rozdíl je vidět zejména v blízké infračervené části. V blízké infračervené části je průběh křivky odrazivosti tím více zvlněný, čím více světla dopadá na povrch. Naopak by se tedy dalo říct, že čím méně světla dopadá na povrch rostliny, tím je průběh spektrální křivky v blízkém infračerveném pásmu vyrovnanější. MD má vyšší odrazivost v červeném pásmu v porovnání s BO a SM. HB má nízkou odrazivost v modrém pásmu. BK má vysokou odrazivost v blízkém infračerveném a lze ho částečně podle tohoto znaku odlišit od DB, který má v blízkém infračerveném úseku o něco nižší hodnoty.

Při určování plochy nelesní vegetace jsou vyloučeny plochy se stavbami. Ve výsledné polygonové vrstvě nelesní vegetace jsou ovšem ojediněle zahrnuty i jednotlivé novostavby z důvodu staršího data vstupních polygonových vrstev ZABAGED.

Kolem staveb je vytvořený buffer o šířce pět metrů z důvodu mírně menších polygonů vrstvy zástavby v porovnání s realitou. Proto v některých případech může být vynechaná vegetace přiléhající k některým stavbám.

Nevýhodou zvolené metodiky je nezohlednění dalších parametrů jako jsou expozice svahů nebo zdravotní stav porostů.

8. Závěr

Přínosem této práce je přiblížení spektrálního chování druhů dřevin na vybraném území a vytvoření klasifikace s třídami dřevinných druhů. Pro zjištění spektrálního chování bylo nutné posbírat terénní data. Jedná se o porosty, skupiny dřevin a solitéry a jejich zařazení do druhu nebo rodu, nejlépe se 100 procentním zastoupením druhu na trénovací plochu. Pro zpracování dat byly použity programy ArcGIS 10.3.1. a Microsoft Excel s doplňkem Real Statistics. U všech vstupů a výstupů byla práce provedena s rozlišením rastrů 1m. Hlavním výstupem jsou grafy spektrální odrazivosti jednotlivých zkoumaných, resp. častých druhů dřevin na území ve všech 72 pásmech viditelného a blízkého infračerveného spektra. Dalším výstupem je segmentovaný a klasifikovaný rastr podle druhů dřevin. Pro názorné a rychlejší zpracování a získání hodnot ze vstupních rastrových vrstev byl vytvořen v podprogramu ModelBuilder nástroj pro vynesení hodnot odrazivosti ze všech spektrálních pásem do tabulky Microsoft Excel. Ze vstupních lidarových dat byla získána mapová vrstva canopy height model, z které bylo možné získat výšky objektů na území. S pomocí dalších vrstev ZABAGED se vylišila nelesní vegetace. S pomocí metody segmentace inverzních povodí se získala po úpravách vektorová vrstva s ohraničením korun stromů. Každému segmentu se poté přiřadila nejčastější hodnota klasifikovaných pixelů východních a jihovýchodních expozičních korun stromů. Pro klasifikaci byla použita kompozice tří pásem s vlnovými délkami 463 nm, 681 nm a 1013 nm a metoda maximum likelihood classification dostupná v software ArcGIS 10.3.

Z výsledků práce lze odvozovat do určité míry spektrální chování dřevin. Jehličnany mají obecně nižší odrazivost než listnáče v celém úseku viditelného a blízkého infračerveného spektra. Nejvyšší odrazivosti má obecně podle výsledků buk a nejnižší smrk.

9. Summary

Benefits of this thesis are graphs, which describe spectral characterisation through 72 bands of several species of trees and then classification by maximum likelihood method. As an inputs, there are used laser scanning of surface, laser scanning of terrain, hyperspectral images of 72 bands and manual collecting data about tree species in the area.

For data processing are used in this work software ArcGIS 10.3.1. and Microsoft Excel with add-in called Real Statistics.

All rasters are used with recognition one meter. Range of hyperspectral images is between 368 nm and 1041 nm, that means visible radiation and near infrared radiation. Range of individual intervals is 9 or 10 nm.

For faster processing and mining data from hyperspectral rasters there was created new tool in ModelBuilder, which takes values of all bands inside polygon feature layer and exports it to Excel tab.

From the digital surface model and the digital terrain model was obtained layer with heights of objects called canopy height model. With another layers from ZABAGED was made layer with nonforest vegetation.

Watershed segmentation method was used to make segments, which bounds tree crowns. For every segment there was assigned value of majority of classified pixels inside the segment. The classified pixels were pixels of east and southeast exposition of tree crowns. The composition of three bands was used for classification: 463 nm, 681 nm and 1013 nm. The maximum likelihood classification method was used for classification available in ArcGIS 10.3.

From the results can be estimated spectral characteristics of several tree species. In general, coniferous species has lower reflectance than deciduous species in visible and near infrared part of spectrum. The highest reflectance was noticed for beech and the lowest reflectance was noticed for spruce.

10. Použitá literatura

90 let ŠLP ML Křtiny. ŠLP Křtiny [online]. Křtiny, 2008, 2015-11-11 [cit. 2015-11-18]. Dostupné z: <http://www.slpkrtiny.cz/slp-krtiny/90-let-slp-ml-krtiny/>

Alonzo M., Bookhagen B., Roberts D. A., 2014. Urban tree species mapping using hyperspectral and lidar data fusion. *Remote Sensing of Environment*, 148. 70 – 83.

Bednář A., Lecák I., 2014. Technická zpráva: Letecké laserové skenování.

Carter, J. a kol., 2012. Lidar 101: An Introduction to Lidar Technology, Data, and Applications. Charleston, USA: National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA.

Culek M., 2005. Biogeografické členění České republiky. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha. 589 s. ISBN 80-86064-82-4.

Dobrovolný P., 1998. Dálkový průzkum Země: digitální zpracování obrazu. Masarykova univerzita, Brno, 1.vyd. 208 s. ISBN 80-210-1812-7.

Dolanský T., 2004. Lidary a letecké laserové skenování. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně. 100 s. ISBN 80-7044-575-0.

Ghiyamat A. a kol., 2013. Hyperspectral discrimination of tree species with different classifications using single- and multiple- endmember. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23. 177 – 191.

Gidudu A., 2007. Image classification using SVMs: One-against-one vs One-against-all. 6.

Goetz A., 2009. Three decades of hyperspectral remote sensing of the Earth: A personal view. *Remote Sensing of Environment*, 113. 5 – 16.

Haboudane C. a kol., 2002. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision validation. *Remote Sensing of Environment*, 90. 337 – 352.

Hanuš, J., 2014. Protokol letecké hyperspektrální kampaně: Křtiny - 2014. Centrum pro výzkum globální změny AV ČR.

How Maximum Likelihood Classification works. *ESRI - GIS Mapping Software, Solutions, Services, Map Apps and Data* [online]. [cit. 2016-01-26]. Dostupné z: http://edndoc.esri.com/arcobjects/9.2/net/shared/geoprocessing/spatial_analyst_tools/how_maximum_likelihood_classification_works.htm

Infračervené záření – WikiSkripta. Wikiskripta [online]. [cit. 2015-03-08]. Dostupné z: http://www.wikiskripta.eu/index.php/Infra%C4%8Derven%C3%A9_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD

Kolář J., Halounová L., Pavelka K., 1997. Dálkový průzkum Země 10. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, Praha, 1.vyd. 164 s. ISBN 80-01-01567-x.

Maděra P., Zimová E., 2005. Metodické postupy projektování lokálního ÚSES. Ústav lesnické botaniky, dendrologie a typologie MZLU v Brně a Löw a spol., Brno. 277 s.

Shi D., Yang X., 2012. Support Vector Machines for Landscape Mapping from Remote Sensor Imagery. *AutoCarto 2012*, Ohio, USA: Columbus. s. 12.

Spectral Angle Mapper (Using ENVI). *Harris Geospatial Solutions* [online]. 2016 [cit. 2016-01-26]. Dostupné z: <https://www.exelisvis.com/docs/spectralanglemapper.html>

Steven M., Clark J., 1990 *Applications of remote sensing in agriculture*. Boston: Butterworths. 427 p., ISBN 04-080-4767-4.

Šmidrkal J., 1989. Zpracování informací dálkového průzkumu Země. České vysoké učení technické, Praha. 259 s.

The Heat Is On [online]. 575 East Cokato Street, Cokato, Minnesota 55321: Finnleo, 2016 [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: <http://www.finnleo.com/blog/2011/5/10/the-heat-is-on---an-explanation-of-how-far-infrared-heat-works---by-craig-lahti.aspx>

Vaiphasa Ch., Ongsomwang S., 2005. Tropical mangrove species discrimination using hyperspectral data: A laboratory study. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 371 – 379.

Vondrušková H., 1994. Metodika mapování krajiny. Český ústav ochrany přírody ve spolupráci s Ministerstvem životního prostředí. 64 s.

Výška Slunce během roku. Optické úkazy v atmosféře [online]. 2016 [cit. 2016-02-11]. Dostupné z: http://ukazy.astro.cz/gal/sun_elev.pdf

Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®) - polohopis. ČÚZK: Geoportál [online]. 2010 [cit. 2015-02-27]. Dostupné z: [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(jyorh4n5534aq3np2jrcpxr2\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=zabaged&metadataID=CZ-CUZK-ZABAGED-VP&mapid=8&head_tab=sekce-02-gp&menu=241](http://geoportal.cuzk.cz/(S(jyorh4n5534aq3np2jrcpxr2))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=zabaged&metadataID=CZ-CUZK-ZABAGED-VP&mapid=8&head_tab=sekce-02-gp&menu=241)

Zhou L., Yang X., 2008. Use of neural networks for land cover classification from remotely sensed imagery. Tallahassee, USA.

Přílohy

Příloha 1 – Parametry skeneru Leica ALS70-CM

No.	Parameters	Value ±	Unit
1	Scan Angle	+/-24	°
2	Effective measurement rate	-	kHz
3	PRF (Pulse Repetition Frequency)	301,8	kHz
4	Scan rate	41.1	Hz
5	Scanning mechanism	Oscillating mirror	
6	Beam divergence	0.15	Mrad
7	Footprint	0.20	m
8	Point density (average value)	7,8	point/m ²
9	Along-track point spacing (along the central axis of a strip in the zone of the width of 1/3 of the width of the examined strip - average value)	0.63	m
10	Across-track point spacing (along the central axis of a strip in the zone of the width of 1/3 of the width of the examined strip - average value)	0.63	m
11	Strip width	755	m
12	Across overlap	30	%

15	Minimum measurement range	192	M
16	Maximum measurement range	1008	m

Příloha 2 - Očíslování pásem, počáteční hodnota intervalu a rozsah pásma

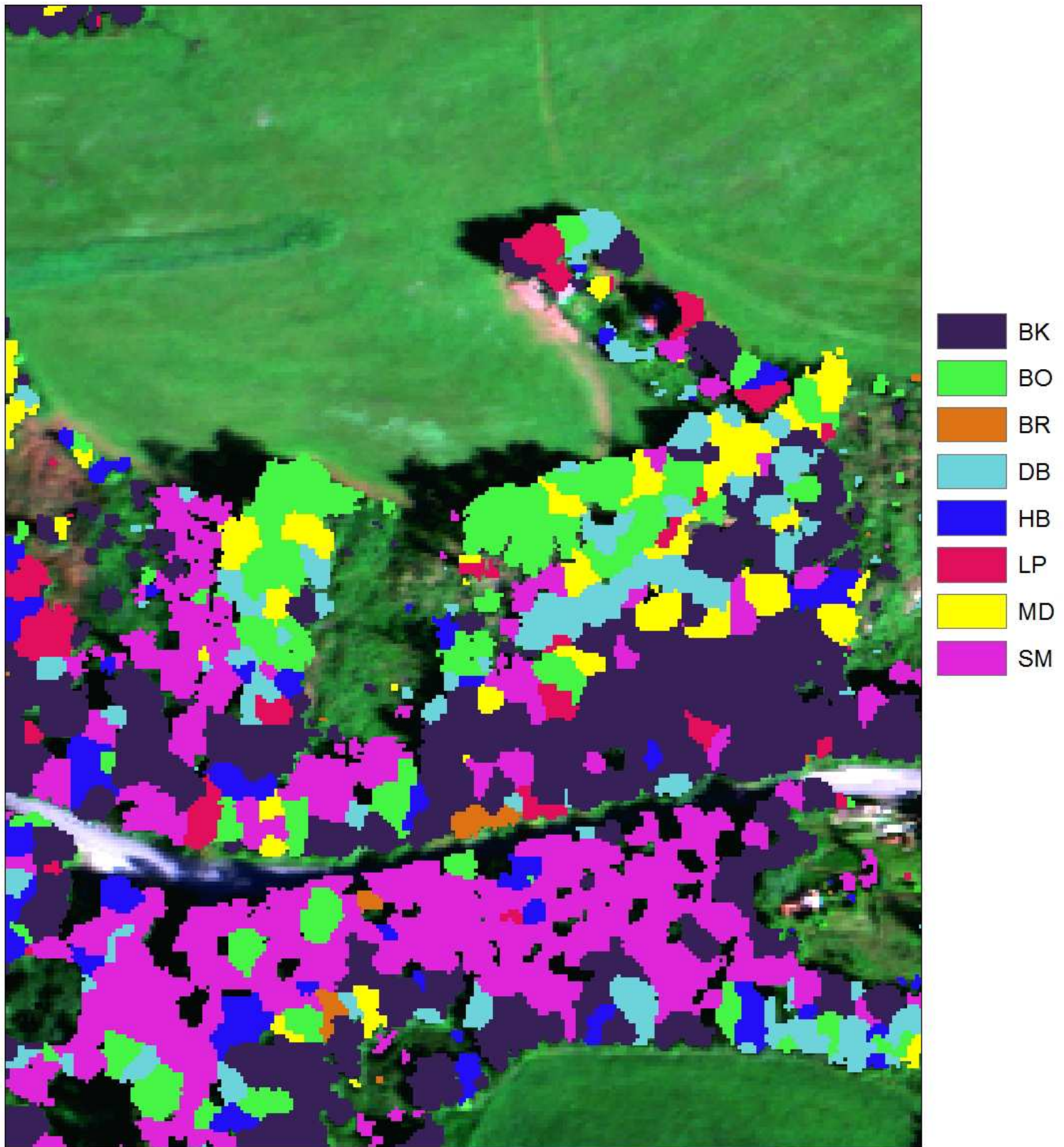
Číslo pásma	Začátek intervalu [nm]	Rozsah pásma [nm]
1	0.368	0.01
2	0.378	0.009
3	0.387	0.01
4	0.397	0.009
5	0.406	0.01
6	0.416	0.009
7	0.425	0.01
8	0.435	0.009
9	0.444	0.01
10	0.454	0.009
11	0.463	0.01
12	0.473	0.009
13	0.482	0.01
14	0.492	0.009
15	0.501	0.01
16	0.511	0.009
17	0.52	0.01
18	0.53	0.009
19	0.539	0.009
20	0.548	0.01
21	0.558	0.01
22	0.568	0.009
23	0.577	0.009
24	0.586	0.01

25	0.596	0.009
26	0.605	0.01
27	0.615	0.009
28	0.624	0.01
29	0.634	0.009
30	0.643	0.01
31	0.653	0.009
32	0.662	0.009
33	0.671	0.01
34	0.681	0.009
35	0.69	0.01
36	0.7	0.009
37	0.709	0.01
38	0.719	0.009
39	0.728	0.01
40	0.738	0.009
41	0.747	0.01
42	0.757	0.009
43	0.766	0.009
44	0.775	0.01
45	0.785	0.009
46	0.794	0.01
47	0.804	0.009
48	0.813	0.01
49	0.823	0.009
50	0.832	0.01
51	0.842	0.009
52	0.851	0.01
53	0.861	0.009
54	0.87	0.01
55	0.88	0.009
56	0.889	0.01
57	0.899	0.009

58	0.908	0.009
59	0.917	0.01
60	0.927	0.009
61	0.936	0.01
62	0.946	0.01
63	0.956	0.009
64	0.965	0.01
65	0.975	0.009
66	0.984	0.01
67	0.994	0.009
68	1.003	0.01
69	1.013	0.009
70	1.022	0.01
71	1.032	0.009
72	1.041	0.009

Příloha č.3 - Mapa č.1:

Ukázka klasifikace pomocí MLC podle vlnových délek 1013 nm, 681 nm, 463 nm. Podkladní vrstvou je kompozice pásem odpovídající reálným barvám.



0 20 40 80 120 Meters



1:1 000

Příloha 4 – Hodnoty Grafu 2.

Pásmo	1	2	3	4	5	6	7	8
Min	20	17	17	16	16	16	16	15
Q1	30	41,75	41,75	78	78	73	64	75
Med	313	212	212	125	125	100	91	100,5
Q3	991,75	364,75	364,75	178	178	131	125	134
Max	3973	1061	1061	411	411	294	281	313

9	10	11	12	13	14	15	16
16	17	17	17	18	18	39	38
69	54	60	60	51	52	53	66
99	84	90,5	90,5	85	86	88	106
133	119	123,75	123,75	125	125	128,75	150
312	301	335	335	333	353	351	402

17	18	19	20	21	22	23	24
39	40	41	41	40	40	39	19
94,25	158	209,25	247	277	269	235	194
140	222,5	290	343	375	369	327	279,5
190,75	291	385	451	499,75	498	436,75	378,75
495	654	812	915	990	1000	900	821

25	26	27	28	29	30	31	32
19	18	18	18	18	18	18	18
182	178	165	146	139,25	143	126	115
256	250,5	236	209	201	202	179	164
347	339	314,75	283	274	277	241,75	224,75
781	755	729	663	674	666	628	556

33	34	35	36	37	38	39	40
18	18	18	22	86	189	375	599
100	99	121,25	254,25	573,25	1003,5	1663,25	2419,75
142	140	166	333	728,5	1275	2075	2966
196	191,75	226	431,75	926,75	1579,75	2532	3602
519	516	550	899	1669	2620	3936	5383

41	42	43	44	45	46	47	48
761	871	979	1089	1097	1116	1131	1164
3021,5	3352,75	3672,5	3990,25	3931,25	3979,25	4061,5	4155
3684	4044	4417	4790,5	4734,5	4789,5	4861,5	4965,5
4421,75	4836	5264,25	5668	5589,75	5631	5712,5	5830,5
6396	6928	7500	8118	7946	8063	8157	8243

49	50	51	52	53	54	55	56
1201	1207	1251	1243	1276	1296	1310	1328
4239	4295,75	4317,25	4299,25	4340,25	4367,75	4458	4496,25
5058	5100,5	5124	5083	5128	5163	5283	5326,5

5921	5956,5	5969,75	5952,25	6002	6032,75	6159,25	6186,5
8286	8349	8482	8436	8535	8561	8626	8677

57	58	59	60	61	62	63	64
1328	1327	1327	1320	1303	1288	1273	1270
4473,75	4457	4431	4388	4331	4275	4216	4202,25
5308,5	5280,5	5257,5	5217	5144	5079,5	5012	4973,5
6151,5	6123	6101,25	6047,75	5957,5	5872,75	5789	5742,25
8640	8603	8566	8500	8383	8274	8168	8110

65	66	67	68	69	70	71	72
1273	1286	1302	1320	1159	1261	1162	1181
4183,5	4208	4245,25	4282,25	4324	4273	4188	4310,25
4961	4976,5	5027	5067,5	5099	5047	4943	5072
5719	5723	5775,75	5827,75	5872	5770,25	5696,75	5799
8083	8096	8160	8224	8066	8061	7852	7898

Příloha 5 – Hodnoty Grafu 3

Pásmo	1	2	3	4	5	6	7	8
Min	22	17	17	16	16	15	16	15
Q1	34	32	32	85	85	68	56	69
Med	104	218	218	140	140	106	101	122
Q3	879	388	388	198	198	156	152	174
Max	4103	1077	1077	461	461	510	521	555

9	10	11	12	13	14	15	16
16	17	17	17	18	18	39	39
71	53	62	62	50	50	52	68
120	111	122	122	123	121	128	149
181	173	185	185	193	195	208	237
563	587	617	617	666	702	720	758

17	18	19	20	21	22	23	24
39	40	40	41	40	40	39	19
87	138	168	189	206	191	173	145
184	255	309	336	355	344	315	280
290	379	449	490	519	510	475	431
780	811	865	925	963	973	923	891

25	26	27	28	29	30	31	32
19	18	18	18	18	18	18	18
135	132	123	113	110	110	98	92
265	265	250	236	232	234	214	209

412	408	392	371	364	372	345	330
903	901	892	886	871	881	882	881

33	34	35	36	37	38	39	40
18	18	18	19	0	5	72	124
83	84	96	181	337	532	834	1130
194	188	214	334	581	869	1293	1709
307	302	329	510	819	1207	1741	2232
855	874	893	1053	1502	2086	2937	3823

41	42	43	44	45	46	47	48
152	191	225	243	250	276	251	275
1310	1415	1495	1590	1561	1570	1588	1627
1991	2116	2223	2353	2307	2322	2349	2390
2576	2715	2867	3028	2970	2972	3014	3073
4551	4959	5363	5771	5690	5626	5684	5812

49	50	51	52	53	54	55	56
303	294	316	288	298	284	316	323
1651	1671	1682	1672	1673	1664	1704	1719
2442	2452	2470	2452	2469	2478	2537	2549
3125	3122	3136	3112	3114	3126	3198	3207
5916	5911	5920	5792	5841	5922	6037	6083

57	58	59	60	61	62	63	64
331	328	324	319	315	310	305	301
1715	1710	1701	1683	1661	1650	1636	1627
2542	2536	2535	2523	2501	2482	2461	2444
3204	3197	3192	3185	3156	3125	3095	3075
6056	6030	6005	5956	5869	5786	5706	5667

65	66	67	68	69	70	71	72
297	293	289	285	358	261	242	240
1625	1632	1655	1674	1675	1707	1710	1750
2434	2434	2458	2487	2491	2479	2451	2528
3062	3064	3088	3113	3127	3118	3067	3194
5653	5669	5717	5765	5921	5923	5598	5601

Příloha 6 - Hodnoty Grafu 4

Pásmo	1	2	3	4	5	6	7	8
Min	20	18	18	17	17	16	16	16
Q1	48	125,5	125,5	71	71	39	40,5	58,5
Med	611	240	240	147	147	103	100	118
Q3	1282	453,5	453,5	228	228	161	160,5	193,5
Max	3291	1301	1301	474	474	380	378	421

9	10	11	12	13	14	15	16
17	17	17	17	19	19	40	40
54	53	65,5	65,5	76	79	85,5	112,5
136	125	137	137	139	145	157	193
198	194,5	214,5	214,5	225,5	233	241	286,5
438	434	485	485	487	500	510	533

17	18	19	20	21	22	23	24
40	41	42	42	41	41	40	19
158	239	303	354,5	382,5	369,5	328	294
254	387	482	552	606	578	526	471
370,5	506	624	702,5	750	748,5	699	638,5
605	724	854	977	1068	1048	981	882

25	26	27	28	29	30	31	32
19	19	19	19	19	19	18	19
274,5	267	254,5	231,5	227	232,5	211,5	191,5
443	435	411	377	367	372	335	314
611,5	603,5	571,5	537,5	529,5	531	488	457,5
850	839	816	782	795	802	764	757

33	34	35	36	37	38	39	40
19	19	19	20	0	0	21	72
169	162	185	337	688	1115	1698	2309,5
274	267	306	538	1007	1615	2396	3164
414	400,5	446	735,5	1257	1966	2912	3749,5
695	699	746	1071	1891	2867	4161	5261

41	42	43	44	45	46	47	48
122	141	161	182	160	201	183	192
2734,5	2918	3092	3268	3235	3243	3298	3351,5
3612	3815	3994	4226	4126	4151	4217	4337
4320,5	4574,5	4823,5	5086,5	4985	5001	5041	5168
5862	6184	6501	6821	6760	6772	6892	7042

49	50	51	52	53	54	55	56
190	197	205	216	210	215	157	154
3432	3421	3455	3409,5	3426	3477	3532	3552,5
4402	4428	4408	4415	4377	4418	4476	4481

5257	5291	5285	5208	5212	5221,5	5355,5	5378,5
7232	7283	7185	7136	7170	7151	7324	7350

57	58	59	60	61	62	63	64
152	150	148	145	143	141	138	136
3529,5	3514	3498	3471	3416,5	3364,5	3325,5	3305
4467	4455	4442	4422	4383	4333	4260	4215
5351	5311	5280	5237,5	5164	5098	5045	5000
7314	7279	7244	7188	7093	7004	6918	6864

65	66	67	68	69	70	71	72
133	131	129	127	190	223	48	146
3291,5	3294	3327	3355	3393,5	3380,5	3318	3442,5
4191	4181	4199	4223	4332	4271	4230	4239
4971	4955	4991	5026	5018	5014,5	4915	4929
6830	6824	6872	6921	6967	7116	6671	6673

Příloha 7 – Hodnoty Grafu 5

Pásmo	1	2	3	4	5	6	7	8
Min	29	19	19	17	17	34	17	22
Q1	33	40	40	75	75	78	56	61
Med	132	197	197	127	127	90	73	80
Q3	737	409	409	159	159	112	85	100
Max	2622	1010	1010	219	219	139	126	134

9	10	11	12	13	14	15	16
18	18	17	17	19	19	41	40
59	45	48	48	36	40	44	52
81	65	72	72	54	52	61	78
89	83	91	91	102	89	91	108
125	131	117	117	118	124	133	168

17	18	19	20	21	22	23	24
41	41	42	47	60	44	40	21
68	142	210	252	286	269	239	190
116	204	274	328	369	382	340	292
153	238	321	371	428	437	402	345
206	319	434	522	591	580	526	468

25	26	27	28	29	30	31	32
19	19	19	19	19	19	18	19
177	172	163	137	135	133	114	98
262	264	248	222	215	220	186	156
342	333	306	292	274	271	227	203
440	439	417	367	372	359	313	279

33	34	35	36	37	38	39	40
19	19	19	43	146	271	507	721
73	72	100	245	602	1010	1434	1819
125	122	150	352	743	1179	1741	2188
165	156	189	467	1012	1534	2170	2677
229	204	262	571	1151	1916	2841	3767

41	42	43	44	45	46	47	48
936	1039	1140	1243	1228	1252	1294	1295
2156	2320	2514	2695	2682	2712	2756	2824
2512	2729	2944	3162	3106	3147	3238	3309
3090	3318	3543	3771	3728	3728	3795	3904
4460	4798	5134	5473	5334	5388	5644	5861

49	50	51	52	53	54	55	56
1328	1323	1316	1290	1335	1346	1395	1408
2902	2911	2937	2880	2948	2946	2998	3021
3364	3378	3362	3302	3315	3451	3457	3468
3967	4000	3984	3944	3938	3962	4109	4120
5909	5784	5671	5601	5700	5874	6169	6185

57	58	59	60	61	62	63	64
1398	1386	1374	1356	1328	1301	1276	1261
3007	2994	2981	2957	2912	2871	2831	2811
3440	3411	3384	3343	3281	3223	3165	3136
4085	4062	4057	4036	3988	3944	3901	3886
6134	6085	6035	5963	5855	5751	5652	5588

65	66	67	68	69	70	71	72
1253	1253	1258	1263	1363	1302	1488	1487
2803	2810	2834	2859	2909	2884	2818	2976
3127	3145	3188	3230	3296	3140	3308	3238
3887	3912	3959	4005	3975	4069	3984	4168
5546	5533	5555	5577	5663	5509	5579	5632

Příloha 8 – Hodnoty Grafu 6

Pásmo	1	2	3	4	5	6	7	8
Min	26	24	24	21	21	21	20	21
Q1	33	81,25	81,25	80,25	80,25	65,25	59	68
Med	723	283,5	283,5	151	151	105,5	93,5	108
Q3	1575,75	525	525	228,75	228,75	156,75	151,75	165
Max	5871	1417	1417	722	722	1713	2054	2142

9	10	11	12	13	14	15	16
20	20	20	20	21	22	46	45
65,25	57	61	61	58,5	61,25	68	88,25
109,5	99	107	107	113	111,5	119	152
168,5	163	167,75	167,75	174,75	184	194,75	225,75
2157	2148	2190	2190	2193	2182	2216	2239

17	18	19	20	21	22	23	24
45	45	47	47	47	47	46	23
121	181	246,25	288	312,25	308,75	282	235,25
193	285	360,5	422	459,5	460,5	415,5	379
292,75	405,75	514,25	587	648,75	643,5	588,75	526
2188	2322	2362	2319	2402	2337	2306	2273

25	26	27	28	29	30	31	32
23	23	22	23	23	22	21	21
229,5	224	213,75	198	193,75	198,75	170,5	165,5
356	350,5	336	315,5	310,5	311,5	281	267
504	498	473	454,5	441,75	442,5	398,75	379,5
2245	2257	2207	2165	2176	2213	2204	2172

33	34	35	36	37	38	39	40
21	21	22	23	20	56	127	202
141	140,25	165,25	318,25	623,75	980,75	1493,5	1895,75
238,5	241,5	272,5	487	878,5	1413	2045	2685
348,75	337,25	383	656,25	1212,75	1833,25	2624,25	3450,25
2143	2160	2184	2386	2602	2885	3817	5155

41	42	43	44	45	46	47	48
215	247	279	312	291	299	312	333
2213,75	2315,75	2456,25	2592,5	2556,25	2593,25	2634,75	2685,5
3105,5	3286,5	3508	3715	3647	3671,5	3740,5	3816
4048	4309,25	4534,5	4771,5	4681	4694,75	4736	4833,25
6023	6417	6806	7199	7037	7033	7139	7328

49	50	51	52	53	54	55	56
354	334	341	328	329	336	340	347
2739	2738,25	2802,5	2780	2829	2813	2861,5	2880,25
3894	3942,5	3958,5	3971,5	4020	4041,5	4157	4190

4920,5	4963,75	4976	4966,75	4982,75	5007	5102,5	5122,75
7434	7491	7490	7403	7362	7449	7648	7699

57	58	59	60	61	62	63	64
354	361	368	376	383	385	387	389
2897,25	2907,25	2904,5	2914	2919	2909,5	2901,75	2895,75
4173,5	4171	4181,5	4162	4128,5	4097,5	4062	4034
5125	5103,25	5086	5085	5057,25	5028	5003,75	4986,75
7674	7650	7627	7578	7484	7398	7313	7270

65	66	67	68	69	70	71	72
391	393	394	396	441	383	401	639
2883,75	2889,5	2912,75	2928,75	2937	2972,75	2852,75	2893,75
4037	4052	4092	4131,5	4238,5	4109,5	4030,5	4171
4980	4996,25	5039,5	5081,25	5147,25	5140,5	5016,75	5109
7252	7268	7336	7404	7448	7280	7129	7280

Příloha 9 – Hodnoty Grafu 7

Pásmo	1	2	3	4	5	6	7	8
Min	33	26	26	23	23	33	22	37
Q1	33	173	173	134,5	134,5	112,5	123,5	139,5
Med	421,5	313,5	313,5	187	187	145,5	152,5	169,5
Q3	919,25	447	447	230,25	230,25	201	202,75	204,75
Max	2556	987	987	302	302	277	314	303

9	10	11	12	13	14	15	16
41	29	21	21	22	22	46	46
138	129,75	135,25	135,25	132,75	148,5	150	189
166	167,5	183	183	184	192	205	240,5
221,75	214,5	231,75	231,75	239,5	240,75	256,5	290,25
307	285	306	306	325	350	353	388

17	18	19	20	21	22	23	24
46	81	106	131	126	143	124	109
237,25	346,25	419,5	463,5	503,75	493,25	449,5	402,5
302,5	418	514	569	616	609,5	556,5	496
360,25	495	588,75	649	698,75	695	635,75	585,75
443	575	727	807	866	855	771	676

25	26	27	28	29	30	31	32
97	100	93	70	83	79	70	58
367,75	363	356,5	324,5	319,75	318,75	285,25	275
467,5	462,5	437,5	425	420,5	420,5	377	346,5
554,25	540,75	517,5	482	463,75	476,75	452	428,75
631	652	639	600	609	600	574	582

33	34	35	36	37	38	39	40
53	49	68	156	279	479	735	991
246,5	234,5	262	467	811	1168,5	1683,5	2169,5
312	302	341,5	588	983	1445	2064,5	2558,5
387	386,25	428,75	669	1136	1630	2326,25	2968,5
537	514	580	799	1447	2276	3291	4182

41	42	43	44	45	46	47	48
1163	1223	1282	1342	1340	1317	1340	1351
2460,75	2604,75	2749,75	2897	2870	2849,25	2895,75	2953,5
2863	3034,5	3205	3377	3339	3354,5	3405,5	3487
3393	3607	3819	4034,75	3968,5	4003,75	4059	4149,5
4742	5002	5259	5518	5378	5352	5403	5516

49	50	51	52	53	54	55	56
1365	1395	1382	1394	1377	1400	1404	1408
3025	3024,5	3087,75	3048,25	3096,75	3090,25	3188,75	3207
3558	3546	3568	3559,5	3557,5	3595,5	3697	3710
4231	4272	4267,5	4219,5	4245	4247	4372	4373
5618	5626	5628	5584	5624	5591	5745	5767

57	58	59	60	61	62	63	64
1400	1393	1385	1372	1352	1333	1315	1303
3210,25	3213,5	3217	3216,25	3197,25	3178,25	3160,5	3151,5
3715	3719	3715	3704	3677	3653	3630	3614
4341	4310	4280,75	4252,25	4203,5	4164,5	4145,25	4117,75
5744	5721	5699	5662	5594	5531	5472	5433

65	66	67	68	69	70	71	72
1296	1294	1302	1310	1425	1390	1339	1352
3151	3162,25	3201,75	3241,25	3240	3188,5	3196,25	3105,5
3605	3609	3646	3683	3767	3694,5	3655	3707,5
4102,75	4112,75	4144,5	4176,25	4198,75	4218,25	4046,5	4230,25
5409	5407	5450	5493	5526	5624	5574	5660

Příloha 10 – Hodnoty Grafu 8

Pásmo	1	2	3	4	5	6	7	8
Min	20	21	21	23	23	21	21	21
Q1	25	25	25	27	27	25	25	25
Med	190	97	97	31	31	31	30	30
Q3	958	307	307	92	92	31	30	33
Max	4204	1250	1250	306	306	144	134	161

9	10	11	12	13	14	15	16
21	21	21	21	22	22	46	46
25	25	25	25	25	25	49	50
30	29	30	30	29	30	58	58
35	30	31	31	30	31	58	59
156	170	166	166	186	178	204	253

17	18	19	20	21	22	23	24
46	46	46	47	46	46	46	23
57	70	108	129,5	144	132,5	104	74
59	129	180	207	226	213	177	141
102	192,5	257	290	315	301	256,5	211
327	538	710	815	883	864	758	644

25	26	27	28	29	30	31	32
23	23	22	23	23	22	22	22
62	58	48	35	32	32	28	28
125	116	103	86	83	83	67	60
190,5	182	164	141	135	135	116	105
604	588	551	477	478	480	448	404

33	34	35	36	37	38	39	40
22	22	22	23	0	0	14	74
28	29	29	102	262	466	827	1246,5
44	44	63	171	390	687	1164	1717
86	84	106	245	535	932	1555	2256
364	346	390	701	1549	2430	3485	4587

41	42	43	44	45	46	47	48
60	80	99	117	125	124	132	147
1573,5	1738	1901,5	2062	2020,5	2033,5	2055	2081
2138	2347	2557	2762	2709	2725	2760	2801
2801,5	3066,5	3321	3582	3515,5	3531,5	3586	3664
5286	5619	6021	6473	6352	6349	6424	6560

49	50	51	52	53	54	55	56
164	175	177	181	171	187	164	172
2128,5	2145	2137	2109	2118	2106,5	2127	2126
2874	2876	2866	2825	2829	2815	2860	2855

3743	3743,5	3730,5	3670,5	3688,5	3677	3759,5	3751
6689	6702	6674	6606	6607	6518	6727	6732

57	58	59	60	61	62	63	64
180	187	195	204	212	219	227	235
2100	2074	2048	2015	1970,5	1925,5	1884,5	1854
2818	2787	2747	2702	2642	2584	2527	2489
3705	3666	3623	3562	3480	3404	3330	3276,5
6658	6583	6510	6412	6273	6140	6011	5926

65	66	67	68	69	70	71	72
243	250	258	266	128	228	142	302
1830,5	1820,5	1818,5	1815,5	1844	1850,5	1834	1949
2460	2442	2442	2443	2491	2494	2482	2581
3238	3217	3219	3218	3260,5	3260,5	3239,5	3354
5871	5854	5875	5895	6021	5947	5972	6143

Příloha 11 – Hodnoty Grafu 9

Pásmo	1	2	3	4	5	6	7	8
Min	25	25	25	23	23	23	24	24
Q1	31	26	26	59	59	71	61	48
Med	222	177	177	100	100	97	102	78
Q3	1137	347	347	140	140	136	128	132
Max	2164	703	703	307	307	190	221	215

9	10	11	12	13	14	15	16
24	22	21	21	22	22	46	46
54	50	53	53	41	40	51	64
91	80	71	71	71	80	84	99
138	117	119	119	121	123	120	150
216	208	223	223	211	212	229	266

17	18	19	20	21	22	23	24
46	48	49	49	49	49	49	24
81	128	181	194	216	224	184	176
132	214	272	332	353	337	294	256
190	319	448	542	580	556	497	414
322	464	601	694	765	751	665	587

25	26	27	28	29	30	31	32
24	23	23	23	23	24	23	23
167	163	162	140	148	159	137	137
228	235	215	186	182	184	171	166
388	364	340	290	276	278	237	214
540	540	489	445	433	420	387	356

33	34	35	36	37	38	39	40
23	23	23	46	99	177	356	533
114	114	140	227	404	624	928	1271
148	146	177	301	535	828	1191	1606
195	195	215	425	959	1687	2514	3318
316	311	364	627	1240	2014	2926	4175

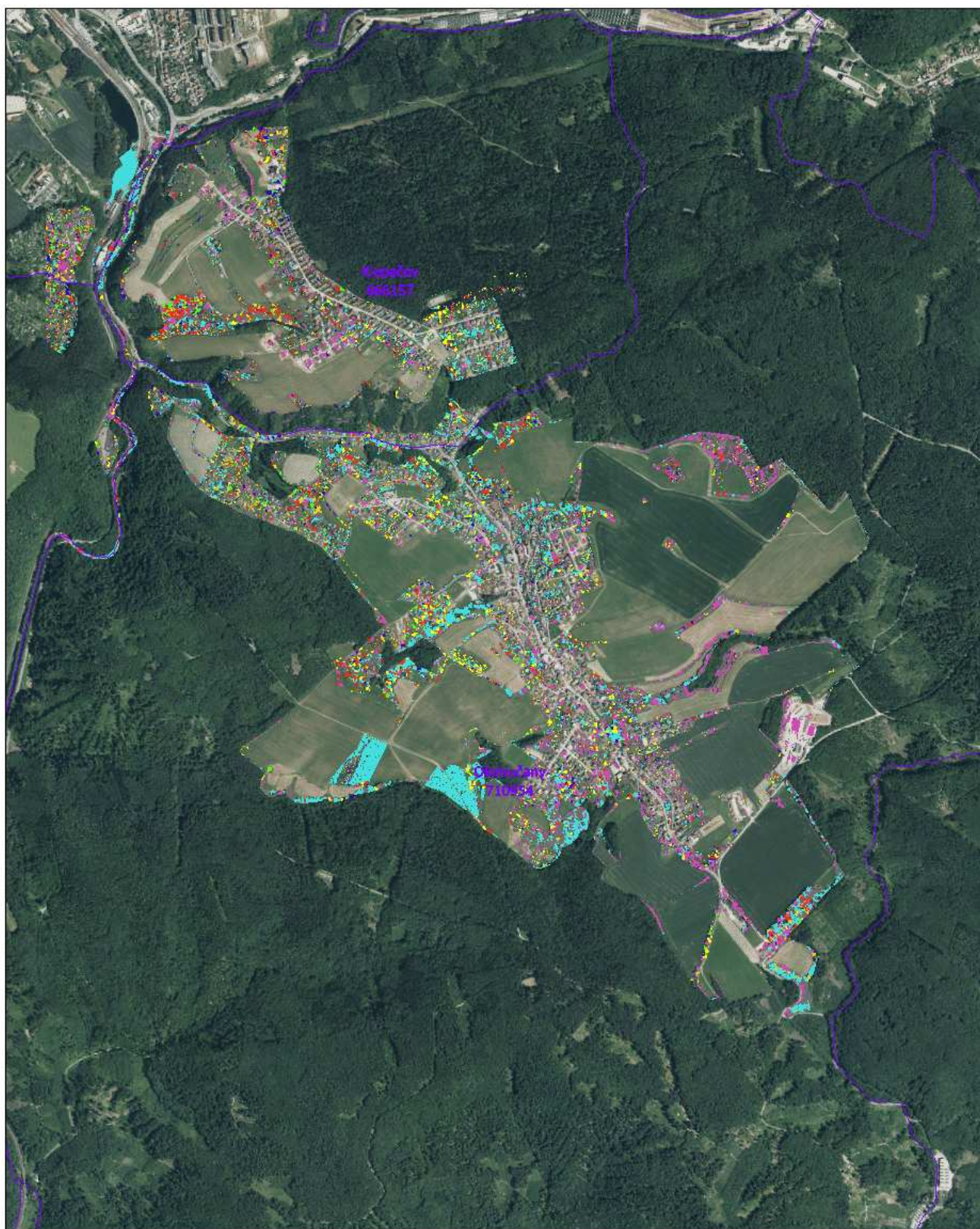
41	42	43	44	45	46	47	48
680	759	837	901	883	884	897	909
1489	1574	1658	1742	1694	1689	1755	1757
1900	2018	2136	2254	2220	2226	2278	2297
3848	4162	4423	4669	4560	4587	4621	4754
5103	5525	5942	6365	6321	6294	6366	6414

49	50	51	52	53	54	55	56
902	939	963	966	989	965	934	957
1791	1795	1826	1811	1830	1800	1793	1807
2349	2347	2380	2403	2426	2399	2475	2492
4774	4776	4858	4854	4818	4879	5004	5037
6494	6541	6622	6614	6558	6475	6589	6619

57	58	59	60	61	62	63	64
972	985	999	1009	1012	1010	1002	1002
1806	1806	1805	1800	1784	1770	1757	1751
2488	2484	2481	2470	2445	2422	2402	2391
5019	5001	4982	4946	4882	4821	4762	4731
6577	6535	6495	6430	6326	6228	6133	6076

65	66	67	68	69	70	71	72
1008	1020	1037	1053	998	841	981	1049
1750	1757	1778	1798	1845	1808	1951	1811
2387	2393	2420	2445	2386	2496	2611	2605
4718	4728	4769	4810	4770	4673	4499	4620
6045	6044	6078	6114	6078	5985	5904	5848

Příloha č.12 - Mapa č.2: Výsledek klasifikace na území obce Olomučany.



Zdrojem podkladové ortofotomapy a hranic katastrálního území je portál ČÚZK

0 250 500 1 000 1 500
metrů



1:15 000