

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

**Přírodovědecká fakulta**

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie (navazující magisterské studium)  
Studijní obor: Kartografie a geoinformatika



Bc. Peter PETR

**KLASIFIKACE DAT LETECKÉHO LASEROVÉHO  
SKENOVÁNÍ S VYUŽITÍM INFORMACE O INTENZITĚ A  
ŠÍŘCE ZAZNAMENANÉHO SIGNÁLU**

**CLASSIFICATION OF AIRBORNE LASER SCANNING DATA  
USING INFORMATION ABOUT INTENSITY AND WIDTH OF THE  
RECORDED SIGNAL**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Markéta Potůčková, Ph.D.

Praha 2012

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem všechny použité prameny řádně citoval.

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

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

V Praze dne 21. srpna 2012

.....

Peter Petr

### **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé práce Ing. Markétě Potůčkové, Ph.D. za věnovaný čas, cenné rady a připomínky. Dále RNDr. Jakobovi Lysákovi za konzultaci při zpracování dat leteckého laserového skenování. Na závěr bych chtěl poděkovat svým rodičům za podporu během celého studia.

# Klasifikace dat leteckého laserového skenování s využitím informace o amplitudě a šířce signálu

## Abstrakt

Filtrace bodového mračka za účelem odvození digitálního modelu reliéfu a digitálního modelu povrchu je jedním ze základních úkolů při zpracování dat leteckého laserového skenování (ALS). Nová generace skenerů (tzv. full-waveform LiDAR) umožňuje analýzu celého zaznamenaného signálu. Získaná hodnota amplitudy a šířky signálu odpovídající odrazům od jednotlivých objektů se liší v závislosti na geometrii těchto objektů.

Cílem diplomové práce je vytvořit metodiku klasifikace dat laserového skenování zastavěných území, která bude založena na informaci o počtu odrazů, jejich amplitudě, šířce zaznamenaného signálu a na prostorových příznacích. Zároveň bude zkoumáno, jaký vliv na uvedené dva parametry (amplituda, šířka) má charakteristika povrchu zástavby. Tedy vliv radiometrických vlastností (různé materiály střech) a geometrických vlastností (různé hodnoty sklonitosti střech) – jakému typu materiálu a sklonu jaká amplituda a šířka přísluší. Obecně řečeno, jestli tedy jsou vůbec amplituda a šířka takovými příznaky, které dokážou zkvalitnit filtraci bodového mračka zájmového území a pokud ano, tak jakým způsobem.

**Klíčová slova:** klasifikace, segmentace, LiDAR, eCognition, intenzita pulsu, šířka pulsu

# **Classification of airborne laser scanning data using information about intensity and width of the recorded signal**

## **Abstract**

One of the basic tasks in analysing airborne laser scanning (ALS) data is filtration of mass 3D point cloud with purpose to create digital terrain model and digital surface model. New scanner generation (so called Full-waveform LiDAR) allows analysing the whole recorded signal. The recorded value of amplitude and signal width accordant with reflectance of different objects differs according to geometry of the objects.

Objective of this thesis is to create a methodology for classification of ALS data in settled areas. This methodology will be based on number of reflections, amplitude of reflected signal, recorded signal width and on spatial attributes. At the same time it will be analysed how the parameters of amplitude and signal width are affected by characteristics of estate surface. It means which radiometrical characteristics (e.g. different roof materials) and geometrical characteristics (e.g. different roof inclination) belong to which amplitude and signal width. Basic question of this thesis is if amplitude and signal width are good attributes to improve the quality of filtration of mass 3D point cloud in chosen area and if so, how.

**Key words:** classification, segmentation, LiDAR, eCognition, intensity of pulse, width of pulse

# OBSAH

<b>1</b>	<b>Úvod a cíle práce.....</b>	<b>10</b>
1.1	Úvod.....	10
1.2	Cíl diplomové práce.....	11
<b>2</b>	<b>Současný stav problematiky a literární rešerše.....</b>	<b>12</b>
2.1	Konkretizace zájmové problematiky.....	12
2.2	Lidar.....	13
2.2.1	Letecké laserové skenování.....	14
2.2.2	Fyzikální princip.....	16
2.3	Full-waveform.....	17
2.3.1	Typologie full-waveform systémů.....	19
2.3.1.1	Hlubkové (bathymetrické) lidarové systémy.....	20
2.3.1.2	Experimentální lidarové systémy.....	21
2.3.1.3	Komerčně dostupné lidarové systémy.....	22
2.3.2	Aplikace dat typu full-waveform.....	22
2.4	Filtrace laserových dat.....	23
2.4.1	Morfologické filtry.....	24
2.4.2	Filtry založené na porovnávání sklonu.....	24
2.4.3	Lineární predikce (statistická interpolační metoda).....	25
2.5	Klasifikace dat.....	25
2.5.1	Metody klasifikace.....	26
2.5.1.1	Řízená klasifikace.....	27
2.5.1.2	Neřízená klasifikace.....	27
2.5.1.3	Objektová klasifikace.....	27
2.5.2	Segmentace.....	28
2.6	Družicová data.....	30
<b>3</b>	<b>Metodika.....</b>	<b>32</b>
3.1	Použitá data.....	32
3.1.1	Přezpracování družicových dat.....	33
3.1.2	Předzpracování laserových dat.....	34
3.1.3	Tvorba pomocné vrstvy.....	37
3.2	Zpracování laserových dat.....	37
3.2.1	Interpolace dat.....	38
3.2.2	Chování laserových dat.....	39

3.3	Klasifikace.....	45
3.3.1	Klasifikace - základ.....	46
3.3.2	Klasifikace – speciální.....	51
3.4	Výsledky .....	63
3.4.1	Ověření přesnosti klasifikace .....	64
<b>4</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>68</b>
<b>5</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>71</b>
<b>6</b>	<b>Zdroje.....</b>	<b>72</b>
<b>7</b>	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>76</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Letecké laserové skenování .....	15
Obr. 2 Průběh leteckého laserového snímání .....	16
Obr. 3 Emitovaný a detekovaný puls .....	17
Obr. 4 Full waveform .....	18
Obr. 5 Full waveform podrobně .....	19
Obr. 6 Porovnání lidarů s malou (a) a velkou (b) stopou záběru .....	20
Obr. 7 Technické specifikace hlavních existujících systémů .....	23
Obr. 8 Chessboard segmentation .....	29
Obr. 9 Quadd tree segmentation .....	29
Obr. 10 Multiresolution segmentation .....	29
Obr. 11 QuickBird .....	31
Obr. 12 Transformace dat z formátu .sdw do formátu .txt .....	35
Obr. 13 Transformace dat z formátu .txt do formátu .las .....	35
Obr. 14 Transformace dat do formátu .las 1.1 .....	36
Obr. 15 Použití nástroje lasmerge.exe .....	36
Obr. 16 Použití nástroje lasclip.exe .....	36
Obr. 17 Pomocná vrstva s výškami budov a vegetace .....	37
Obr. 18 LiDAR File Converter .....	38
Obr. 19 Použitá metoda interpolace .....	39
Obr. 20 Báze procesu interpolace rastrových vrstev .....	39
Obr. 21 Družicová data .....	41
Obr. 22 Výška zemského povrchu včetně terénních překážek .....	42
Obr. 23 Intenzita přijatého signálu .....	43
Obr. 24 Počet odrazů .....	44
Obr. 25 Šířka přijatého signálu .....	45
Obr. 26 Třídy první části klasifikace (Klasifikace – základ) .....	46
Obr. 27 Klasifikované objekty polí a rezidenční zástavby .....	47
Obr. 28 Třída vodní plochy .....	48
Obr. 29 Klasifikace třídy zástavba – haly .....	48
Obr. 30 Tvarová úprava objektů zástavby .....	49
Obr. 31 Třída zástavba .....	49
Obr. 32 Klasifikační strom – přehled jednotlivých kroků klasifikace .....	50
Obr. 33 Třída silnice - výsledek základní klasifikace .....	51
Obr. 34 Klasifikační báze silniční povrchu (třída silnice – asfalt) .....	52
Obr. 35 Původní třída silnice a zpřesněná třída silnice asfalt .....	53



Obr. 36 Klasifikační báze tvaru střechy .....	54
Obr. 37 Tvar střechy.....	55
Obr. 38 Tvar střechy.....	56
Obr. 39 Typ střechy – segmentace.....	57
Obr. 40 Typ střechy – červené střechy .....	58
Obr. 41 Typ střechy – červené střechy, červené plechové střech.....	59
Obr. 42 Tmavé střechy .....	60
Obr. 43 Tmavé střechy – plech .....	60
Obr. 44 Šedé střechy .....	61
Obr. 45 Šedé střechy – plech .....	61
Obr. 46 Světlé střechy.....	62
Obr. 47 Klasifikační báze typu střechy.....	62
Obr. 48 Třídy druhé části klasifikace (Klasifikace – speciální) .....	63
Obr. 49 Klasifikační báze – vpravo Jirny 1, vlevo Jirny 2 .....	64
Obr. 50 Přesnost speciální klasifikace (typy střech).....	65
Obr. 51 Přesnost speciální klasifikace (tvary střech) .....	66
Obr. 52 Chybně zařazené objekty 1 .....	67
Obr. 53 Chybně zařazené objekty 2 .....	67

# 1 Úvod a cíle práce

## 1.1 Úvod

Téma diplomové práce bude zaměřené na zpracování dat laserového skenování a to s pomocí metody full-waveform.

Metodu full-waveform můžeme prezentovat jako analýzu průběhu vln, která dovoluje pokročilejší metody zpracování. Tato nová technologie systémů laserového skenování dovoluje digitalizovat tvar vlny každého odraženého pulzu. Data s plně tvarovanými kmity otevírají nové možnosti extrakce dodatečných a mnohem více podrobných informací. Tato technologie poskytuje další informace o struktuře a fyzikálních vlastnostech snímaného území - data poskytují možnost detailnějšího popisu struktur objektů a také navýšení přesnosti měření. První experimentální full-waveform systémy byly navrženy už v osmdesátých letech, avšak komerčně dostupné jsou až od roku 2004.

Pro dosažení správných a co nejpřesnějších výsledků, budou v této diplomové práci využita kromě laserových dat i data obrazová. Kombinace laserových a obrazových dat se již dříve prokázala jako velmi výhodná a právě na tyto výsledky, které budou popsány v rešeršní části, diplomová práce naváže.

První část práce se zabývá literární rešerší, současným stavem, rozbořem a řešením dané problematiky z hlediska laserových dat a klasifikace. Druhá rozsáhlejší část popisuje tvorbu vlastní metodiky včetně předzpracování dat a jejich následného zpracování. V závěrečných kapitolách jsou zhodnoceny výsledky a přesnosti jednotlivých klasifikací.

Hlavním přínosem práce bude vytvoření vlastní klasifikační báze, která bude hodnocena z hlediska přenositelnosti mezi datovými sadami. Z již dřívějších zkušeností autora diplomové práce můžeme poznamenat, že klasifikační báze je mezi datovými sadami přenositelná, ale musí být provedeny jisté úpravy. Tento poznatek se v práci projeví tak, že budou zpracovány dvě datové sady a bude zhodnoceno, jak moc musela být původní klasifikační báze při aplikaci na druhou datovou sadu pozměněna.

Tato diplomová práce přináší poznatky, které byly získány z ověřených a důvěryhodných zdrojů, o současné situaci a o současné podobě laserového skenování zemského povrchu a využití jeho výsledků v praxi. Tyto informace jsou zpracovány a využity při zpracování konkrétní datové sady.

## 1.2 Cíl diplomové práce

Motivací pro zpracování tohoto tématu a vůbec celé této diplomové práce je ten, že využití tzv. full-waveform dat představuje na trhu lidarových technologií úplně nový přístup. Tento přístup vzniká kombinací nejnovějších technologií a to od pokročilých laserových senzorů, před výkonný počítačový hardware, až po sofistikovaný software schopný produkovat reprezentativní výsledky metody full-waveform. V současnosti se v teoretické rovině jedná o jeden z nejefektivnějších způsobů zpracování laserových dat, jehož možnosti uplatnění v rovině praktické jsou stále předmětem výzkumu.

Je zapotřebí zjistit, zdali je vůbec možné data získaná metodou full-waveform nad rozsáhlými územími obsahujícími detailní reliéf rychle a správně zpracovávat, zdali lze považovat výsledky zpracování za relevantní, zdali už je v současné době vůbec možné efektivně pracovat s tak vyspělými technologiemi, zdali má tento nový přístup vůbec nějaký potenciál.

Cílem této práce bude zjistit, jak informace o výšce amplitudy a šířce pulzu (které budou získány ze zpracování full-waveform záznamu dat) mohou přispět ke klasifikaci laserových dat (konkrétní cíl je popsán v následující kapitole v návaznosti na současný stav dané problematiky). Jako doplňkové informace budou použity prostorové příznaky (polohová blízkost bodů), informace o pořadí odrazů a obrazová informace.

Co se týká jednotlivých dílčích cílů diplomové práce, tak ty jsou následující:

- rešerše literatury zabývající se technologií full-waveform LiDAR a jejím využitím pro klasifikaci dat ALS (letecké laserové skenování);
- zkoumání vlivu různých druhů zástavby na parametry amplitudy a šířky;
- návrh metodiky klasifikace dat ALS s uvedením vlastního přínosu;
- aplikace metodiky na datech pořízených skenerem RIEGL LMS-Q560;
- zhodnocení výsledků porovnáním s komerčními řešeními (robustní filtrace), nebo terénním šetřením.

## 2 Současný stav problematiky a literární rešerše

### 2.1 Konkretizace zájmové problematiky

V současné době na dané téma existují různé experimentální projekty. Tyto projekty se zabývají klasifikací laserových dat získaných pomocí metody full-waveform pouze vybraných částí zemského povrchu. Nejvíce se zaměřují především na klasifikaci vegetačního pokryvu nebo jen jeho specifických částí – extrakce stromů na malém území (Reitberger a kol., 2008), výška stromů, jejich objem, klasifikace podle druhů, množství biomasy, atd. Nejčastější používaná metodologie, která zároveň poskytuje nejlepší výsledky při zpracování tohoto typu dat, je založená na objektivě orientovaném přístupu (Van Aardt a kol., 2008).

Studie, které se zabývají klasifikací laserových dat získaných pomocí metody full-waveform týkající se zastavěných (městských) oblastí, jsou naopak v omezenějším počtu (Bretar a kol., 2008) a postrádají konkrétní řešení vliv parametrů amplitudy a šířky (viz dále) na výsledek klasifikace. Proto se tedy dále zaměříme na tuto problematiku – klasifikace zastavěných (městských) oblastí.

Pro klasifikaci zastavěných (městských) území jsou již známé postupy, které používají jak laserovou tak i multispektrální technologii. Kombinace těchto dvou technologií zpracovaných metodou objektivě klasifikace přináší výsledky, které podle již provedených studií lze označit za přesné a věrohodné z hlediska spolehlivosti klasifikace (Syed a kol., 2005). Rovněž bylo ověřeno, že je možná klasifikace i samotných klasických laserových dat (tj. bez full waveform), i když výsledný počet možných klasifikovatelných tříd je omezený (Definiens, 2009).

Na tyto pozitivní výsledky můžeme navázat tím, že pokud budou navíc do laserových dat zakomponovány další dva parametry (amplituda a šířka) získané pomocí nové technologie full-waveform, bude klasifikace přesnější a kvalitnější než klasifikace samotných laserových dat. Konkrétněji se tedy zaměřím na to, jaký vliv na uvedené dva nové parametry má charakteristika povrchu zástavby. Tedy vliv radiometrických vlastností (různé materiály střech) a geometrických vlastností (různé hodnoty sklonitosti střech) – jakému typu materiálu a sklonu jaká amplituda a šířka přísluší. Obecně řečeno, jestli tedy jsou vůbec amplituda a šířka takovými příznaky, které dokážou zkvalitnit filtraci bodového mračka zájmového území (v tomto případě zastavěná/městská oblast) a pokud ano, tak jakým způsobem.

To, že typ a druh materiálu má na výsledný průběh laserového pulzu určitý vliv, bylo prokázáno ve studii (Jutzi, Stilla, 2003). Pokusy byly provedeny s experimentálně

sestrojeným laserovým systémem na čtyřech vybraných vzorcích a vliv těchto konkrétních druhů materiálů/povrchů vyskytujících se v oblasti městské zástavby byl prokázán (Jutzi, Stilla, 2003). Na střechách budov lze tedy očekávat hodnoty amplitudy a šířky proměnlivé v závislosti na použitém materiálu a sklonu. Jedna z dalších otázek, která může ohledně daného tématu být zodpovězena, se týká chování asfaltových povrchů. V tomto ohledu byly totiž v literatuře nalezeny dva protichůdné názory. První tvrdí, že bylo prokázáno, že hodnoty amplitudy tohoto typu povrchu jsou nízké (Mallet a kol., 2008), naopak druhý zdroj literatury tvrdí, že hodnoty amplitudy asfaltových povrchů jsou vysoké (Bretar a kol., 2008). Z toho tedy vyplývá další vhodná otázka, která v rámci této diplomové práce může být řešena. Co se týká šířky, tak ta má podle studie (Mallet a kol., 2008) u zástavby nižší hodnoty, které s rostoucím sklonem střech mají tendenci rovněž stoupat.

Výše uvedená část se týká teoretického postupu. Následující praktická část nebude spočívat v programování, nýbrž jejím cílem bude nalezení dostupného softwarového řešení a návrh vhodné metodiky. Dostupným softwarovým řešením je v současné době program eCognition, který obsahuje speciální nástroje určené přímo pro klasifikaci laserových dat a který již byl ověřen jako použitelný nástroj pro zpracování laserových dat (Definiens, 2009). Co se týká vhodné metodiky, tak zde se zatím jako nejvhodnější jeví použití objektově orientovaného přístupu. Rozsah zájmového (klasifikovaného) území bude vybrán tak, aby bylo možné provést validaci výsledků terénním šetřením.

## **2.2 Lidar**

Pojem lidar je akronymem z anglických slov „Light Detection And Ranging“. Ve volném překladu se tedy jedná o technologii (přístroj), která využívá světelného paprsku k měření vzdálenosti a tím k detekci objektů. Ekvivalentní pojem k tomuto výrazu, který bude v této práci používán, je „laserový skener“, případně „laserové (letecké) skenování“ a „lidar“ nesený leteckým nosičem (Dolanský, 2004).

Základním principem lidarů je měření vzdálenosti pomocí laserového paprsku. Pomocí lidarů může být digitálně rekonstruován tvar jakéhokoli tělesa, od soch a architektonických památek přes skalní masívy až po rozsáhlé podzemní komplexy. Dále to může být například mapování koncentrací polutantů v atmosféře, měření atmosféry, ozónové vrstvy a jiných jevů v atmosféře nebo i měření rychlosti projíždějících vozidel. Samozřejmostí je využití lidarů i v geodetické oblasti pro mapování (rekonstrukci) zemského povrchu z letadla, kterým se my budeme zabývat. (Dolanský, 2004)

Celý přístroj (lidar) obsahuje následující: zdroj laserového záření, detektor elektromagnetického záření, optickou soustavu, mechanický prvek a velmi přesné hodiny (Dolanský, 2004).

Zdrojem laserového záření může být v současné době množství různých emitörů. U výkonných přístrojů se používají pevnolátkové lasery rubínové nebo modernější Nd:YAG (aktivním materiálem je izotropní krystal Yttrium Aluminium Granátu dopovaný ionty neodymu) a jedná se o nejpoužívanější typ pevnolátkového laseru. (Encyclopedia, 2011)

V méně výkonnostních přístrojích se používají lasery diodové, jejichž největší výhodou je jednoduchost implementace do systému a dostupnost na trhu. Použití konkrétního typu laseru se řídí požadovaným výkonem i požadovanou vlnovou délkou záření. (Dolanský, 2004)

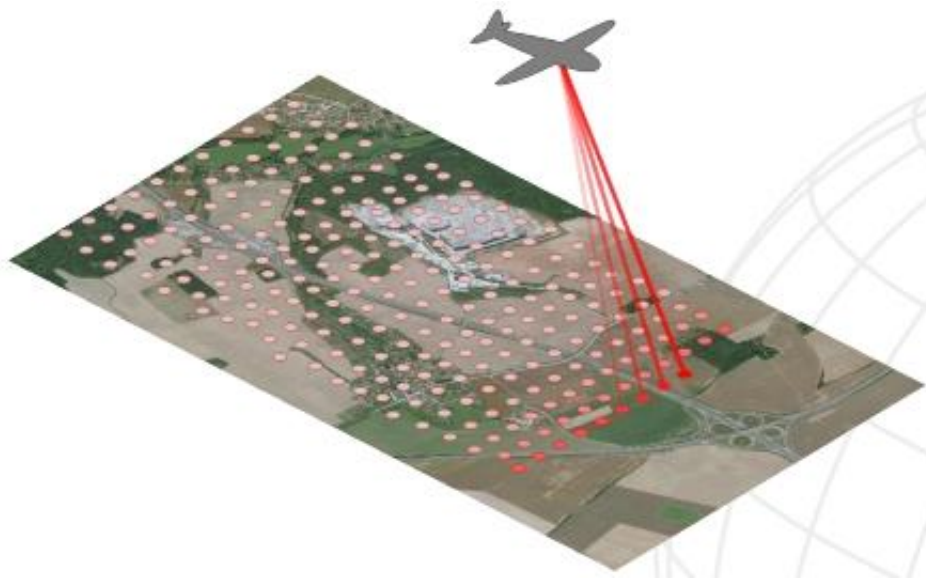
Jako detektory bývají používány světlocitlivé diody, spektrálně synchronizované na stejnou vlnovou délku jakou má vysílané laserové záření. Protože svazek paprsků laserového záření je vyslán směrem k objektu, od kterého se odražen vrací k detektoru, musí být detektor velmi citlivý (uvažujeme-li difuzní odraz – energie světla klesá s druhou mocninou vzdálenosti). Lasery v lidarech jsou používány jak v pulzním, tak i v kontinuálním režimu s fázovou modulací. (Dolanský, 2004)

Koncentraci záření do úzkého svazku včetně souososti detektoru a emitöru zajišťuje optická soustava, která bývá zpravidla reprezentována polopropustným hranolem. Tento hranol (nebo zrcadlo) bývá umístěn na mechanickém prvku, který zajišťuje směřování paprsku vždy pod jiným úhlem. Tímto způsobem je zajištěno snímání určité roviny nebo prostoru, aniž by se muselo otáčet celým zařízením. (Dolanský, 2004)

Poslední částí lidaru jsou velmi přesné hodiny, které mají za úkol měřit čas od vyslání paprsků po jejich detekci na detektoru. Ze znalosti rychlosti šíření světla lze určit vzdálenost lidaru od objektu, a tedy ze znalosti směru vyslaného svazku paprsků a odvozené vzdálenosti určit polohu každého měřeného bodu. U kontinuálního režimu laseru je navíc paprsek frekvenčně modulován a vzdálenost je určována za pomoci fázového posunu. (Dolanský, 2004)

### **2.2.1 Letecké laserové skenování**

Letecké laserové skenování (viz obr. 1) je technologií umožňující sběr bodů pro tvorbu digitálního modelu reliéfu a modelu terénu (i v zalesněných oblastech). Co se týká praktických aplikací, tak to může být například tvorba 3D modelu měst, analýzy vegetačních pokryvů, sledování nadzemních vedení, atd. (Mallet, Bretar, 2009)



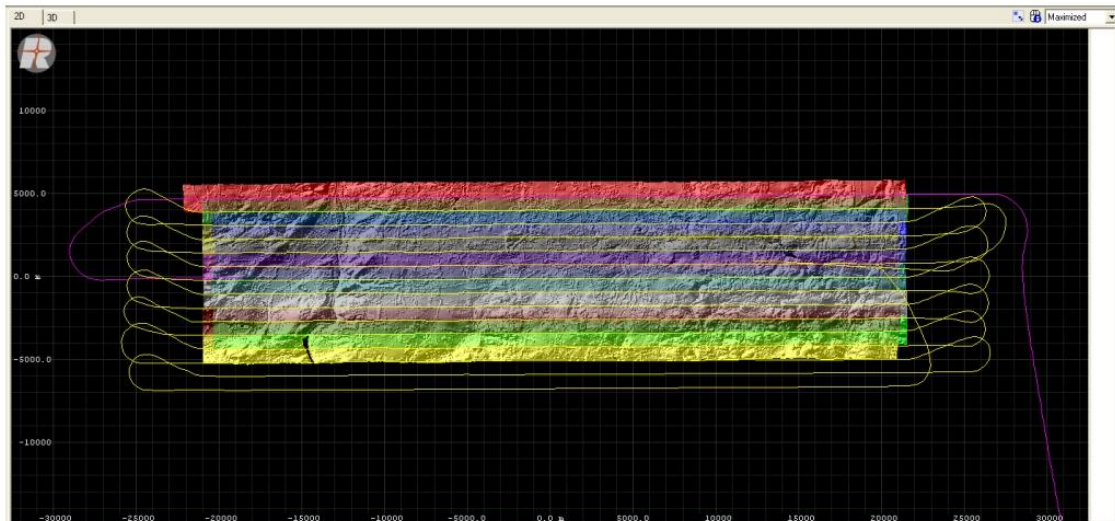
**Obr. 1 Letecké laserové skenování** (zdroj: [www.gis.zcu.cz](http://www.gis.zcu.cz))

Laserové skenování je vyvinuto pro rychlé a operativní mapování rozsáhlých území, kde standardní metody jako jsou tachymetrie, fotogrammetrie a GPS nestačí (Dolanský, 2004).

Laserové skenery nejsou závislé na slunečním světle, proto lze měření provádět i v noci. Aby bylo vůbec možné takovýto typ přístrojů používat, musí být zajištěno přesné určení polohy letadla v prostoru. Laserové skenery zaznamenaly svůj rozvoj na přelomu osmdesátých a devadesátých let, poté, co byl na univerzitě ve Stuttgartu vyvinut moderní laserový profiler (1988 – 1993). (Mallet, Bretar, 2009)

Lidarové zařízení může být jednoduše charakterizováno jako laserový dálkoměr poskytující spolehlivou, přesnou, ale nepravidelnou reprezentaci povrchu krajiny prostřednictvím 3D mračen bodů (Baltsavias, 1999).

První aktivní senzory tohoto typu, určené pro letecké nebo satelitní nosiče, byly zkonstruovány na začátku sedmdesátých let minulého století. Poskytovaly však pouze jednorozměrné profily podél dráhy senzoru (ve směru nadiru) podle sekvence jednotlivých pulzů. Moderní (současné) senzory snímají data v paralelních pásech (pruzích) s šířkou záběru v rozmezí 150 – 600 m, které se vzájemně mohou překrývat (viz obr. 2). Taková technologie poskytuje na výstupu mnohem hustší bodový mrak, který má zároveň mnohem pravidelnější rozložení na zemském povrchu. Hustota bodů může ve specifických a výjimečných případech dosahovat až 100 bodů/m<sup>2</sup> (obvykle ale nepřesáhne 25 bodů/m<sup>2</sup>), což může být například použito při sledování stability říčních hrází. (Mallet, Bretar, 2009)



**Obr. 2 Průběh leteckého laserového snímání (zdroj: [www.gis.zcu.cz](http://www.gis.zcu.cz))**

V současné době jsou topografické lidary používány v mnoha specifických aplikacích, jako je například meteorologie, získávání charakteristik zalesněných oblastí, detekce vedení energetických soustav, detekce různých koridorů, mapování pobřeží nebo otevřených prostor, atd. (Mallet, Bretar, 2009)

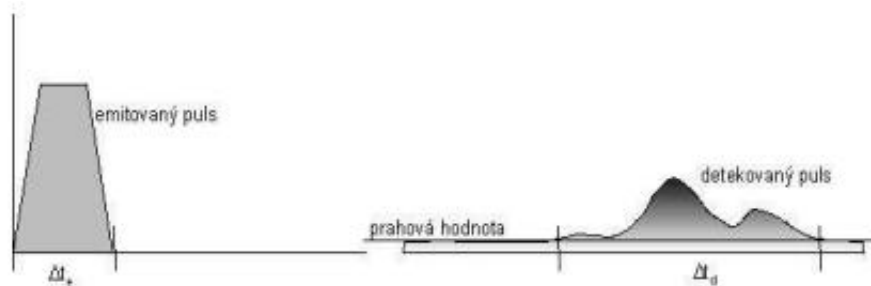
### **2.2.2 Fyzikální princip**

Laserová jednotka obsahuje laserový vysílač a přijímač, jejichž optická osa je totožná. Velikost stopy laserového paprsku je závislá na výšce letu a na divergenci světelného paprsku. Divergence světla tak definuje okamžité zorné pole senzoru. Při výšce letu kolem 500 m nad terénem je laserová stopa na zemi kolem 30 cm. Většina komerčních systémů používá délku záření v rozsahu 1100 - 1200 nm, což odpovídá infračervenému záření. (Dolanský, 2004)

Dráha světelného paprsku je ovlivňována atmosférickou refrakcí, která je závislá na úhlu paprsku od svislice a na lokálních atmosférických podmínkách. Vyslaný pravoúhlý puls se navíc po odrazu od povrchu nevrací ve svém původním tvaru, ale vytváří daleko složitější tvar, který popisuje vlastnosti atmosféry a povrch objektu (viz obr. 3). (Dolanský, 2004)

V současné době se používají pulzní a kontinuální laserové systémy. Pulzní systémy měří čas mezi vysláním krátkého světelného pulzu a jeho zpětným přijetím na přijímači. Kontinuální laserové systémy měří rozdíl fáze mezi vyslaným a přijatým signálem. (Mallet, Bretar, 2009)





**Obr. 3 Emitovaný a detekovaný puls** (zdroj: Dolanský, 2004)

Fyzikální princip leteckého laserového skenování spočívá v emisi laserových pulzů z leteckých nosičů s vysokou obnovovací frekvencí – high repetition frequency – PRF, počet pulzů za jednotku času (Baltsavias, 1999). V závislosti na vlnové délce, dochází k interakci mezi emitovanou elektromagnetickou vlnou a atmosférickými částicemi (absorpce nebo rozptyl) a mezi emitovanou elektromagnetickou vlnou a ozářenými přírodními nebo člověkem vytvořenými objekty na zemském povrchu (Mallet, Bretar, 2009).

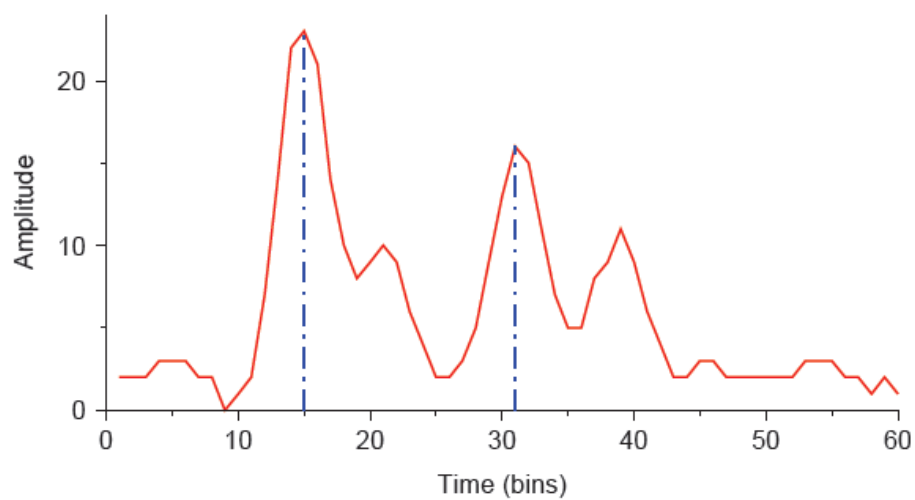
PRF závisí na použité detekční metodě a na nadmořské výšce letu. Pulz je emitován ve chvíli, kdy je úspěšně přijat předchozí vyslaný pulz. Avšak nejnovější systémy mají schopnost vyslat další laserový pulz ještě před dokončením nahrání předchozího pulzu (Roth, Thompson, 2008).

## 2.3 Full-waveform

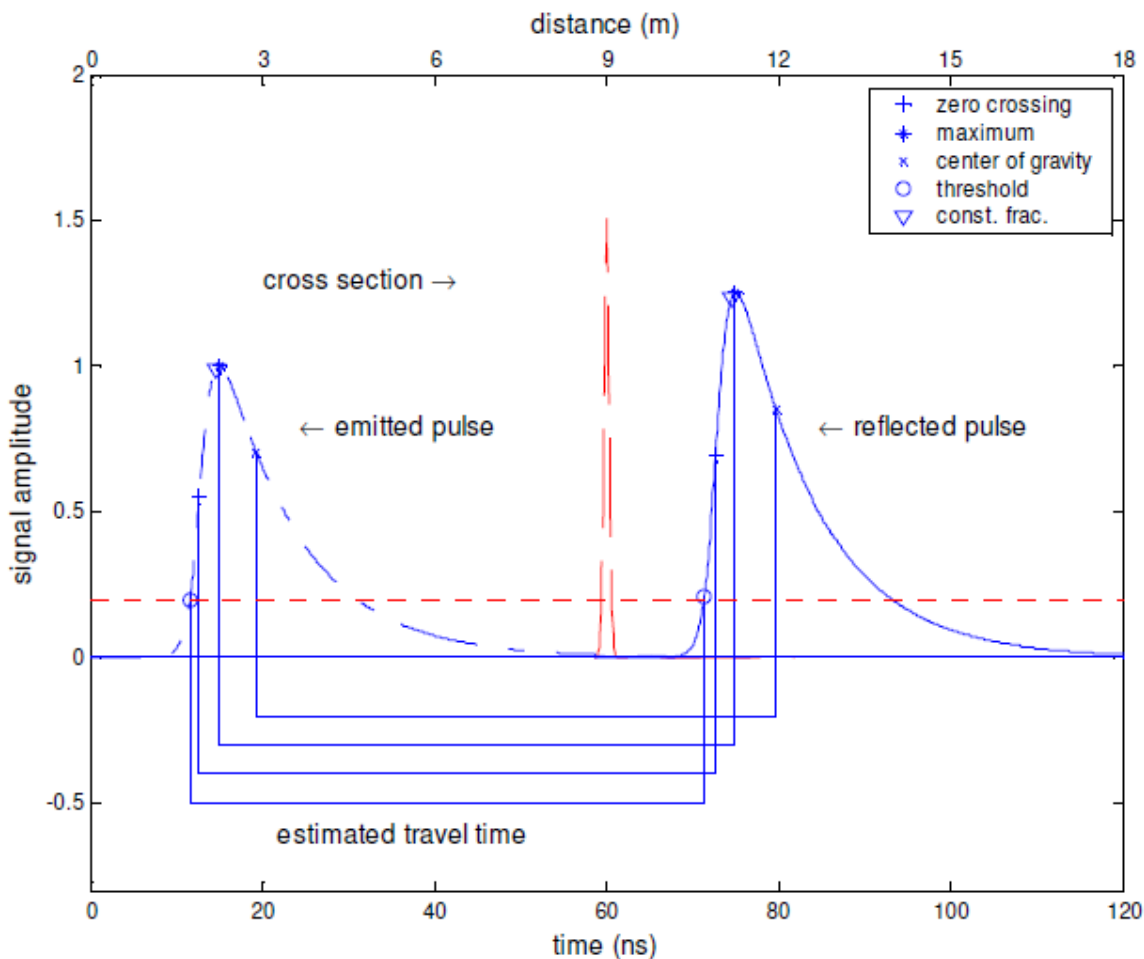
Analýzy průběhu vln dovolují pokročilejší metody zpracování, které zvyšují přesnost, spolehlivost a rozlišení detekce pulzů. Technologie full-waveform poskytuje koncovým uživatelům větší kontrolu nad interpretačními procesy fyzických měření. Tato nová technologie systémů laserového skenování dovoluje digitalizovat tvar vlny každého odraženého pulzu. Data s plně tvarovanými kmity otevírají nové možnosti extrakce dodatečných a mnohem více podrobných informací. Tato technologie rovněž poskytuje další informace o struktuře a fyzikálních vlastnostech snímaného území - data poskytují možnost detailnějšího popisu struktur objektů a také navýšení přesnosti měření. Například nízká vegetace může být snadno separovatelná od země a měření výšky vegetačního pokryvu může být zpřesněno. (Mallet, Bretar, 2009)

Pro zaznamenávání pořízených dat výrobci lidarů do svých systémů přidávají digitalizační terminály a harddisky s vysokou úložnou kapacitou, které jsou ale také jedním z hlavních omezení rozsahu průzkumu dané oblasti (například přístroj *Optech* je schopen nasbírat 300 GB dat během 3,5 hodiny, přičemž PRF je ekvivalentní 50 kHz). Full-waveform data jsou obvykle ukládána jako 8bitová data (Mallet, Bretar, 2009).

Aplikování metody full waveform může vypadat následovně. Pulzní detekce je aplikována na zpětně odražený průběh signálu. Prvním krokem je úprava zaznamenaných dat, tedy jejich dekompozice, na sumu komponentů nebo ech. K tomu může sloužit například použití Gassovy funkce (nebo generalizované Gaussovy funkce). Cílem tohoto celého procesu je nalézt tolik vrcholů (viz obr. 4), kolik lze z daného signálu získat, včetně informací o každém echu. K tomuto účelu dále slouží základní, ale i pokročilejší detekční metody, přičemž základ, ze kterého se vychází, vždy tvoří amplituda a šířka daného signálu. Jedná se tedy například o stanovení prahové hodnoty (treshold), těžiště (centre of gravity), lokálních extrémů (maximum), tzv. nulového křížení druhé derivace (zero crossing) a konstantní frakce (constant fiction). Příklad můžeme vidět na obrázku 5. (Mallet, Bretar, 2009)



**Obr. 4 Full waveform** (zdroj: Mallet, Bretar, 2009)



**Obr. 5 Full waveform podrobně** (zdroj: Mallet, Bretar, 2009)

### 2.3.1 Typologie full-waveform systémů

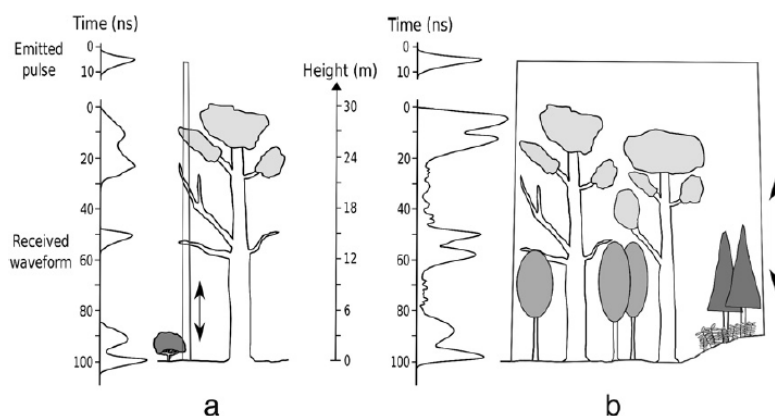
První full-waveform systém byl navržen v osmdesátých letech minulého století pro účely batymetrie - topografie mořského dna (Guenther a Mesick, 1988). Experimentální topografická zařízení podobného typu se objevila až v polovině devadesátých let minulého století. První skutečně funkční systém byl systém LVIS, který se objevil v roce 1999. První komerčně dostupné full-waveform systémy se objevily v roce 2004. Full-waveform topografické lidarové systémy se liší hlavně ve velikosti stopy záběru, pulzní energii a PRF. Zařízení s malou a velkou stopou záběru nesnímají stejné informace nad stejným územím (Mallet, Bretar, 2009).

Většina komerčních systémů jsou systémy s malou stopou záběru (v rozmezí 0,2 – 3 metrů, což závisí na výšce letu a paprskové divergenci). Poskytují vyšší hustotu nasnímaných bodů a přesnější výškové informace. Přesto je mapování rozsáhlých oblastí s těmito systémy velmi náročnou záležitostí, navíc často také nezaznamenávají vrcholy stromů. Je obtížné určit, zda v rámci husté vegetace bylo dosaženo zemského

povrchu, což následně zhoršuje odhady výšky jak zemského povrchu, tak i samotné vegetace (Dubayah a Blair, 2000).

Systémy s velkou stopou záběru (v rozmezí 10 – 70 metrů) mají větší pravděpodobnost, že zemský povrch a vegetační pokryv přesněji zaměří. Odstraňují zkreslení, která vznikají při použití systémů s malou stopou záběru. Systémy s velkou stopou záběru jsou nesené satelitními nosiči, jelikož je požadována vyšší letová (orbitální) výška. Z toho důvodu ale také musí být pulzy emitovány na nižší frekvenci a s vyšší energií. (Mallet, Bretar, 2009)

Na obrázku 6 můžeme vidět rozdíl mezi lidarem s malou stopou záběru (a) a lidarem s velkou stopou záběru (b). Lidar s malou stopou záběru - tvar přijatých vln silně ovlivňují zasažené cíle, ale je zde velká pravděpodobnost, že paprsek nezasáhne zemský povrch. Lidar s velkou stopou záběru – logicky při tak velké stopě je jasné, že zemský povrch bude zasažen, ale každé přijaté echo je výsledkem interakce odrazů od několika cílů v různých vzdálenostech a s různými vzdálenostmi. (Mallet, Bretar, 2009)



**Obr. 6 Porovnání lidarů s malou (a) a velkou (b) stopou záběru (zdroj: Mallet, Bretar, 2009)**

### 2.3.1.1 Hlubkové (bathymetrické) lidarové systémy

Tyto systémy jsou určeny pro měření hloubky moří a jiných vodních útvarů. Jsou založeny na principu snímání dvěma paprsky: zelený (532 nm) a infračervený (1064 nm). Zelený paprsek prochází rozhraním vzduch-voda a dále se šíří vodním prostředím (na dno) s malým útlumem signálu. Naopak infračervený paprsek se odráží od vodní hladiny. Výsledná hloubka vzniká jejich vzájemným odečtením (dva vrcholy). V současné době je k dispozici několik hlubkových lidarových systémů: *LARSEN-500*, *LADS (Laser Airborne Depth Sounder)*, *SHOALS (Scanning Hydrographic Operational*

*Airborne Lidar Survey*), *Hawk Eye* a *EAARL (Experimental Advanced Airborne Research Lidar)*. (Mallet, Bretar, 2009)

### **2.3.1.2 Experimentální lidarové systémy**

Uvedené následující prototypy byly vyvinuty společností NASA za účelem získání požadovaných charakteristik vegetačního pokryvu. Cílem je mapování rozsáhlých oblastí za účelem poskytnutí dat v rozlišení několika metrů a šířkou řádku 1-2 km.

*SLICER (Scanning Lidar Imager of Canopies by Echo Recovery)*: předchůdce topografických systémů popsaných níže byl konstruován pro získávání charakteristik vertikálních struktur vegetačního pokryvu. Použitím tohoto zařízení bylo demonstrováno, že systémy full-waveform můžou být aplikovány k posuzování charakteristik lesních oblastí, rozlišení druhů a stáří stromů, atd. Data pořízená tímto systémem můžou být stahována online. (Lefsky a kol., 1999)

*SLA (Shuttle Laser Altimeter)*: Tento satelitní senzor byl navržen ke snímání různých oblastí, přičemž nasnímaná data se uplatňují v oblasti tektoniky, hydrologie, geomorfologie, ledovců, atd. Celkem vznikly dvě verze tohoto satelitu: SLA-01 a SLA-02. (Harding a kol., 1999)

*LVIS (Laser Vegetation Imaging Sensor)*: jedná se o vylepšenou verzi senzoru SLICER, která byla použita pro testování a poskytování údajů pro vývoj algoritmů, kalibraci přístrojů a hodnocení výkonnosti měření pro budoucí zařízení VCL (Vegetation Canopy Lidar). Pomocí tohoto projektu byl také prokázán potenciál dat typu full-waveform k získávání různých charakteristik lesnatých oblastí a k získávání údajů o zemské topografii a to i pod vegetačním pokryvem. (Blair a kol., 1999)

*MBLA (Multi-Beam Laser Altimeter)*: tento systém je součástí VCL (Vegetation Canopy Lidar) mise. VCL je zaměřený na poskytování dat pro pochopení důležitých otázek v oblasti životního prostředí (klimatické změny, trvale udržitelné využití půdy), dále ke zkoumání množství světové biomasy a k odhadům množství odpadního uhlíku. (Mallet, Bretar, 2009)

*GLAS (Geoscience Laser Altimeter System)*: byl součástí pětileté mise satelitu ICESat. Tento projekt byl zahájen v roce 2003 a jeho cílem bylo studium vývoje pozemních a ledovcových mas v prostředí Antarktidy a Grónska (drsnot a tloušťka mořského ledu, topografie a vertikální struktura oblaků a aerosolů). (Mallet, Bretar, 2009)

### 2.3.1.3 Komerčně dostupné lidarové systémy

Operační verze komerčních full-waveform systémů jsou na trhu dostupné od roku 2004. Jedná se o systémy s malou stopou záběru, které mají značný potenciál, ale nemají žádné speciálně vyhraněné použití. Tyto systémy jsou v produkci následujících firem: *Riegl* (Rakousko), *Toposys* (Německo), *TopEye/Blom* (Švédsko) a *Optech* (Kanada). Firma *Leica* (Švédsko/Německo) v současné době ještě nemá plně dokončený výzkum (Mallet, Bretar, 2009). Technické specifikace hlavních existujících systémů jsou zaznamenány na obrázku 7.

### 2.3.2 Aplikace dat typu full-waveform

Data typu full-waveform mají široké uplatnění, zejména pro analýzy prováděné nad zalesněným územím. Bylo provedeno mnoho studií za účelem získání odhadů „lesních“ parametrů z lidarových dat. Díky vysoké hustotě bodů mohou být extrahovány (modelovány) stromy na malých územích, jejich výška a průměr koruny nebo jejich objem. Stromy mohou být klasifikovány podle příslušnosti k jednotlivým druhům, dále mohou být odhadovány jejich různé specifické vlastnosti a dokonce je možné zjistit míru vzrůstu lesa a detekovat stromy, které byly poraženy. Dále mohou být z lidarových dat odhadovány různé „lesní“ parametry: hustota, pokrytí, biomasa, atd. (Mallet, Bretar, 2009)

Lidarová data se dále používají k odhadování následujících parametrů: výška vegetace (modelování, které je prováděno na základě měření rozdílu mezi prvním a posledním odrazem, pro různé typy lesa - tropický, mírný a severský), vertikální rozložení materiálu vegetačního pokryvu (důležité pro určování množství biomasy, určování stavu a věku lesa), výškový profil vegetačního pokryvu, porost, objem vegetačního pokryvu, stanovení množství biomasy, charakteristiky kmenů jednotlivých stromů a další parametry. (Mallet, Bretar, 2009)

System	Company manufacturer	Platform	Beam deflection	Beginning-final year	Wavelength (nm)	Flying height (km)	Pulse rate (kHz)
<b>Bathymetric</b>							
LARSEN 500	Terra Surveys Optech	Airborne	Rotating mirror	1983–	1064/532	0.5	0.02
MarkII	LADS TopEye	Airborne	Fibers	1989–	1064/532	0.37–0.5	0.9
Hawk Eye	Saab Optech	Airborne	Oscillating mirror	1990–	1064/532	0.05–0.8	0.2
SHOALS	US army Optech	Airborne	Oscillating mirror	1994–	1064/532	0.2–0.4	0.4
1000T							
EAARL	NASA	Airborne	Oscillating mirror	2002–	1064/532	0.3	3
<b>Experimental</b>							
SLICER	NASA	Airborne	Oscillating mirror	1994–1997	1064	<8	0.075
SLA-02	NASA	Satellite	None	1996–1997	1064	285	0.01
LVIS	NASA	Airborne	Oscillating mirror	1997–	1064	<10	0.1–0.5
GLAS	NASA	Satellite	None	2003–	1064/532	600	0.04
MBLA	NASA/University of Maryland	Satellite	Oscillating mirror	None	1064	400	0.01/0.242
<b>Commercial</b>							
LMS Q560	Riegl	Airborne	Polygon	2004–	1550	<1.5	≤100
Falcon III	TopoSys	Airborne	Fibers	2005–	1560	<2.5	50–125
MarkII	TopEye	Airborne	Palmer	2004–	1064	<1	≤50
ALTM 3100	Optech	Airborne	Oscillating mirror	2004–	1064	≤3.5	≤70
ALS60	Leica	Airborne	Oscillating mirror	2006–	1064	0.2–6	≤50

System	Pulse energy (mj)	Pulse width (ns)	Scan rate (Hz)	Scan angle (°)	Beam divergence (mrad)	Footprint size (m)	Range accuracy (cm)	Digitizer (ns)
LARSEN 500	–	12	20	30	4	2@500 m	30	1
LADS MarkII	7	–	18	27	–	–	15	2
Hawk Eye	2/15	7	0.3–7	0/40	2–15	1–7.5@500 m	30	1
SHOALS	2/15	6	0.3–7	0/40	2–15	0.8–6@400 m	15	1
1000T								
EAARL	0.07	1.3	25	22	0.03	0.15@300 m	3	1
SLICER	–	4	80	–	2	10@5 km	11	1.35
SLA-02	40	8	–	–	0.3	85@285 km	150	4
LVIS	5	10	500	14	8	40@5 km	30	2
GLAS	75/35	6	–	0	0.11–0.17	66@600 km	5–20	1
MBLA	10	5	–	–	0.06	24@400 km	100	4
LMS Q560	0.008	4	5–160	45	0.5	0.5@1 km	2	1
Falcon III	–	5	165–415	28	0.7	0.7@1 km	–	–
MarkII	–	4	<50	14/20	1	1@1 km	2–3	1
ALTM 3100	<0.2	8	<70	50	0.3/0.8	0.3/0.8@1 km	1	1
ALS60	<0.2	5	<90	75 usually	0.22	0.22@1 km	2	1

**Obr. 7 Technické specifikace hlavních existujících systémů (zdroj: Mallet, Bretar, 2009)**

## 2.4 Filtrace laserových dat

Ruční editace mračna bodů, které získáme na výstupu z laseru, je poměrně náročná. Proto je nutno nalézt automatizované postupy, které tento proces provedou velmi efektivně a s dostatečnou přesností. V současné době mezi používané metody patří morfologické filtry, filtry založené na porovnávání sklonu, filtry používající vyrovnání metodou nejmenších čtverců a filtry, které kombinují několik datových typů. Tyto filtry se liší výsledným výstupem po filtraci, která závisí na tvaru terénu, zástavby a také hustotě nasnímaných bodů. (Dolanský, 2004)

## 2.4.1 Morfologické filtry

Morfologické filtry se používají především pro rekonstrukci tvaru objektu. Základními filtry jsou eroze a dilatace, jejichž kombinací vznikají další dva typy morfologických filtrů: otevření a uzavření. (Dolanský, 2004)

*Dilatace* je procesem, při kterém dochází k vyhlazení obrysů objektů o velikost strukturálního elementu (vyplnění drobných mezer a „zálivů“). Pokud je tento morfologický filtr aplikovaný na digitální model terénu, tak se jedná o výběr nejvyššího bodu z dané elementární oblasti a následné přiřazení této výšky bodu pod hlavním bodem strukturálního elementu. (Dolanský, 2004)

*Eroze* je procesem, při kterém jsou obrysy objektů „erodovány“, což znamená, že drobné úzké výstupky či výčnělky jsou odstraněny. Pokud je filtr eroze aplikován na digitální model terénu, tak pro bod nad hlavním bodem je použita nejnižší výška bodů nad elementární oblastí. *Otevření* je kombinace výše uvedených filtrů (eroze následovaná dilatací). Výsledkem tohoto procesu je eliminace poměrně nepatrných detailů. Při aplikaci na rastrová data dojde k oddělení blízkých objektů, u digitálního modelu terénu (dále jen DMT) jsou odstraněny prvky (objekty) menší než je strukturální element (budovy, porost). *Uzavření* je opačným procesem otevření (dilatace následovaná erozí). Při aplikaci dochází k vyplnění všech mezer. (Dolanský, 2004)

*Dual-rank* - Při aplikaci předchozích morfologických filtrů na nehomogenní území vzniká řada problémů. V prostoru s členitým terénem je potřeba použít jinou velikost strukturálního elementu než v plochém území s rozlehlými budovami. Částečně tento problém lze řešit použitím vyšších morfologických filtrů, jako je například dual-rank. Tento vyšší morfologický filtr se skládá ze dvou postupně aplikovaných operátorů. První operátor je aplikován s první částí daného rozsahu, druhý je aplikován s druhou částí. Nastavováno je rozdělení daného rozsahu, například procentuálním vyjádřením. U DMT jsou zkoumané body uvnitř strukturálního elementu seřazeny podle své výšky. Podle nastavení rozsahu je vybrán  $n$ -tý bod v souboru, jehož výška je použita jako filtrovaná výška hlavního bodu. Pokud je hodnota nastavena na 0 %, pak funkce dual-rank odpovídá filtru otevření, při nastavení 100 % odpovídá filtru uzavření. Při nastavení na 50 % se jedná o dvakrát aplikovaný mediánový filtr. (Dolanský, 2004)

## 2.4.2 Filtry založené na porovnávání sklonu

Jedná se o typy filtrů, které jsou založeny na testování, jestli bod leží na terénu či neleží. Jsou založeny na porovnávání každého bodu s jeho nejbližším okolím. Je zkoumán výškový rozdíl mezi testovanými body a v závislosti na jejich vzájemné



vzdálenosti je definován sklon, který lze počítat pomocí různých funkcí. Mezi nejjednodušší metody patří výpočet přímé spojnice, u které do výpočtu vstupují body izolovaně od ostatních okolních bodů. Naopak pokročilejší metodou je výpočet nelineární funkce z většího množství bodů v okolí. U této metody se používá k výpočtu jeden skenovací řádek, aby byly zanedbány vlivy lokálních rotací letadla (nestability letadla) kvůli dodržení podmínky, že všechny body musí ležet v jedné svislé rovině. (Dolanský, 2004)

*Region Growing* - Tento typ filtrace využívá principu porovnávání sklonu sousedních bodů, ale metodika je od předchozího postupu odlišná. Je zvolen uzlový bod, který se nachází na terénu, a postupně se testují sousední body v definovaném okolí. Pokud testované okolní body splňují podmínku přípustného převýšení, jsou označeny za body ležící na terénu a testování dále pokračuje od těchto bodů (testování pokračuje do té doby, dokud existuje alespoň jeden bod, který splňuje podmínku přípustného převýšení). Výhodou této filtrace je časová úspora, protože se nemusí testovat každý bod s každým. Vlastní filtraci podléhá i volba uzlového bodu, kterých musí být několik. Zvláště v urbanistických oblastech musí být hustota uzlových bodů výrazně vyšší. (Dolanský, 2004)

### **2.4.3 Lineární predikce (statistická interpolační metoda)**

Dalším možným způsobem filtrace laserových dat je použití metody nejmenších čtverců, kdy v rámci aplikace tohoto algoritmu jsou definovány vazby každého bodu s každým. Následně jsou pro každý bod vypočítány odchylky od přibližného průběhu terénu. Vypočítané odchylky jsou podkladem pro určení vah, například váha 1 je přiřazena bodu pod úrovní přibližného terénu a váha 0 je přiřazena bodu vysoko nad uvažovaným terénem. V dalším kroku je určen nový průběh terénu se zohledněním nově určených vah. Jedná se o iterační postup, který je opakován tak dlouho, dokud nejsou všechny body klasifikovány (body na terénu nebo body mimo terén – ostatní). Z hlediska velkého množství bodů v jednom měření musí být tato metoda aplikována na menší samostatné skupiny bodů. (Dolanský, 2004)

## **2.5 Klasifikace dat**

V praxi pracujeme nejčastěji s tzv. obrácenou úlohou DPZ – na základě naměřených hodnot se snažíme zjistit nějakou informaci o vlastnostech snímaného povrchu. Cílem je stanovit podobu tzv. přenosové funkce – funkčního vztahu mezi naměřenými hodnotami a parametry snímaného objektu. Na základě znalosti tohoto vztahu pak

můžeme rozlišovat různé typy povrchů a rozřazovat do tříd právě podle těchto parametrů. Tento proces se nazývá klasifikace.

Při klasifikaci je nezbytné definovat klasifikační pravidla. Podle kterých bude rozdělení do jednotlivých tříd. Při sestavování klasifikačních pravidel se vychází z příznaků. Tyto příznaky jsou typickými projevy chování dané třídy objektů. Příznaky rozdělujeme do několika skupin:

- a) *Spektrální příznaky* – jsou nejčastěji používané, souvisí se spektrálním chováním jednotlivých objektů (např. kolik záření dané vlnové délky odráží povrch A a kolik povrch B)
- b) *Prostorové příznaky* – jsou spojeny se změnou souřadnic X, Y. Řešíme typická sousedství a topologické vazby (např. povrch A se vždy nachází v sousedství povrchu B)
- c) *Časové příznaky* – sledujeme změnu vlastností povrchu v čase

Vlastní rozdělení obrazu do tříd může být provedeno dvěma způsoby:

- a) *Klasifikace* – je proces rozdělení do tříd a bývá provedena pomocí počítačového algoritmu, kdy je každý pixel zařazen do nějaké třídy podle předem nadefinovaných pravidel.
- b) *Interpretace* – rozdělení do tříd je provedeno na základě vizuálního sledování obrazu na základě vlastních zkušeností (neřešíme pixel po pixelu, ale řešíme jednotlivé objekty).

Nelze jednoznačně říct, který postup je lepší. Klasifikace je rychlejší a dokáže rozlišit i rozdíly, které lidské oko nemá šanci postřehnout. Při interpretaci můžeme pracovat pouze se třemi kanály najednou, přesto je však interpretace často přesnější než klasifikace. Při interpretaci bereme v úvahu především barvu objektu, ale zároveň bereme v úvahu i jiné parametry (jako je tvar objektu, sousedství jednotlivých tříd apod.) – to klasická klasifikace neumí (klasická klasifikace bere v úvahu pouze hodnoty jednotlivých pixelů, tedy spektrální příznaky). Interpretace je vždy časově výrazně náročnější než klasifikace – u velkých snímků je v praxi nepoužitelná.

### **2.5.1 Metody klasifikace**

Klasifikaci můžeme rozdělit podle metody na:

- a) *Pixelovou klasifikaci* – klasifikační pravidlo aplikujeme na každý pixel bez ohledu na hodnoty sousedních pixelů obrazu
- b) *Objektovou klasifikaci* – z pixelů jsou nejprve vytvořeny objekty (skupiny pixelů), které jsou pak k jednotlivým třídám přiřazeny jako celek

Pixelovou klasifikaci můžeme rozdělit na:

- a) *Řízenou* – třídy, do nichž chceme obraz rozdělit, máme předem definovány – přiřazení jednotlivých pixelů je pak provedeno na základě vybraných reprezentativních příkladů jednotlivých tříd
- b) *Neřízenou* – obraz je roztříděn na shluky navzájem si podobných pixelů, kterým my následně přidáme věcný význam (v podstatě řekneme co je co)

### **2.5.1.1 Řízená klasifikace**

Řízená klasifikace je založená na tom, že víme, jaké třídy chceme v obraze najít. Tyto třídy nalezneme tak, že v obraze manuálně vybereme jejich reprezentativní příklady – trénovací množiny. Softwarový klasifikátor identifikuje, jaké hodnoty těmto třídám v jednotlivých spektrálních kanálech náleží. Dál je obraz brán pixel po pixelu, přičemž jsou sledovány jeho hodnoty v jednotlivých spektrálních kanálech, na základě nichž je daný pixel zařazen do některé z definovaných tříd.

### **2.5.1.2 Neřízená klasifikace**

Neřízená klasifikace je založena na tom, že pixely automaticky rozdělíme do několika skupin podle vzájemné podobnosti a těmto skupinám pak následně přiřadíme věcný význam (co je vodní plocha, co je les, atd.)

Neřízená klasifikace vychází z teorie shlukové analýzy – hluky obsahují pixely, které jsou si svými hodnotami navzájem podobné (leží blízko sebe), ale zároveň jsou jednoznačně odlišeny od pixelů ostatních shluků

### **2.5.1.3 Objektová klasifikace**

Objektová klasifikace leží někde mezi klasickou (pixelovou) klasifikací a interpretací – snaží se automaticky nahradit vizuální interpretaci. Výhodou je, že kromě spektrálních přívanů můžeme pracovat i s texturami, vzájemnými polohovými vztahy nebo s geometrickými charakteristikami jednotlivých objektů. Nevýhodou je to, že objektová klasifikace je programově náročnější a i při její aplikaci je do ní nutné často zasahovat – není zcela automatická.

Objektová klasifikace má hierarchický charakter. Objekty jsou tvořeny na více úrovních. Platí pravidlo, že objekt na vyšší úrovni se musí skládat z celého počtu objektů nižší úrovně.

Výhodou objektové klasifikace je to, že pravidla z jednotlivých skupin mohou vzájemně propojovat logickými operátory ANO, OR nebo XOR. Pravidlo pro rozdělení do tříd může vypadat slovně například takto: *do třídy přiřad' objekty, které mají*

průměrnou hodnotu odrazivosti ve spektrálním kanále 1 vyšší než  $X$  a zároveň je hodnota podílu spektrálních kanálů 1 a 2 menší než 0,5 a zároveň je poměr jejich délky a šířky vyšší než 5 a zároveň jsou zcela obklopeny objekty, které byly v předchozím kroku klasifikace klasifikovány jako třída B.

Příznaky, které popisují vlastnosti jednotlivých objektů, se nazývají objektové příznaky, které můžeme rozdělit do několika skupin:

- a) *Primární příznaky* – průměrná hodnota odrazivosti v daném spektrálním kanálu pro daný objekt
- b) *Sekundární příznaky* – jsou odvozeny z příznaků primárních – různé poměry kanálů, indexy apod.
- c) *Tvarové příznaky* – řeší geometrické charakteristiky objektů – například vyhledávání liniových objektů pomocí výpočtu poměru délka/šířka objektu, kulatost objektu apod.
- d) *Texturální příznaky* – výpočet tzv. texturální míry – směrodatné odchylky jednotlivých odstínů. V podstatě jde o to, že vyšetřujeme, jak často se v určitém směru vyskytuje daná kombinace odstínů (Haralik), což je početně velmi náročné.
- e) *Relační příznaky* – řeší vzájemné prostorové vztahy mezi objekty – např. sousedství nebo to, zda daný objekt je zcela obklopen objekty jiné třídy či nikoli. V jiném případě může jít rovněž o sledování vztahů mezi jednotlivými úrovněmi segmentace.

*Fuzzy logická klasifikace* - Počítá s určitou mírou nejistoty v přiřazení k dané třídě. Přiřazení ke třídě je omezeno určitými prahy. Bez fuzzy logiky budou všechny hodnoty mezi těmito prahy (mezi jakousi minimální a maximální přípustnou hodnotou) přiřazeny k dané třídě, se zavedením fuzzy logiky zavádíme ještě funkci pravděpodobnosti. Příklad: Například víme, že do dané třídy patří objekty s hodnotou mezi P1 a P2, ale zároveň také víme, že čím víc se hodnota blíží P2, tím je pravděpodobnost, že objekt k dané třídě patří, nižší.

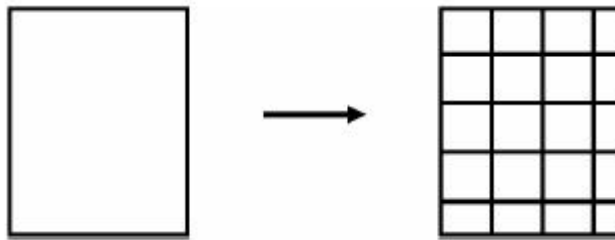
## 2.5.2 Segmentace

Segmentace je prvním krokem objektové klasifikace – vytvoření objektů o různých velikostech a tvarech.

Existuje celkem několik typů segmentací:

*Chessboard segmentation* – rozdělí obraz na síť pravidelných čtverců o stejné velikosti (viz obr. 8). V jednom čtverci mohou být různé typy povrchu – při použití

čtverců o rozloze několika desítek pixelů dochází k vytvoření silně nehomogenních objektů. (eCognition, 2009)



**Obr. 8 Chessboard segmentation** (zdroj: eCognition, 2009)

*Quadd tree segmentation* – segmentace shora. Obraz je dělen na čtverce různé velikosti (viz obr. 9). Velkým homogenním oblastem odpovídají velké čtverce a naopak silně nehomogenní oblasti jsou reprezentovány malými čtverci. Objekty jsou sice homogenní, ale tvarově jsou velmi nepřirozené.



**Obr. 9 Quadd tree segmentation** (zdroj: eCognition, 2009)

*Multiresolution segmentation* – segmentace zdola. Snaží se dosáhnout kompromisu mezi spektrální a tvarovou homogenitou (viz obr. 10) – před zahájením segmentace se vždy nastavují váhy spektrální a tvarové homogenity. Určujeme, zda víc záleží na přirozenosti tvarů objektů nebo na jejich spektrální homogenitě.



**Obr. 10 Multiresolution segmentation** (zdroj: eCognition, 2009)

## 2.6 Družicová data

V posledních desítkách let rostl (a tento trend neustále pokračuje) význam dálkového průzkumu Země s využitím družicových systémů pro monitorování v oblasti hospodářství, mapování území, přírodních katastrof, změn zemského povrchu atd. Tento růst významu by nebyl možný bez technologického vývoje v oblasti DPZ, který je přestavován rostoucím počtem komerčních družic, který se v dnešní době pohybuje v řádu desítek kusů. Družicové snímky umožňují aktuální sledování (mapování) rozsáhlých území v poměrně krátkém čase. Data jsou dostupná v řádech hodin až dnů. Kromě klasických družicových snímků lze získat i specifická data, kterými jsou například hyperspektrální či radarové snímky. (Horňáková, 2011)

### ***Družicová data malého a středního prostorového rozlišení***

Prostorové rozlišení družicových senzorů s malým rozlišením se pohybuje v řádu 1 km a pro senzory se středním rozlišením v řádu 100 m. Data jsou pořizována v intervalu jednoho až několik dní, a to pouze v multispektrálním režimu (3 spektrální pásma ve viditelném záření a jedno pásmo v oblasti infračerveného záření). Takovéto snímky jsou vhodné pro mapování v měřítku 1:1 000 000. Využití tohoto typu družicových dat je pro globální a kontinentální mapování, sledování stavu a vývoje vegetace, sněhové pokrývky, atmosféry a oceánů či monitorování rozsáhlých přírodních katastrof. Do této kategorie patří například Meteosat, Goes, NOAA, OrbView 2, Modis, Meris atd. (Horňáková, 2011)

### ***Družicová data vysokého prostorového rozlišení***

Mezi družicové systémy pořizující data vysokého rozlišení patří Landsat 5, Landsat 7, SPOT, Terra, Aqua a další. Prostorové rozlišení takovýchto dat se pohybuje mezi 5 až 30 m. Velmi často jsou data pořizována jak v panchromatickém, tak multispektrálním režimu v intervalu zhruba několika dní. Uplatnění nacházejí pro mapování v měřítku 1:100 000 až 1:25 000, dále pro regionální mapování, geologické mapy, sledování lesní těžby, sledování stavu a vývoje vegetace, tvorbu DMT, monitorování rozvoje měst. (Horňáková, 2011)

### ***Družicová data velmi vysokého prostorového rozlišení***

Prostorové rozlišení tohoto typu dat se pohybuje v řádech jednotek metrů, data jsou pořizována v panchromatickém a multispektrálním režimu. Lze použít metodu pansharpeningu neboli zaostření multispektrálního snímku snímkem panchromatickým. (Horňáková, 2011)

Družice pořizující data velmi vysokého rozlišení se vrací na stejné místo zemského povrchu v intervalu 1 – 3 dní a lze je získat z prakticky jakéhokoliv území. Využití nachází především v podrobném mapování, při tvorbě 3D modelů, precizním zemědělství, mapování dopravních sítí atd. Díky vysokému prostorovému rozlišení je možné mapovat i detaily, jako osobní automobily, lodě, budovy a umožňují rozlišit i různé druhy zástavby. Do této kategorie patří následující družice – Ikonos, OrbView, Formosat, GeoEye, QuickBird a další. (Hornáková, 2011)

### **QuickBird**

Družice byla vypuštěna 18.10.2001 na oběžnou dráhu Země ve výšce 450 km patřící společnosti DigitalGlobe (viz obr. 11). Stalo se tak po startu rakety Delta II z vojenské základny Vandenberg v Kalifornii. Družice dodává vysoce kvalitní data pro široké spektrum aplikací od mapování jakéhokoliv místa na světě přes ohodnocování pozemků až po využívání v pojišťovnictví. (Gisat, 2012)

Rozlišení družice je 60 pixelů, což je jedno z nejlepších rozlišení, jaké může komerční systém nabídnout. Družice se může celá natáčet jak v rovině letu, tak i napříč dráhou o úhel 25 stupňů. To se projevuje 544 km širokým pásmem na zemském povrchu, ve kterém se může provádět měření a schopností pořizovat stereoskopické scény ve směru letu. Rozlišení panchromatických dat se pohybuje v rozmezí od 60-ti cm při měření v nadiru do 72 cm ve směru pozorování 25 stupňů. V multispektrálním módu jsou data pořizována s rozlišením 2,4 – 2,8 m. Velikost scény je zhruba 16,5 km x 16,5 km. (Gisat, 2012)



**Obr. 11 QuickBird** (zdroj: [spaceflightnow.com](http://spaceflightnow.com), 2012)

### 3 Metodika

Modelové území bylo vybráno v zázemí Prahy. Důvod tohoto výběru je ten, aby bylo možné ověřit výsledky klasifikace pomocí terénního průzkumu (dostupnost místa) a aby se na daném území nacházelo co nejvíc typů zástavby – od velkoplošných továrních (skladištních) hal po zástavbu vesnického charakteru.

#### ***Modelové území***

Obec Jirny se nachází v okrese Praha – východ u stejnojmenného sjezdu z dálnice D11. Obec je situována přibližně 22 kilometrů východně od centra Prahy a 9 kilometrů od města Brandýs nad Labem – Stará Boleslav. Skládá se ze dvou fyzicky oddělených částí (Jirny a Nové Jirny). Vzdálenost mezi těmito dvěma částmi je zhruba 1,5 km. Tvar půdorysu obce připomíná hvězdicu, ze které vycházejí komunikační směry paprscitě na všechny strany. (Obec Jirny, 2011)

První písemná schránka pochází z roku 1307. Na rozdíl od většiny okolních obcí, které svůj rozvoj založili na podpoře a výstavbě kolonií rodinných domků, Jirny nedovolily neregulovaný růst těchto tzv. satelitních městeček. Nabídly však území svého katastru, které od zástavby odděluje dálnice D11, pro stavbu velkokapacitních skladišť. Nachází se zde skla obchodních řetězců Penny Market s.r.o. a Globus, překladiště DHL a středoevropské distribuční centrum hraček Lego. Jirny tak využili blízkost dálnice D11 ve prospěch příjmů z komerční činnosti a lokální zaměstnanosti. Výstavba nových rodinných domků probíhá v omezené míře, především na východě a jihozápadě obce. (Obec Jirny, 2011)

#### **3.1 Použitá data**

##### **Laserová data (Full-waveform)**

Diplomová práce je zpracována na laserových datech, která vznikají v rámci Projektu tvorby nového výškopisu území České republiky a jsou pořizovaná Zeměměřičským úřadem ve spolupráci s Ministerstvem obrany a Ministerstvem zemědělství. Projekt probíhá od roku 2009 a bude pokračovat až do roku 2012, respektive do roku 2015, kdy by měly být dokončeny všechny výsledné modely a výstupy tohoto projektu. Cílem tohoto projektu je zajistit novou a kvalitní geografickou datovou strukturu, která bude jednotná a standardizovaná pro celé území České republiky pro potřeby orgánů státní správy, orgánů územní samosprávy i pro mezinárodní veřejné účely ve smyslu zásad a požadavků evropské směrnice INSPIRE. Data jsou pořízena skenerem RIEGL LMS-Q560. (Brázdil, 2010)



## **Družicová (obrazová) data**

Družicová (obrazová) data byla nasnímána senzorem umístěným na platformě QuickBird (QB). Jedná se o takzvaný VHR senzor (Very High Resolution) neboli senzor s vysokorozlišovací schopností. Rozlišení multispektrálních snímků QB je 2,4 m, což představuje jedno z nejlepších, v současné době dostupných, prostorových rozlišení. QB snímá multispektrálně zemský povrch celkem ve 4 pásmech: Blue, Green, Red, NIR (Near Infrared – blízké infračervené pásmo) a panchromaticky v jednom pásmu, přičemž rozlišení panchromatických snímků činí 0,6 m. (Gisat, 2012)

Zájmová (klasifikovaná) území mají charakter příměstské krajiny, nejedná se tedy o čistě městský a ani o čistě vesnický charakter území, ale o jejich přechod - jsou zde zastoupeny prvky z obou typů území. Tento typ území se vyznačuje poměrně vysokou variabilitou a rozmanitostí: od lesů, vodních ploch a polí, přes řídkou i hustou zástavbu, až po průmyslové komplexy a vysokorychlostní komunikace. To znamená, že půdní pokryv je z hlediska segmentace poměrně členitý a je reprezentován jak velkými homogenními celky, tak i velmi malými objekty. A právě pro účely klasifikace takového typu půdního pokryvu jsou snímky pořízené vysokorozlišovacím senzorem QB ideální, jelikož na nich lze poměrně snadno (vizuálně) odlišit od sebe jednotlivé typy objektů: zástavba, silnice, vegetace, atd.

### **Software**

Při zpracování diplomové práce byl využit software PCI Geomatica 9.1 (ortorektifikace a zaostření multispektrálního snímku snímkem panchromatickým – pansharpening, ověření přesnosti), ArcGIS 9.3 (vytvoření pomocné vrstvy a transformace souřadných systému družicových snímků), eCognition Developer Trial 8.0.0 (omezená funkčnost – vytvoření tréninkové klasifikační báze) a eCognition Developer 8.0.0 (segmentace a výsledná klasifikace – výsledná klasifikační báze).

#### **3.1.1 Přezpracování družicových dat**

Celkem bylo použito několik multispektrálních a panchromatických snímků QB, které byly pořízeny dne 21.4.2007 (10:25). Tyto snímky bylo nutné nejdříve pospojovat tak, aby bylo pokryto celé zájmové území, což znamená vytvoření mozaiky. Všechny snímky, mezi kterými nejsou žádné překryvy nebo mezery, jsou uloženy ve formátu \*.tiff, přičemž ke každému souboru (snímku) je přiřazen soubor ve formátu \*.tfw, který obsahuje informace o umístění daného snímku v souřadném systému. Proto mohou být snímky spojeny rovnou do jedné mozaiky. Rovněž nebylo nutné díky absenci

překryvů se zabývat barevným vyrovnáním. Snímky byly mozaikovány v původním rozlišení, což bylo vzhledem k jejich vysokému rozlišení časově velmi náročné.

Následným krokem byla transformace výsledných mozaikovaných snímků (multispektrální a panchromatický). Snímky byly transformovány do souřadného systému S-JTSK pomocí polynomické transformace. Celkem bylo nasbíráno 12 identických vlíčovacích bodů, přičemž k vlastnímu transformování snímku byla použita polynomická transformace 3. stupně. Co se týká přesnosti transformace, v případě multispektrálního snímku činila nejvyšší odchylka 0,99 m a v případě panchromatického snímku 0,69 m. U obou snímků bylo zachováno původní rozlišení (u multispektrálního 2,4 m a u panchromatického 0,6 m). Pro tvorbu výsledných snímků byla použita metoda bilineární transformace.

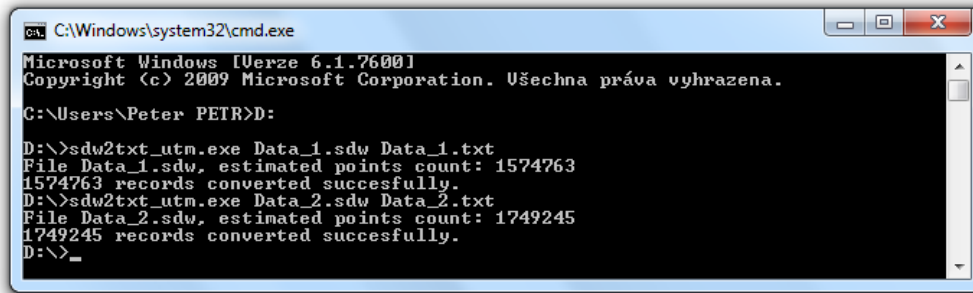
V následujícím kroku byl proveden takzvaný pansharpening, tedy spojení panchromatického a multispektrálního snímku do jednoho výsledného snímku s rozlišením 0,6 m. Všechny doposud uvedené kroky byly provedeny pomocí softwaru PCI Geomatica 9.1.

V posledním kroku byl snímek přizpůsoben laserovým datům – transformace do souřadného systému WGS 84, UTM 33 Northern Hemisphere, Transverse Mercator s rozlišením 1 m. Pásma byla exportována jednotlivě kvůli 8 bit datovému výstupu. Rozlišení a datová velikost výstupního souboru byla přizpůsobena datům laserovým, jelikož ta jsou určena jako primární. Jednotlivá pásma obrazových dat jsou pak použita jako pomocné vrstvy pro pozdější segmentaci a klasifikaci v prostředí programu eCognition.

### **3.1.2 Předzpracování laserových dat**

Aby bylo možné laserová data použít, bylo nutné je zpracovat pomocí sady konvertorů (nástrojů), tzv. LAStools (LAStools, 2012). Data jsou nasnímána v souřadném systému WGS 84, UTM 33 Northern Hemisphere, Transverse Mercator. Aby byla pokryta co největší část zájmového území, bylo použito celkem 8 samostatných datových souborů laserových dat.

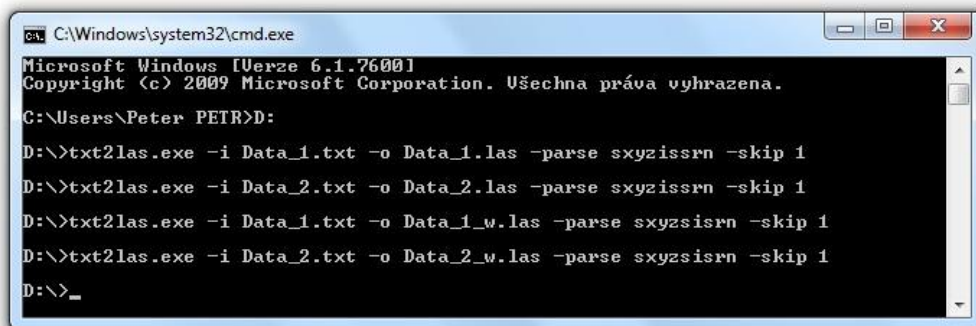
V prvním kroku byl použit nástroj, pomocí kterého byla provedena transformace originálního formátu laserových dat *.sdw* do formátu *.txt* – nástroj *sdw2txt\_utm.exe* (viz obr. 12).



```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Verze 6.1.7600]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Všechna práva vyhrazena.
C:\Users\Peter PETR>D:
D:\>sdw2txt_utm.exe Data_1.sdw Data_1.txt
File Data_1.sdw, estimated points count: 1574763
1574763 records converted succesfully.
D:\>sdw2txt_utm.exe Data_2.sdw Data_2.txt
File Data_2.sdw, estimated points count: 1749245
1749245 records converted succesfully.
D:\>_
```

**Obr. 12 Transformace dat z formátu .sdw do formátu .txt**

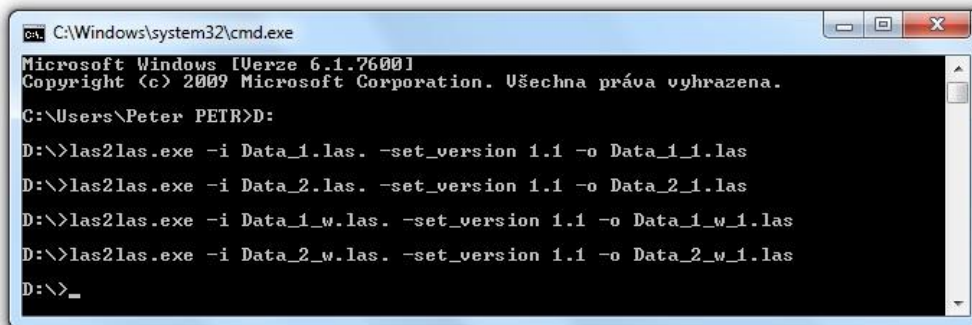
V dalším kroku bylo zapotřebí transformovat soubor z textového formátu do formátu .las – nástroj txt2las.exe (viz obr. 13). Z každého textového souboru byly vygenerovány dva nové .las soubory. Oba soubory mají společné polohové informace (X, Y, Z) a informace o čísle a pořadí odrazu. Liší se však v tom, že jeden soubor obsahuje informaci o intenzitě signálu a druhý soubor obsahuje informaci o šířce signálu - důvodem jsou omezené možnosti použité verze programu eCognition. Nepotřebné informace byly odfiltrovány (např. zaznamenaný čas jednotlivých odrazů). Při dalším zpracování dat v programu eCognition proběhne syntéza těchto datových souborů.



```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Verze 6.1.7600]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Všechna práva vyhrazena.
C:\Users\Peter PETR>D:
D:\>txt2las.exe -i Data_1.txt -o Data_1.las -parse sxyzissrn -skip 1
D:\>txt2las.exe -i Data_2.txt -o Data_2.las -parse sxyzissrn -skip 1
D:\>txt2las.exe -i Data_1.txt -o Data_1_w.las -parse sxyzisrn -skip 1
D:\>txt2las.exe -i Data_2.txt -o Data_2_w.las -parse sxyzisrn -skip 1
D:\>_
```

**Obr. 13 Transformace dat z formátu .txt do formátu .las**

Jelikož použitá verze softwaru eCognition nepodporuje formát souboru .las 1.2, bylo zapotřebí použití dalšího nástroje, který transformuje soubory laserových dat do formátu .las 1.1 – nástroj las2las.exe (viz obr. 14). Tato transformace proběhla na všech souborech zvlášť.

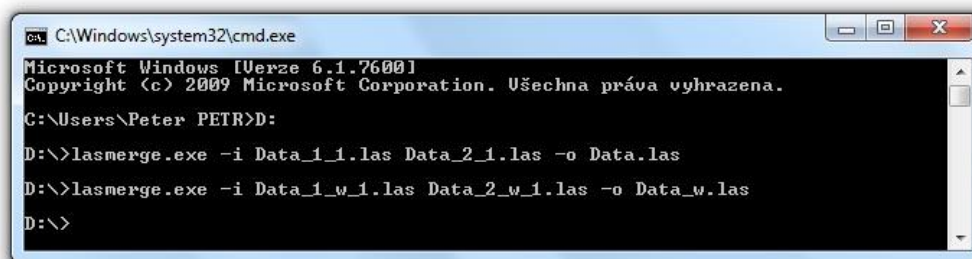


```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Verze 6.1.7600]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Všechna práva vyhrazena.

C:\Users\Peter PETR>D:
D:\>las2las.exe -i Data_1.las. -set_version 1.1 -o Data_1_1.las
D:\>las2las.exe -i Data_2.las. -set_version 1.1 -o Data_2_1.las
D:\>las2las.exe -i Data_1_w.las. -set_version 1.1 -o Data_1_w_1.las
D:\>las2las.exe -i Data_2_w.las. -set_version 1.1 -o Data_2_w_1.las
D:\>_
```

**Obr. 14 Transformace dat do formátu .las 1.1**

Následně pomocí nástroje lasmerge.exe (viz obr. 15) došlo ke spojení jednotlivých datových souborů tak, aby byla pokryta co největší plocha zájmového území. Velikost zájmového území je limitována plochou družicových (obrazových) dat.

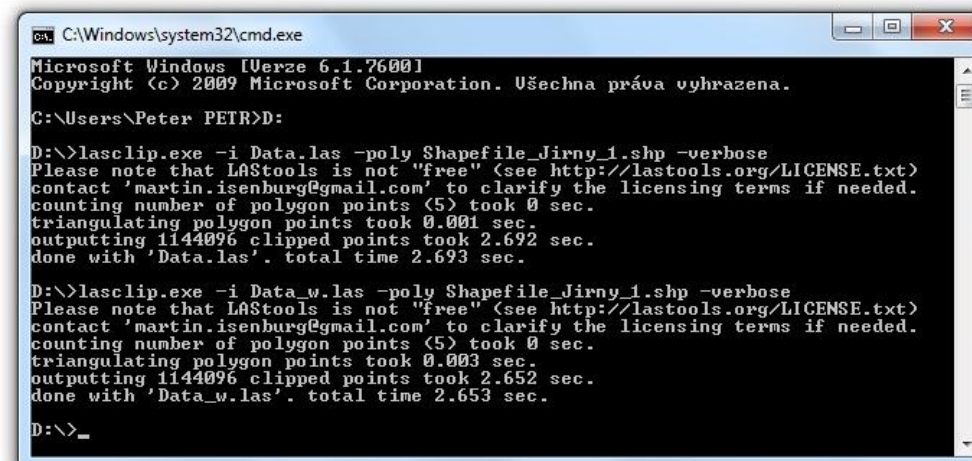


```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Verze 6.1.7600]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Všechna práva vyhrazena.

C:\Users\Peter PETR>D:
D:\>lasmerge.exe -i Data_1_1.las Data_2_1.las -o Data.las
D:\>lasmerge.exe -i Data_1_w_1.las Data_2_w_1.las -o Data_w.las
D:\>
```

**Obr. 15 Použití nástroje lasmerge.exe**

V posledním kroku byly datové soubory oříznuy dle potřeby. K tomuto účelu byl použit nástroj lasclip.exe (viz obr. 16). Oříznutí proběhlo pomocí shapefilu, jehož vytvoření proběhlo v programu ArcGIS 9.3 nad zájmovým územím.



```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Verze 6.1.7600]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Všechna práva vyhrazena.

C:\Users\Peter PETR>D:
D:\>lasclip.exe -i Data.las -poly Shapefile_Jirny_1.shp -verbose
Please note that LASTools is not "free" (see http://lastools.org/LICENSE.txt)
contact 'martin.isenburg@gmail.com' to clarify the licensing terms if needed.
counting number of polygon points <5> took 0 sec.
triangulating polygon points took 0.001 sec.
outputting 1144096 clipped points took 2.692 sec.
done with 'Data.las'. total time 2.693 sec.

D:\>lasclip.exe -i Data_w.las -poly Shapefile_Jirny_1.shp -verbose
Please note that LASTools is not "free" (see http://lastools.org/LICENSE.txt)
contact 'martin.isenburg@gmail.com' to clarify the licensing terms if needed.
counting number of polygon points <5> took 0 sec.
triangulating polygon points took 0.003 sec.
outputting 1144096 clipped points took 2.652 sec.
done with 'Data_w.las'. total time 2.653 sec.

D:\>_
```

**Obr. 16 Použití nástroje lasclip.exe**

### 3.1.3 Tvorba pomocné vrstvy

Pro lepší (kvalitnější) klasifikaci byla vytvořena pomocná vrstva výšek (digitální model terénu) v programu ArcGIS 9.3 ze souboru laserových dat (X, Y, Z) a vrstvy ZABAGED, jejímž úkolem je odfiltrování výšky terénu a reprezentování terénních překážek. Ze souboru laserových dat (převedených do formátu *.txt*) byla pomocí funkce *Spline* vytvořena vrstva, která reprezentuje model zemského povrchu včetně všech terénních nerovností (vegetace a zástavba). Z datového souboru ZABAGED byla pomocí funkce *Topo To Raster* vytvořena vrstva, která reprezentuje model zemského povrchu bez pokryvu vegetace a bez zásahu lidské činnosti (bez budov, zářezů, náspů,...). Odečtením těchto vrstev pomocí funkce *Raster Calculator* vznikla pomocná vrstva s výškami budov a vegetace (viz obr. 17), která byla použita při pozdější klasifikaci v programu eCognition.



**Obr. 17** Pomocná vrstva s výškami budov a vegetace

## 3.2 Zpracování laserových dat

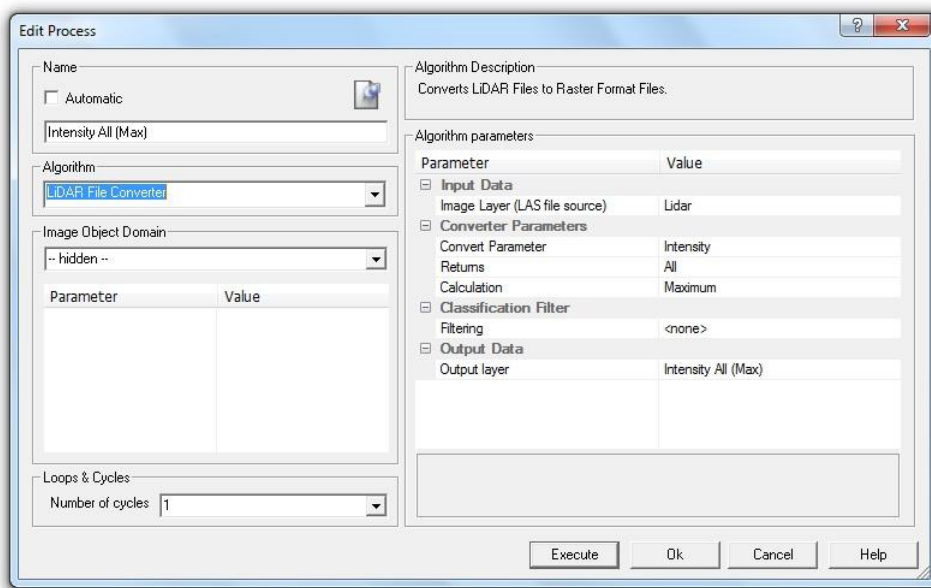
Při zpracování laserových dat byly vybrány dva samostatné nepřekrývající se pásy (vybrané pásy pouze sledují část shodného území). Pokud by se zpracovávala data z překrývajících se pásů, bylo by zapotřebí provést radiometrické vyrovnání hodnot intenzity (Kaasalainen et al., 2011), které avšak z časových důvodů a z důvodu nedostupnosti dat z laboratorních a exteriérových měření nebylo možné provést. Celkem byly zpracovávány dvě datové sady (vzniklé použitím nástrojů LAStools), které se liší směrem letu, ze kterých byla data nasnímána. První datová sada (Jirny 1) je zaměřena především na oblast zástavby komerčních ploch – průmyslových hal a povrchů v porovnání s klasickou příměstskou zástavbou. Druhá datová sada (Jirny 2) je zaměřená na samotné území příměstské rezidenční aglomerace.

Dále již bude popisována práce s jedním datovým souborem (Jirny 1), ve výsledcích a přílohách budou prezentovány obě datové sady.

### ***LiDAR File Converter***

Upravená laserová data byla do programu eCognition nahrána v optimálním rozlišení 1 m, zvláště pro amplitudu a zvláště pro šířku. Rozlišení 1 metr je z hlediska prostorové hustoty laserových bodů optimální. Následně byl aplikován stěžejná nástroj pro tuto diplomovou práci *LiDAR File Converter* (viz obr. 18), který transformuje *.las* soubory do rastrové podoby podle zvolených atributů za účelem získání různých vrstev, které obsahují požadované informace (Definiens, 2009). Tyto vrstvy jsou následně použity pro samotnou segmentaci a klasifikaci.

Pomocí tohoto nástroje byly vytvořeny čtyři rastry – intenzita, počet odrazů, nadmořská výška (prvního odrazu) a šířka, přičemž hodnota se vždy vztahuje k jednomu bodu = pixelu.

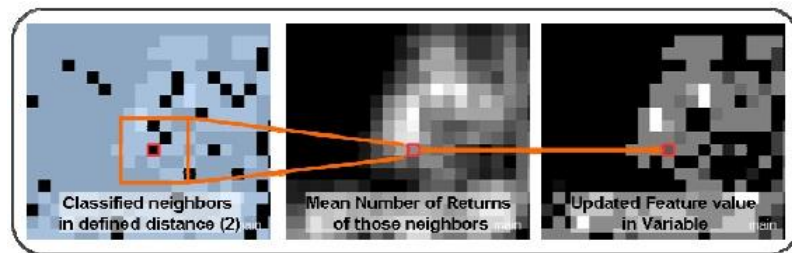


**Obr. 18 LiDAR File Converter**

### **3.2.1 Interpolace dat**

Jelikož nasnímané body nepokrývají celý povrch, vzniká kombinace bodů s hodnotou a bodů bez hodnoty. Důvodem toho chování dat je zvolené rozlišení 1 m a použití pouze jednoho pásu dat. Se snižujícím se rozlišením by bodů bez hodnoty samozřejmě ubývalo, avšak tím by i ubývala prostorová informace a došlo by ke zhoršování výsledků klasifikace. Po vyřešení tohoto problému bylo zapotřebí provést interpolaci – báze procesu na obrázku 20. Pokud by nebyla interpolace provedena, body s nulovou

hodnotou by po zpracování způsobili chybný výsledek procesu segmentace a i následné klasifikace. Proces interpolace je vysvětlen na obrázku 19. Hodnota nulového pixelu je vypočítána jako průměrná hodnota z bodů ve vzdálenosti 2 jednotek (matice o rozměrech 5 x 5 pixelů) od bodu s hledanou hodnotou (Definiens, 2009). Vypočítaná hodnota je poté dosazena do jednotlivých nulových bodů rastru a tím dochází k vyplnění prázdných míst (Definiens, 2009).



**Obr. 19 Použitá metoda interpolace (zdroj: Definiens, 2009)**



**Obr. 20 Báze procesu interpolace rastrových vrstev**

### 3.2.2 Chování laserových dat

V této kapitole bude popsáno chování laserových dat na objektech reálného světa metodou interpretace (vizuálního porovnávání). Chování laserových dat bude prezentováno pomocí rastrů vygenerovaných nástrojem *LiDAR File Converter*, jehož funkce byla popsána v předešlé kapitole. Dále budou popsána i data družicová – jaké typy spektrálních příznaků budou v následujících krocích použity.

Popisované rastry budou následující:

- a) Družicová data
- b) Výška zemského povrchu včetně terénních překážek
- c) Intenzita přijatého signálu
- d) Počet odrazů
- e) Šířka přijatého signálu

Všechny tyto rastry jsou následně použité pro segmentaci a pro klasifikaci.



## ***Družicová data***

Družicový snímek (viz obr. 21) se skládá celkem ze 4 pásem – modré (Blue), zelené (Green), červené (Red) a blízké infračervené pásmo (NIR). Pásmo vstupují do segmentačního i klasifikačního procesu. Radiometrické hodnoty jednotlivých pásem byly použity jako doplňující spektrální příznaky. Velkým přínosem má použití tzv. vegetačního indexu (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index), který kombinuje červené a blízké infračervené pásmo a počítá se podle níže uvedeného vzorce.

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

Vegetační index vyjadřuje vztah mezi odrazivostí v intervalu červené viditelné části spektra (600 – 700 nm) a v intervalu blízkého infračerveného pásmo (700 – 900 nm). Co se týká hlavních spektrálních vlastností vegetace, tak největší hodnoty odrazivosti se nachází právě v těchto dvou pásmech. NDVI index nabývá hodnot od -1 do 1 včetně. V ideálním případě hodnoty nad 0 přísluší vegetaci, zatímco hodnoty pod 0 odpovídají především objektům vytvořeným lidskou činností. Nejnižších hodnot avšak nabývají vodní plochy (absorpce záření daných vlnových délek).



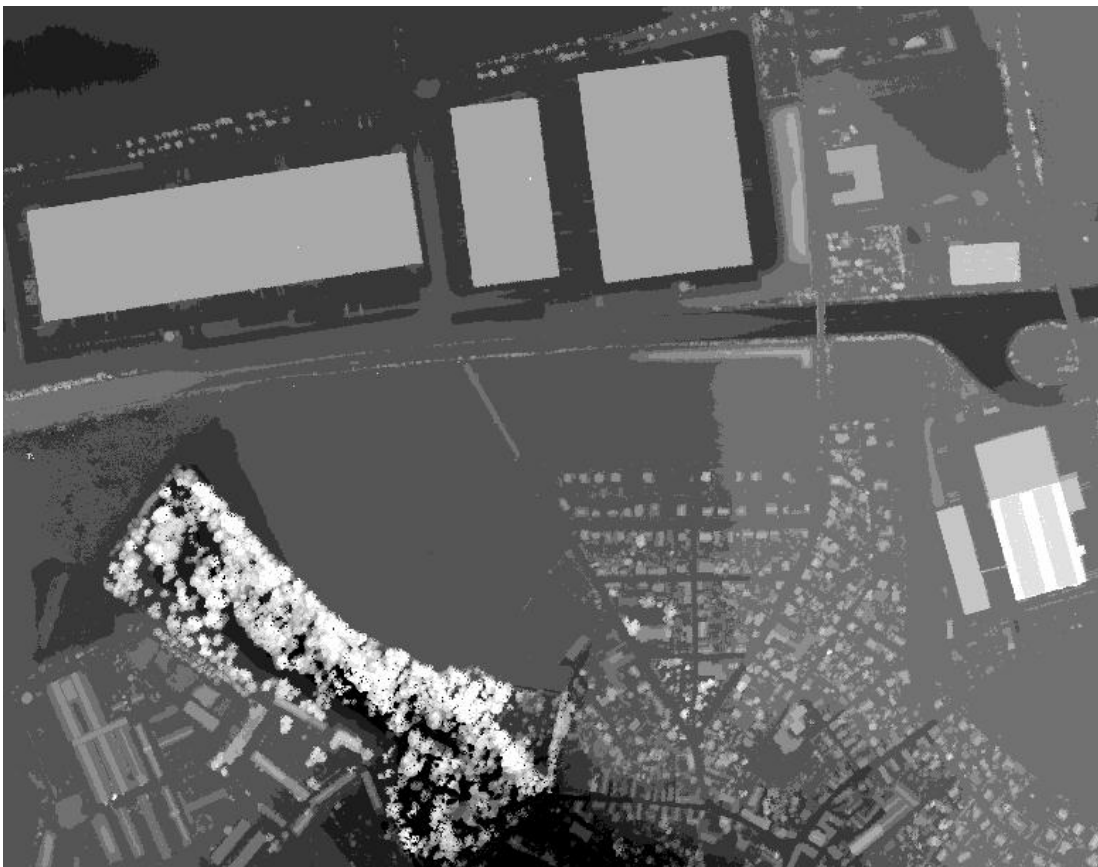
***Obr. 21 Družicová data***

### ***Výška zemského povrchu včetně terénních překážek***

Z laserových dat lze získat informaci o výšce odrazu (viz obr. 22), v případě této diplomové práce se jedná o výšku prvního odrazu. Výška je elipsoidická vztažená k elipsoidu WGS84 (globálně geocentrický geodetický systém pevně spojený se zemským tělesem) určenou pomocí přijímače GPS. Tato výška se liší od výšky nadmořské odečtené z mapy.

Na snímku lze vizuálně poměrně jednoduše rozlišit homogenní oblasti (konstantní hodnoty výšky) – zástavba (především oblast velkokapacitních skladišť) nebo oblasti rovinnatého terénu (pole, louky) a heterogenní oblasti (vysoká variabilita a proměnlivost hodnot) – vysoká vegetace. V klasifikačním procesu je tento rastr využit při primárním generování objektů zástavby a vzrostlé vegetace ve spojitosti s pomocnou vrstvou výšek, jejíž tvorba byla popsána v kapitole 3.1.3.

Získání informace o výšce patří mezi jednu z největších výhod laserového měření, která se pak dále používá při vytvoření digitálního modelu terénu nebo digitálního modelu reliéfu.



***Obr. 22 Výška zemského povrchu včetně terénních překážek (čím světlejší barva, tím větší výška)***

### ***Intenzita přijatého signálu***

Intenzita odražených paprsků je dána vlastnostmi povrchu, na který laserové záření dopadlo. Na obrázku 23 vidíme hodnoty intenzity, které jsou získány z odražených pulzů. Data jsou uložena v 8bitovém formátu, tzn., že hodnoty intenzity jsou zaznamenány v intervalu 0 až 255 (včetně).

Pouhým okem lze rozlišit jednotlivé objekty a typy zemského povrchu, tzn., že určitým typům zemského povrchu náleží určité hodnoty intenzity, které jsou charakteristické právě pro tento povrch. A právě tato závislost je jedním z hledaných aspektů, který bude popsán v následujících kapitolách.

Je zřejmé, že vysoké vegetaci budou odpovídat velmi nízké hodnoty intenzity (tmavé barvy), stejně tak jako asfaltovým povrchům. Naopak vysokým hodnotám (světlé barvy) odpovídají umělé povrchy střech, což bude podrobně rozebráno v následujících kapitolách. Jak již bylo popsáno dříve, laserové systémy využívají vlnovou délku v oblasti infračerveného záření, které je vodním prostředím absorbováno. Proto na vodních hladinách lze očekávat nejnižší hodnoty intenzity.



***Obr. 23 Intenzita přijatého signálu (barva odpovídá hodnotám rozsahu intervalu 0 – 255)***

### **Počet odrazů**

Díky své šířce a divergenci se laserový paprsek postupně odráží od jednotlivých vrstev objektů na zemském povrchu. Na obrázku 24 můžeme vidět, že tato vlastnost se nejvíce projevuje na vzrostlé vegetaci a hranách objektů (přírodních i umělých). Proto při mapování lesních ploch lze získat odraz od svrchní části koruny, tak i od jednotlivých pater a rovněž i od vlastního terénu (při použití v pořadí jiného než prvního odrazu).

Aby byly dva odrazy od sebe jednoznačně odlišeny, musí být mezi nimi dostatečný útlum signálu, zároveň mezi jednotlivými lokálními maximy signálu musí být dostatečný časový odstup. Komerční systémy jsou dnes schopné registrovat až 5 odrazů, nicméně v praxi se neměří více než 3 odrazy, stejně jako v případě dat použitých pro účely této diplomové práce.



**Obr. 24 Počet odrazů (čím světlejší barva, tím více odrazů, černá barva = 1 odraz)**

### ***Šířka přijatého signálu***

Šířka je druhým z příznaků full-waveform (prvním je intenzita). Na tvarově heterogenních objektech jsou hodnoty šířky vysoce proměnlivé, naopak na tvarově homogenních objektech jsou hodnoty šířky konstantní. Na obrázku 25 můžeme vidět rastr reprezentující hodnoty šířky na daném modelovém území.

Stejně jako v případě intenzity, tak i u šířky bude v následujících kapitolách popsána závislost hodnoty na typu, tvaru nebo směru povrchu.

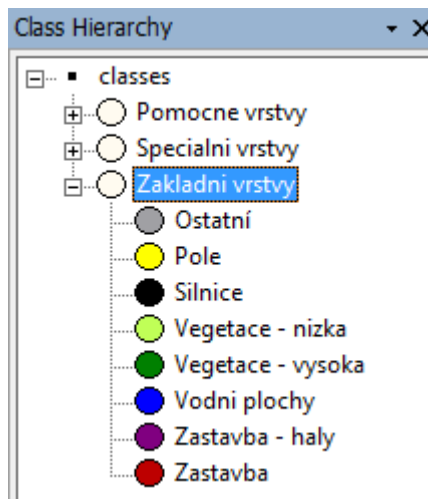


***Obr. 25 Šířka přijatého signálu (barva odpovídá hodnotám rozsahu intervalu 0 – 255)***

### **3.3 Klasifikace**

V této kapitole bude popsán a znázorněn vlastní postup segmentací a klasifikací, do kterých vstupují v předchozí kapitole popsané rastrové vrstvy. Při klasifikaci bude použito objektově orientovaného přístupu. Co se týká segmentace, tak v tomto ohledu dojde k využití dvou metod – Chessboard segmentation a Multiresolution segmentation. Klasifikace samotná pak bude probíhat na základě volby a nastavení prahových hodnot.

Klasifikační báze je rozdělena na dvě části. Jak můžeme vidět na obrázku 26, tak v první části (Klasifikace – základ) proběhne klasická klasifikace jednotlivých typů zemského pokryvu, jejímž hlavním cílem je získání třídy zástavby a silnic (zpevněné a nezpevněné povrchy). Tyto dvě třídy budou následně podrobně klasifikovány v druhé části klasifikační báze (Klasifikace – speciální).



**Obr. 26 Třídy první části klasifikace (Klasifikace – základ)**

### 3.3.1 Klasifikace - základ

První část základní klasifikační báze je navržena tak, aby došlo k vyselektování prostorově velmi výrazných homogenních celků zemského reliéfu - pole a louky a aby byly vytvořeny segmenty obsahující residenční zástavbu. Použitá metoda segmentace je Multiresolution segmentation, ve které je parametr velikosti segmentu nastaven na hodnotu 450, přičemž spektrální a tvarová homogenita je nastavena na hodnotu 50 %. Poměr vah jednotlivých homogenit byl testován s různými hodnotami, ale tvarově nejlepších (optimálních) výsledků je dosaženo právě s hodnotou 50 %. Do procesu této první segmentace vstupují pouze vrstvy obrazových dat. Při klasifikaci je následně použit příznak směrodatné odchylky blízkého infračerveného pásma a dříve vytvořená pomocná vrstva výšek.

Prahové hodnoty jsou nastavovány podle potřeby a než je dosaženo požadovaného a zároveň optimálního výsledku, je zapotřebí otestovat více hodnot. Hodnoty příznaků jednotlivých segmentů jsou zobrazeny v okně zvaném Image Object Information, ve kterém probíhá rovněž i zadání výpočtu aritmetické funkce NDVI.

Jak můžeme vidět na obrázku 27, tak po aplikaci první části klasifikační báze došlo k vyklasifikování rozsáhlých oblastí homogenních ploch – polí (žlutá barva) a také heterogenních ploch residenční zástavby (bílá barva), které budou podrobně

klasifikovány v následujících krocích. Identifikace rozsáhlých homogenních území má kromě rychlé klasifikace dané třídy pozitivní vliv také na to, že se zbavíme prostorově velmi výrazných území, která již dále nebudou vstupovat do žádného procesu segmentace a klasifikace. Tím bude další postup značně urychlen, jelikož zde platí přímá úměra – čím menší objekty (segmenty) chceme vytvořit, tím je kladen větší nárok na výpočetní techniku (softwarové řešení), což se velmi výrazným způsobem projevuje v časovém hledisku.

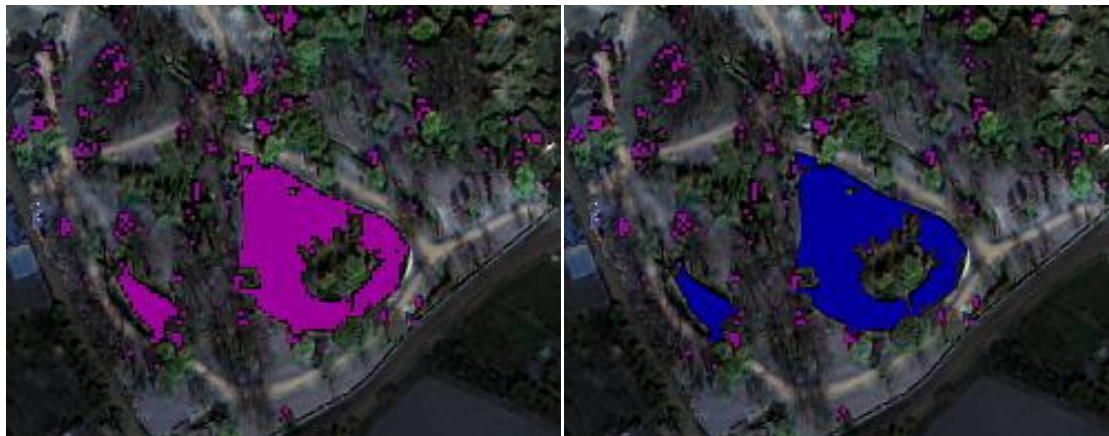


**Obr. 27 Klasifikované objekty polí (žlutě) a rezidenční zástavby (bíle)**

V druhé části základní klasifikace jsou zpracovávány plochy, které zůstaly nezařazeny do prvních dvou tříd (pole a rezidenční zástavba). Jedná se o oblasti velkých skladištních hal v okolí dálnice a ostatní plochy. V tomto kroku byla použita metoda Chessboard segmentation (velikost objektu = 1 pixel) a první klasifikovanou třídou jsou vodní plochy. Použitým příznakem je nulová hodnota blízkého infračerveného pásma a prahová hodnota zeleného pásma.

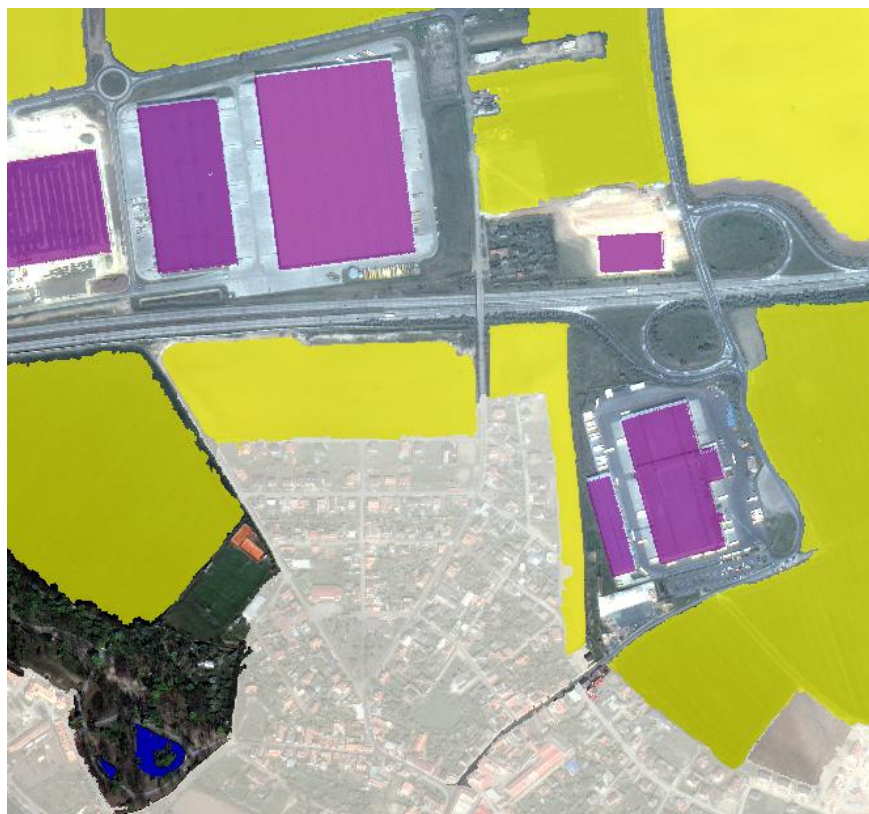
Použití metody Chessboard segmentation má své opodstatnění kvůli použití pomocné vrstvy výšek. V důsledku použití metody Chessboard segmentation probíhá klasifikace na úrovni jednotlivých pixelů. Tím dochází k zařazení všech pixelů nacházejících se v oblasti prahových hodnot (v oblasti intervalů mezi prahovými hodnotami) do dané třídy. Ve skutečnosti ale ne všechny tyto pixely do dané třídy patří.

Aby došlo k odfiltrování chybně zařazených pixelů, byla vždy nejprve použita pomocná třída, do které byly zařazeny všechny pixely v daném intervalu mezi prahovými hodnotami. Následně byly použity dodatečné příznaky (především tvarové) pro odfiltrování chybně zařazených pixelů (viz obr. 28).



**Obr. 28** Třída vodní plochy (modře), vpravo – před úpravou, vlevo – po úpravě

V druhé části základní klasifikace jsou rovněž klasifikovány velké skladištní haly (viz obr. 29 – fialová barva) a to s především s využitím příznaku výšky pomocné vrstvy výšek, s využitím příznaku NDVI a prostorovým příznakem počet pixelů.

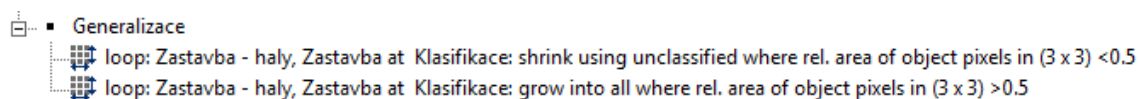


**Obr. 29** Klasifikace třídy zástavba – haly (fialově)



V třetí části základní klasifikace jsou podrobně klasifikovány oblasti rezidenční zástavby. Opět dochází k aplikaci Chessboard segmentation s velikostí odpovídající 1 pixelu. Klasifikace zástavby je jedním ze dvou hlavních cílů této kapitoly Klasifikace – základ, jelikož v následující kapitole Klasifikace – speciální bude probíhat podrobná klasifikace povrchů střech. Jako hlavní klasifikační příznak slouží opět výška pomocné vrstvy výšek, která byla vytvořená z naměřených laserových dat a příznak NDVI – výsledek vidíme na obrázku 31 vlevo. Jako pomocné příznaky pro odfiltrování chybně zařazených pixelů byly použity opět tvarové příznaky a příznak spektrálního zeleného pásma.

Takto generované objekty zástavby tvarově nejsou pořád vhodné k následující klasifikaci střech, jelikož vlivem použití daného typu segmentace vznikají různé přesahy nebo naopak „zálivy“. Proto je na jednotlivé objekty dodatečně aplikovaná část klasifikační báze s názvem Generalizace (viz obr. 30).



**Obr. 30 Tvarová úprava objektů zástavby**

Jedná se o úpravu tvaru objektů a to způsobem eroze drobných výstupků následovanou dilatací „zálivů“. Tvarové nepravidlosti jsou tím odstraněny a výsledek takto upravené třídy zástavby můžeme vidět na obrázku 31 vpravo.



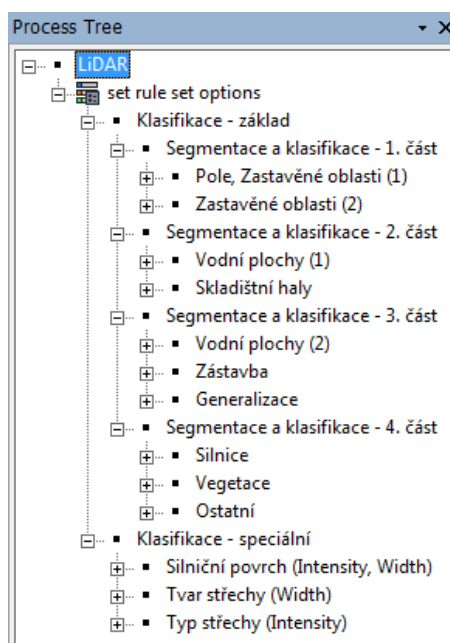
**Obr. 31 Vlevo – třída zástavba před úpravou, vpravo – třída zástavba po úpravě**

Ve čtvrté a zároveň poslední části základní klasifikace jsou klasifikovány třídy silnice, vegetace a ostatní. Na začátku této části klasifikace byla opět provedena segmentace metodou Chessboard segmentation.

Silnice (druhý hlavní cíl této části) jsou klasifikovány pomocí příznaku počtu odrazů vyslaného laserového paprsku a příznaku NDVI. Vycházíme z předpokladu, že komunikace jsou plochy bez jakékoli hrany, takže můžeme obdržet pouze jeden odraz. Hodnoty NDVI jsou očekávány v intervalu 0 až -1. Třída silnice je rovněž upravena pomocnými tvarovými příznaky a procesem generalizace tvaru (viz obr. 32). Tato třída je následně zpracována v další části klasifikace (Klasifikace – speciální), kde pomocí příznaků laserového měření bude zkvalitněna (zpřesněna).

Pro následnou klasifikaci třídy vegetace, resp. dvou tříd vegetace (nízká a vysoká) byla použita metoda Chessboard segmentation s velikostí segmentu 4 pixely (2x2 metry). Pomocí této segmentace (s následnou klasifikací) se dají rozeznat i osaměle stojící stromy (ověřeno pomocí družicových obrazových dat). Pokud by byla v tomto ohledu použita metoda Multiresolution segmentation, parametr velikosti by musel být nastaven na velmi malou hodnotu, což přináší mnohonásobně vyšší nároky na výpočetní techniku (zmíněno v úvodu této kapitoly). Velikost segmentu 4 pixely místo 1 pixelu byla zvolena z toho důvodu, že po klasifikaci vznikaly samostatné objekty vysoké vegetace, jejichž umístění bylo značně nepravděpodobné (například uprostřed polí – ověřeno pomocí družicových obrazových dat). Příznak pro vysokou vegetaci byl použit opět počet odrazů laserového paprsku (více než jeden odraz) a NDVI. Pro nízkou vegetaci byl použit příznak počet odrazů (jeden) a NDVI.

Na závěr byly neklasifikované plochy zařazeny do třídy ostatní. Patří sem ty pixely nebo objekty, které svými hodnotami „nezapadly“ ani do jedné z klasifikovaných tříd. Na obrázku 32 je znázorněn klasifikační strom – přehled jednotlivých kroků.



**Obr. 32 Klasifikační strom – přehled jednotlivých kroků klasifikace**

### 3.3.2 Klasifikace – speciální

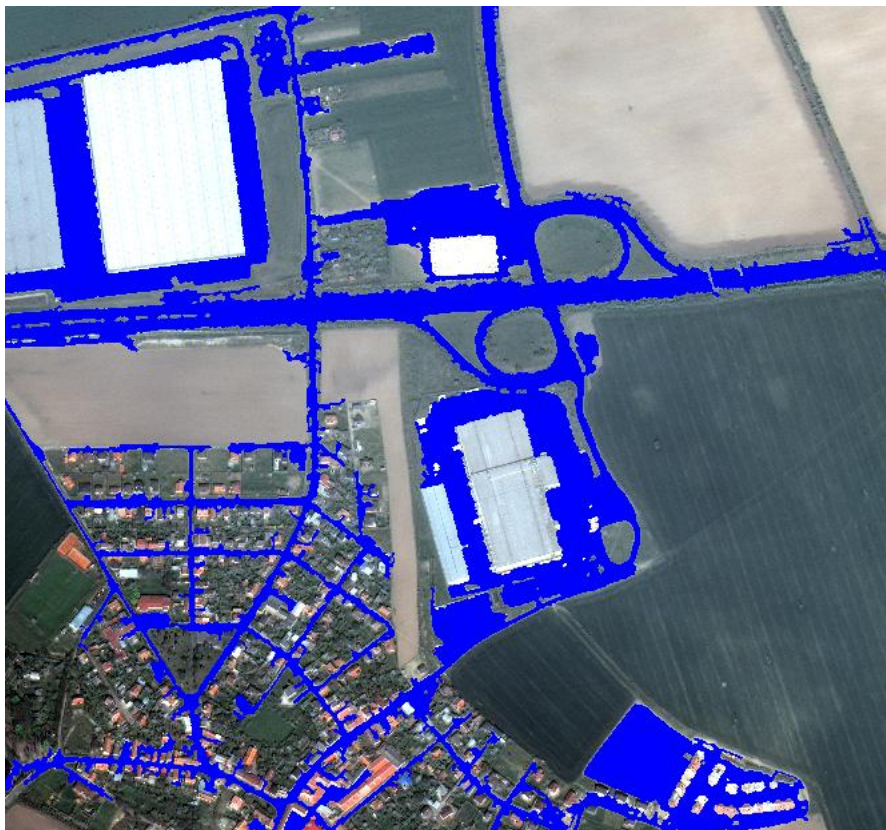
V další části tvorby klasifikační báze zvané *Klasifikace – speciální* budou vytvořeny celkem tři samostatné rastry dle zaměření klasifikace. Tyto rastry budou následující:

- Silniční povrch
- Tvar střechy (sklon a směr střechy)
- Typ střechy

Klasifikační báze jsou tvořeny především s pomocí příznaků metody laserového skenování full – waveform (intenzita a šířka). Tyto příznaky jsou použité jak jednotlivě, tak i kombinovaně. Pro zpřesnění tříd (filtrace nesprávně zařazených pixelů) bude rovněž použit příznak počet odrazů a v menší míře i spektrální příznaky.

#### ***Silniční povrch***

Při klasifikaci (zpřesnění) silničního povrchu se vychází z třídy silnice. Klasifikace proběhne na samostatné mapě, přičemž všechny ostatní třídy byly pro větší přehlednost odstraněny (viz obr. 33).

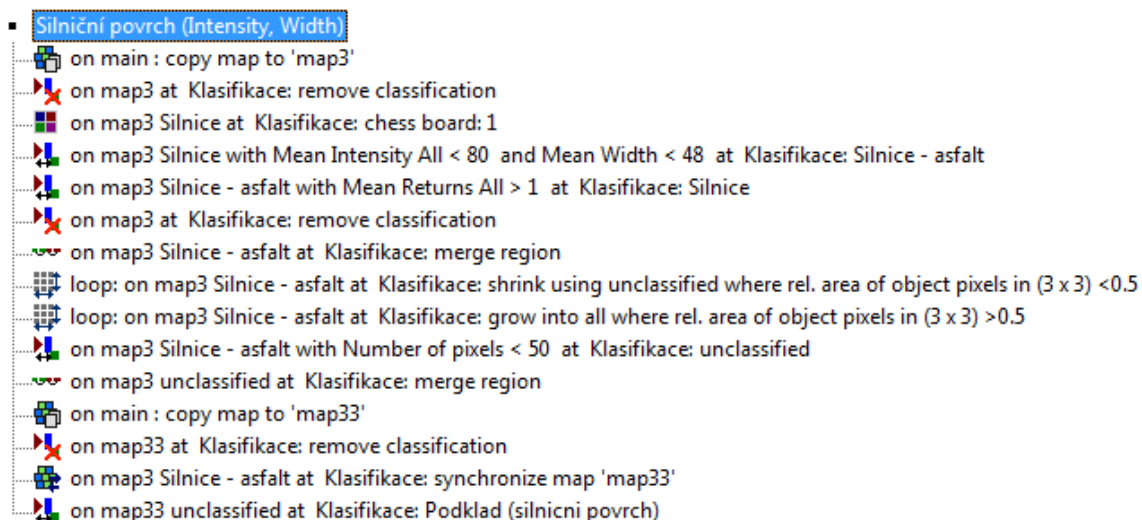


***Obr. 33 Třída silnice - výsledek základní klasifikace (modře)***

Jak můžeme na obrázku 33 vidět, třída silnice obsahuje veškeré typy komunikací, prašné povrchy nebo také různé typy nezpevněných ploch (včetně prašných terénních povrchů). Proto je jedním z cílů této diplomové práce zjistit, zdali mají příznaky získané z laserového měření určitý vliv na zpřesnění dané třídy, zdali je možné vyklasifikovat například asfaltové povrchy.

V prvním kroku byla použita metoda Chessboard segmentation s velikostí objektů 1 pixel. Použití této metody segmentace se jeví jako nejvhodnější vzhledem k tomu, že je zapotřebí zjistit i ty nejmenší rozdíly hodnot na velmi malých plochách (zpřesňujeme již jednou vyklasifikovanou třídu). Z toho důvodu je použití nejmenší možné velikosti objektu odpovídající 1 pixelu velmi vhodným řešením v nadcházejícím postupu.

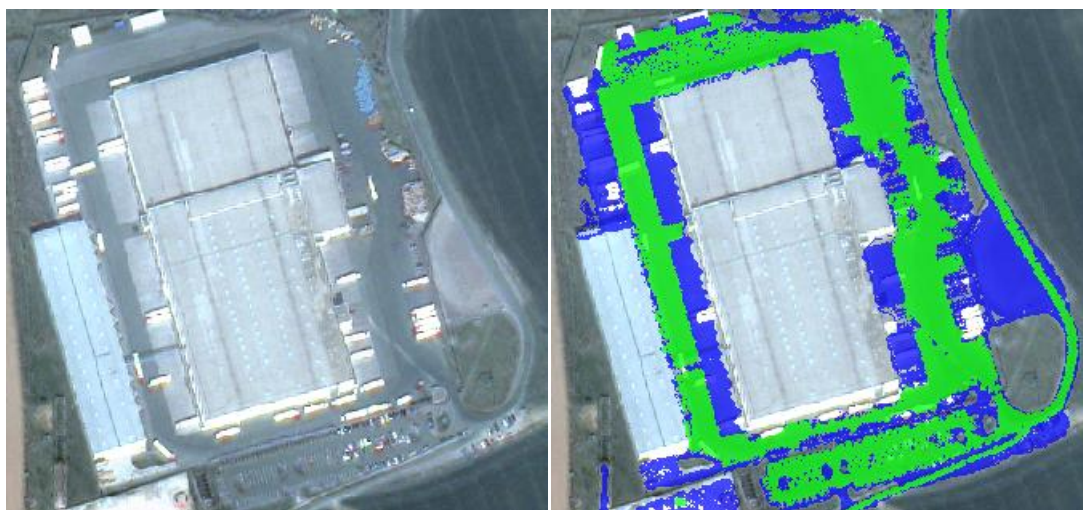
V druhém kroku proběhlo přiřazení objektů (pixelů) do třídy silnice – asfalt. Jedná se o třídu, která má reprezentovat pouze asfaltové povrchy. Použitými příznaky jsou intenzita a šířka s vhodně nalezenými prahovými hodnotami, což můžeme vidět na výběru z celkové klasifikační báze na obrázku 34. Tyto příznaky byly kombinovány, tedy použity společně. Daný pixel musí mít hodnotu intenzity v intervalu  $<0, 80$ ) a zároveň hodnoty šířky v intervalu  $<0, 48$ ). Nulové hodnoty však již byly předem vyloučeny. Čím vyšší prahové hodnoty nastavujeme (zvětšujeme rozsah intervalu), tím více pixelů je zařazeno do této třídy, čímž ale zároveň snižujeme přesnost klasifikované třídy. Naopak čím nižší hodnoty nastavujeme, tím je samozřejmě větší pravděpodobnost, že daný pixel bude skutečně reprezentovat danou třídu, ale na druhou stranu s nižší prahovou hodnotou bude přibývat nezařazených pixelů do dané třídy, které i ve skutečnosti reprezentují danou třídu. Proto je velmi důležité najít optimální „rovnováhu“ mezi těmito dvěma skutečnostmi. Tato rovnováha není předem specifikovatelná, pro každou třídu musí být nalezena zvlášť.



**Obr. 34 Klasifikační báze silniční povrchu (třída silnice – asfalt)**

Při klasifikaci třídy silnice – asfalt byl kromě výše zmíněných dvou příznaků rovněž použit příznak počtu odrazů. Použitím tohoto příznaku byly odfiltrovány ty pixely, které zaznamenaly víc než jeden odraz. Víc než jeden odraz z daného pixelu odpovídá terénní nerovnosti a tudíž se nemusí jednat vždy o silniční povrch.

Rozdíl mezi původně vyklasifikovanou třídou silnice a nově vyklasifikovanou třídou silnice – asfalt můžeme vidět na obrázku 35. Z tohoto obrázku je patrné, že nově vytvořená třída přináší výrazné zlepšení (zpřesnění) - je vidět rozdíl v kvalitě silničního povrchu, kdy tmavší povrchy odpovídají asfaltu (zelená barva). Původně vyklasifikovaná třída silnice je znázorněna barvou modrou. Výsledek této klasifikace byl ověřen přímým pozorováním na daném místě. Na daných místech, kde je podle klasifikace určen výskyt asfaltového povrchu, se nachází asfaltové povrchy bez nečistot. Jedná se zejména o intenzivně využívané komunikace.



**Obr. 35 Původní třída silnice (modře) a zpřesněná třída silnice asfalt (zeleně)**

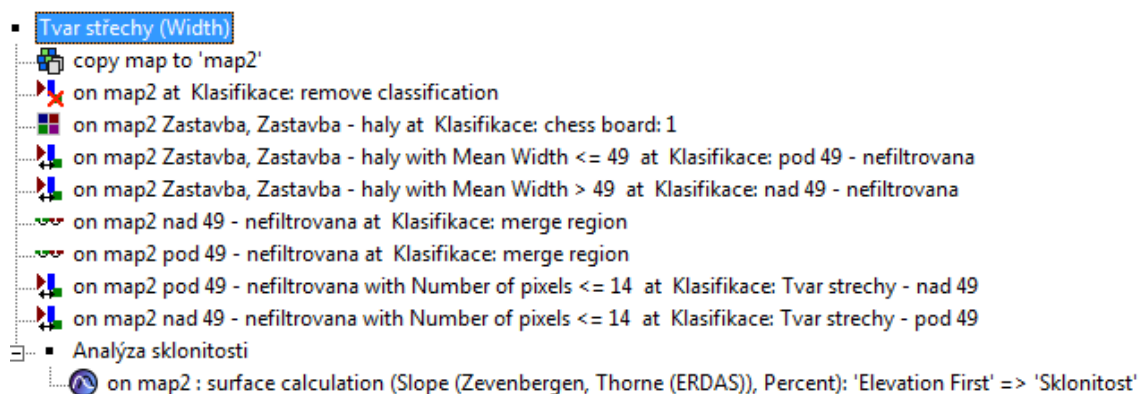
Ani toto zpřesnění původní klasifikace není ovšem jednoznačné. I do této třídy jsou zařazeny pixely (objekty), které mají stejné hodnoty příznaků jako hledaná třída, ale ve skutečnosti se jedná o „jiné“ prvky zemského pokryvu. Toto chování je avšak pozorováno u velmi malého počtu objektů. Mohlo by být namítnuto, že tento by vyřešilo použití metody Multiresolution segmentation. Ze zkušenosti autora ale vychází poznatek, že i při použití této metody dochází k vytváření obdobných objektů.

## Tvar střechy

Při klasifikaci (zpřesnění) zástavby se vychází z tříd zástavba a zástavba - haly, které vznikly v předchozí kapitole při klasifikování základních typů zemského povrchu (pokryvu). Třída tvar střechy je dále specifická v tom, že je znázorněná dvěma samostatnými třídami, které dohromady reprezentují sklon střechy a její směr (orientaci) – bude vysvětleno v následujících odstavcích.

Metoda segmentace byla opět použita Chessboard segmentation a to ze stejného důvodu, jako to bylo v případě segmentace předchozí třídy silnice – asfalt. Dalším důvodem použití této metody segmentace je to, že střechy se obvykle skládají z různě skloněných rovin, přičemž z jejich vzájemné polohy lze zjistit směr střechy. Při použití metody Multiresolution segmentation nebyly segmenty ani jednou vhodně vytvořeny (testováno s různým nastavením vah) – neodpovídaly například pravé a levé polovině střechy, jednotlivé segmenty také zasahovaly do různě skloněných rovin.

Jako hlavní klasifikační příznak pro tuto část klasifikace byla použita šířka. Jak již bylo zmíněno v předchozích odstavcích, jsou klasifikovány celkem dvě třídy. Jejich název odpovídá intervalu prahové hodnoty, který je stěžejní z toho důvodu, že hodnoty pod nebo nad touto prahovou reprezentují jednu nebo druhou stranu střechy v případě, že se střecha skládá z více vzájemně různě skloněných rovin (sklonitá střecha). Hledaná prahová hodnota příznaku šířka je 49 (viz obr. 36) bez ohledu na orientaci letové linie.



**Obr. 36 Klasifikační báze tvaru střechy**

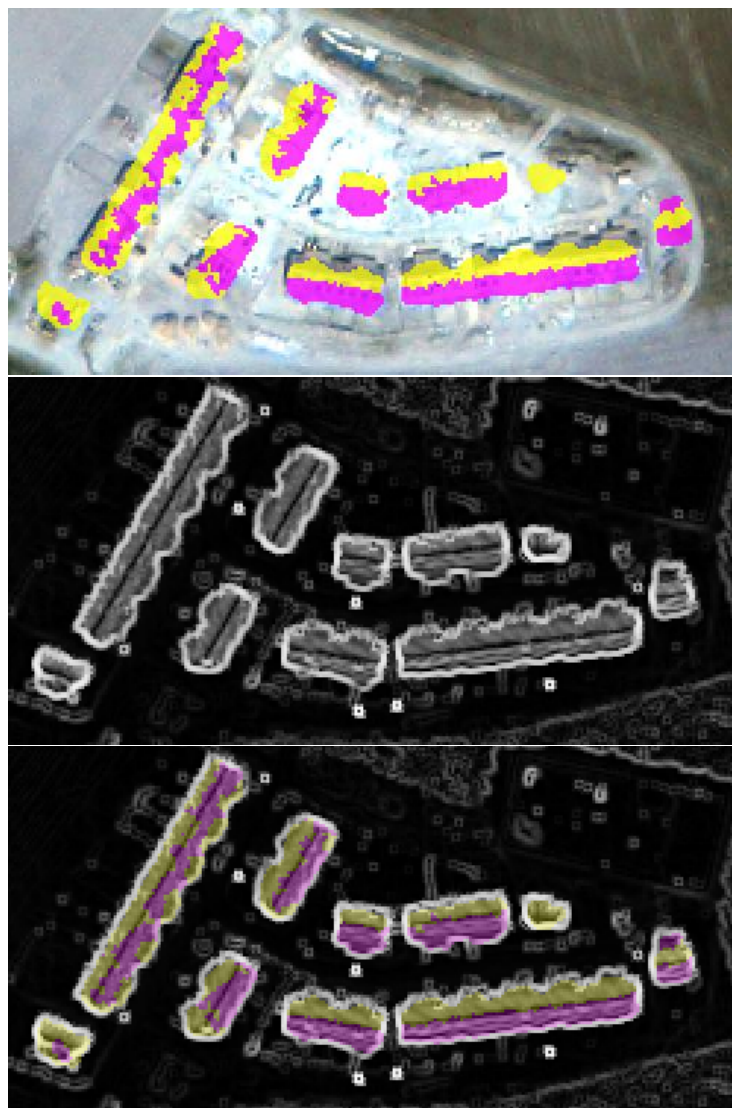


**Obr. 37 Tvar střechy (žlutě a růžově)**

Na obrázku 37 vidíme výsledek klasifikace. Hodnotám pod 49 odpovídá barva žlutá a hodnotám nad 49 odpovídá barva růžová (pro lepší kontrast). Platí pravidlo, že pokud je celý objekt jednobarevný (žlutá nebo růžová), jedná se o plochou střechu nebo střechu s velmi mírnou sklonitostí. Jsou to typy střech, u kterých nelze z jejich tvaru jednoznačně určit jejich orientaci. Jedná se především o střechy skladištních nebo továrních hal. V případě městské zástavby by do této kategorie (ploché střechy) patřily i obchodní a kancelářské komplexy a bytové komplexy typu panelákového sídliště.

Pokud je objekt složený ze dvou barev, jedná se o objekt s šikmou (sklonitou) střechou. Nejvíce zastoupený tvar je typ sedlovité střechy skládající se ze dvou vzájemně skloněných rovin. Podrobněji můžeme tuto klasifikaci sledovat na sledu obrázků 38. Na obrázku 38 nahoře vidíme detail klasifikace residenční zástavby. Dle klasifikace se jedná o šikmé sedlovité střechy. Pro ověření byla na původní rastr naměřených výšek z laserového měření aplikována funkce *Surface Calculation* (viz obr. 38 uprostřed). Tato funkce vypočítává sklon pro každý pixel výškového modelu, přičemž vypočítané hodnoty nezávisí na absolutní naměřené výšce (eCognition, 2009).

Na obrázku 38 dole je vidět překrytí prvních dvou obrázků tak, aby bylo patrné, že hodnoty šířky včetně zvolené prahové hodnoty, odpovídají jednotlivým rovinám střech.



**Obr. 38 Tvar střechy: nahoře – výsledek klasifikace (žlutě a růžově), uprostřed – použití funkce Surface Calculation, dole – překrytí prvních dvou vrstev (ověření přesnosti)**



## **Typ střechy**

Poslední částí Klasifikace – speciální je klasifikace (určení) typu střechy, z jakého materiálu se střecha skládá. Tato klasifikace rovněž vychází z tříd zástavba a zástavba - haly, které vznikly při klasifikování základních typů zemského povrchu (pokryvu). Stejně jako v předchozích případech i zde proběhne klasifikace na samostatné mapě, přičemž všechny ostatní třídy jsou pro větší přehlednost odstraněny.

V prvním kroku byla provedena segmentace metodou Multiresolituon segmentation. Použití této metody segmentace má své opodstatnění v tom, že nyní budeme klasifikovat střechu jako celek nikoli jednotlivé pixely (Chessboard segmentation). Pro tuto segmentaci je rovněž důležité najít takové hodnoty vah, aby došlo k vytvoření samostatných objektů, které se kvůli polohové blízkosti „slévají“ v jeden segment. Zároveň ale nesmí dojít k tomu, aby bylo vytvořeno na jedné střeše více segmentů (objektů) a aby nedošlo ke zbytečnému „roztříštění“ již vyklasifikovaných objektů (viz obr. 39). Do segmentace vstupují spektrální parametry jednotlivých pásem (Red, Green, Blue, NIR) a parametr intenzity.

Segmentace byla aplikována pouze na třídu zástavba. Třída zástavba – haly byla ze segmentace vynechána a to z toho důvodu, že cílem je klasifikovat objekty jako celek, nikoli roztříštěně. Testem bylo zjištěno, že pokud by byla segmentace na tuto třídu přece jen aplikována, vznikají objekty, které se hodnotami příznaku intenzita od sebe liší v řádu jednotek (malé rozdíly).



**Obr. 39 Typ střechy – segmentace**

V druhém kroku následuje samotná klasifikace – klasifikační báze viz obr. 46. Tato klasifikace je problematická a to z toho důvodu, že při bližším zkoumání příznaku intenzita byly zjištěny hodnoty, které jsou na stejných typech střech velmi variabilní. Proto byl vytvořen přístup, který se skládá z následujících částí. Výsledek klasifikace (klasifikované třídy) neodpovídá jednotlivým typům materiálů, ze kterých jsou dané střechy postaveny, ale skupinám materiálů.

Aby byl počet klasifikovaných objektů omezen (rozdělení do skupin s následným samostatným zpracováním těchto skupin), byly nejdříve klasifikovány červené střechy pomocí příznaku Cut Ratio Red (viz obr. 40 – červená barva), která je odvozen od příznaku Cut Ratio Green. Tento příznak vychází z předpokladu, že červené pásmo obsahuje důležité informace o klasifikované třídě, ale jen ve srovnání s ostatními pásmy (eCognition, 2009). Příznak Cut Ratio Red je složen z příznaků jednotlivých spektrálních pásem a to dle níže uvedené rovnice.

$$\text{Cut Ratio Red} = \text{Red} / (\text{Red} + \text{Green} + \text{Blue})$$



**Obr. 40 Typ střechy – červené střechy (červeně)**

Z nově vzniknuté třídy červené střechy jsou dále klasifikovány plechové střechy pomocí příznaku intenzita. Na tomto příkladu bude názorně vidět, proč je klasifikace typů střech problematická (nejednoznačná). Při bližším zkoumání bylo zjištěno několik různých hodnot daného příznaku, které odpovídají plechovým červeným střechám. Situaci můžeme podrobně pozorovat na obrázku 41 (červené plechové střechy jsou znázorněny žlutou barvou) – reprezentační vzorek zvolených intervalů. Na základě zkoumání jednotlivých hodnot byly vybrány dva intervaly, které odpovídají dvěma plechovým střechám. Následná klasifikace zařadila do daných intervalů rovněž střechy,

kteře jsou tvořeny z klasické střešní krytiny. Naopak do daných intervalů nebyly zařazeny střechy, které jsou ze stejného plechového materiálu. Muselo by tedy dojít k vytvoření dalších intervalů, což by ale mělo za následek zařazování i těch střech, které jsou z jiného materiálu. Zlepšení (zpřesnění) klasifikace je tedy pouze částečné.



- A** plechová střecha (1. interval)
- B** klasická střecha (chyba)
- C** plechová střecha (správně)
- D** nezařazená plechová střecha (chyba)
- E** plechová střecha (správně)
- F** klasické střechy (chyby)
- G** plechová střecha (2. interval)

**Obr. 41 Typ střechy – červené střechy (červeně), červené plechové střech (žlutě)**

V další části jsou klasifikovány střechy podle příznaku intenzita. Jsou klasifikovány ty střechy, jejichž hodnota daného příznaku se pohybuje pod prahem 62, jedná se tedy o ty nejnižší hodnoty. Vzniká tím třída tmavé střechy (viz obr. 42 – fialová barva), dle interpretace se barevně jedná o ty „nejtmavější“ střechy. Použitým materiálem jsou tzv. asfaltové pásy, plechy, klasické střešní krytiny, lepenky, eternitové desky a jiné tmavé materiály. Nelze jednoznačně určit, jaká hodnota intenzity odpovídá jakému materiálu, jelikož při porovnávání více objektů se stejným typem střechy dostáváme různé hodnoty. Pro podrobnější klasifikaci byl použit příznak Cut Ratio Green počítán dle níže uvedené rovnice (odvozen příznak Cut Ratio Red). Na základě tohoto spektrálního příznaku byla klasifikována třída tmavé střechy – plech (viz obr. 43 – oranžová barva).

$$\text{Cut Ratio Green} = \text{Green}/(\text{Red} + \text{Green} + \text{Blue})$$



**Obr. 42 Tmavé střechy (fialově)**



**Obr. 43 Tmavé střechy – plech (oranžově)**

Dále jsou klasifikovány střechy, které se interpretací jeví šedivou barvou. To odpovídá rozličným materiálům – od betonové střešní krytiny, plechové střechy nebo obecně jakýkoli typ střešní krytiny, který je do jisté míry zanesen nečistotami nebo zarostlý náletovými rostlinami nebo mechy (staré střechy). Tato kategorie je nejrozšířenější a zahrnuje také rozsáhlé plochy střech skladištních hal. Materiál střech těchto objektů může být například z plechu nebo také pokryt drobným štěrkem. Třída šedivé střechy zahrnuje i střechy, u nichž nelze jednoznačným pozorováním určit, o jaký materiál se jedná nebo střechy, které jsou složeny z více druhů materiálů. Rovněž jsou do této třídy zařazeny segmenty skládající se ze samostatných objektů, které byly ale segmentačním procesem sloučeny (popsáno již dříve). Obecně řečeno, tato třída obsahuje „mix“ typů střech. Výsledek můžeme vidět na obrázku 44 – modrá barva.



**Obr. 44 Šedé střechy (modře)**



**Obr. 45 Šedé střechy – plech (zeleně)**

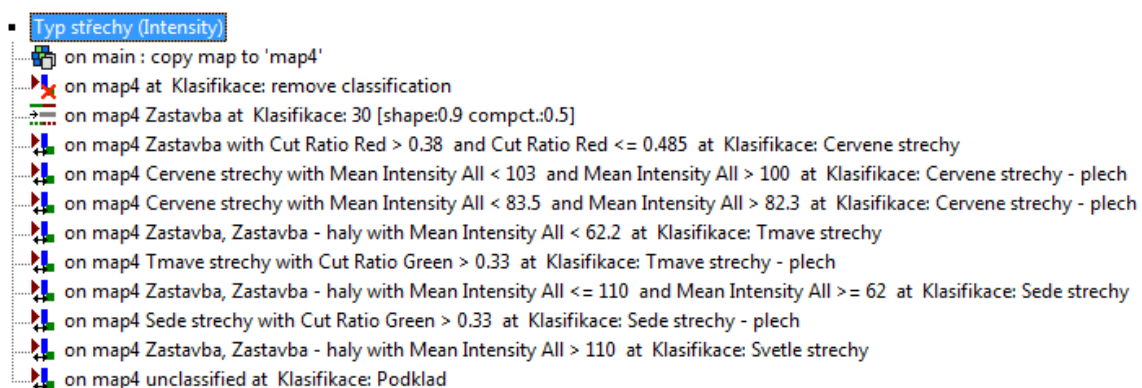
Stejně jako v předchozím případě i nyní proběhl pokus o zpřesnění příznakem Cut Ratio Green – klasifikace plechových střech. Výslednou třídu šedé střechy - plech můžeme pozorovat na obrázku 45 – zelená barva.

Poslední klasifikovanou třídou jsou světlé střechy. Jedná se o třídu s nejmenším zastoupením. Dle interpretace se jedná o ty nejsvětlejší střechy z plechového materiálu, ačkoli dle obrázku 46 (světle fialová barva) jsou sem zařazeny i tmavé střechy, které by měly být zařazeny do jiné třídy. To je způsobeno tmavým materiálem, který avšak obsahuje speciální vrstvu odrážející dopadající paprsky (záření). To může být například klasická střešní krytina, která je potažena speciální glazovanou vrstvou. Takovýto materiál je charakteristický pro nové střechy.

Celková klasifikační báze typu střechy je znázorněna na obrázku 47.



**Obr. 46 Světlé střechy (světle fialově)**

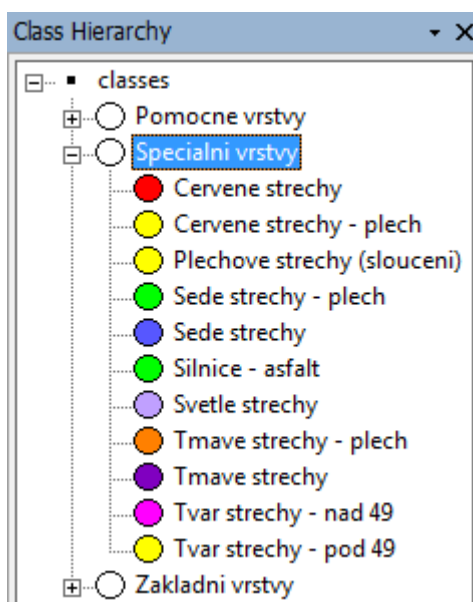


**Obr. 47 Klasifikační báze typu střechy**

### 3.4 Výsledky

Celkový přehled všech tříd části Klasifikace – speciální můžeme vidět na obrázku 48. Pro porovnání „přenositelnosti“ klasifikační báze byly zpracovány celkem dva datové soubory. Na prvním datovém souboru (Jirny 1) byl popisován postup segmentace a klasifikace uvedený v předchozích kapitolách včetně volby prahových hodnot.

Výsledné mapy pro datový soubor Jirny 1 (rezidenční zástavba a oblast velkokapacitních skladištních hal) se nachází v příloze 3 (základní klasifikace – Land Cover), v příloze 4 (silniční povrch), v příloze 5 (tvary střech), v příloze 6 (typy střech) a v příloze 7 (typy střech – sloučení plechových střech). Výsledné mapy pro datový soubor Jirny 2 (rezidenční zástavba) se nachází v příloze 8 (základní klasifikace – Land Cover), v příloze 9 (silniční povrch), v příloze 10 (tvary střech), v příloze 11 (typy střech) a v příloze 12 (typy střech – sloučení plechových střech).

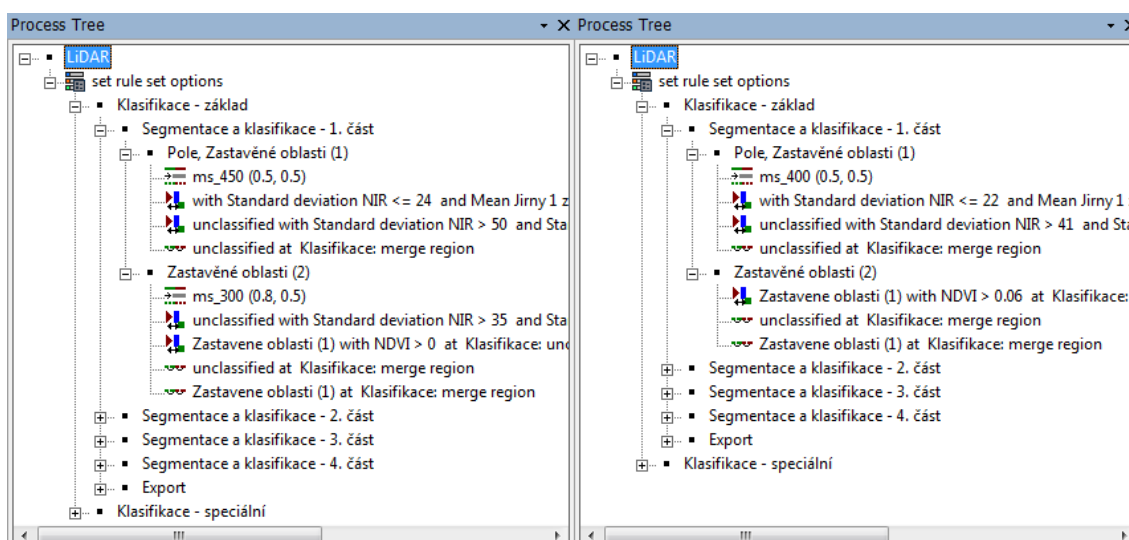


**Obr. 48 Třídy druhé části klasifikace (Klasifikace – speciální)**

Při porovnání výsledků obou datových souborů bylo zjištěno, že klasifikační báze je přenositelná, ale jednotlivé prahové hodnoty (případně jednotlivé části klasifikační báze) musí být upraveny. V případě obrazových dat je to kvůli tomu, že expozice jednotlivých snímků probíhá v různou dobu. Se změnou času se zároveň mění podmínky pro snímání (např. okamžitý vliv atmosféry). Mnohem výraznější rozdíly hodnot jsou však patrné v případě laserových dat. Hodnoty šířky a intenzity jsou v obou datových souborech nad stejnými objekty velmi rozdílné. To je způsobeno například dráhou letu (dva směry – tam a zpět), ze kterého je měření prováděno. V takovém případě je zapotřebí provést radiometrické vyrovnání hodnot (zmněno již dříve) – jedná se o poměrně složitý proces, který ale pro účely této diplomové práce byl

vypuštěn, jelikož nám šlo o prokázání vlivu parametrů metody full-waveform při klasifikaci. Výsledek tohoto chování můžeme pozorovat v tom ohledu, že zvolené datové soubory se v určitém místě překrývají. I přes veškerou snahu najít v druhém datovém souboru takové prahové hodnoty, aby jednotlivé třídy odpovídaly prvnímu datovému souboru, ne všechny klasifikované objekty si vzájemně odpovídají (tvary střech a typy střech).

Obecně řečeno, původní klasifikační báze (vytvořená nad modelovým územím Jirny 1) byla při aplikaci na datovou sadu Jirny 2 pozměněna v oblasti všech prahových hodnot u příznaků laserových dat, tedy v druhé části klasifikace – speciální. V první části klasifikace – základní proběhly úpravy prahových hodnot spektrálních příznaků v mnohem menší míře, naopak byly ale provedeny změny některých kroků. Příklad rozdílu mezi oběma klasifikačními bázemi můžeme pozorovat na obrázku 49 – vpravo je původní klasifikační báze (Jirny 1) a vlevo upravená (přizpůsobená) klasifikační báze (Jirny 2).



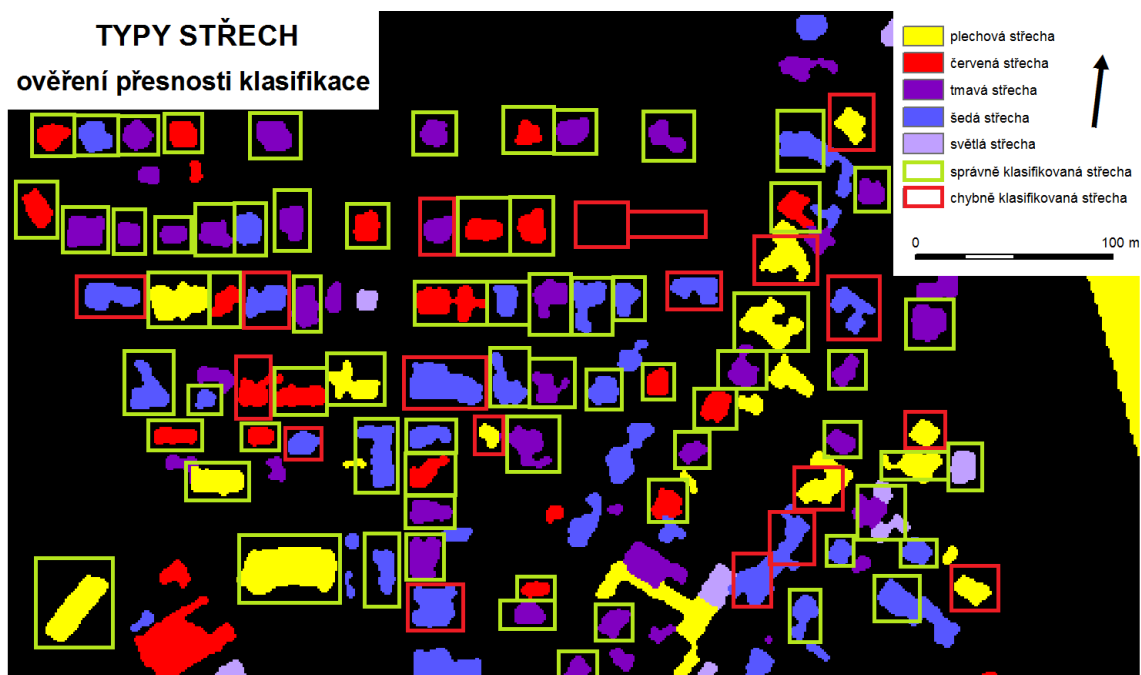
**Obr. 49 Klasifikační báze – vpravo Jirny 1, vlevo Jirny 2**

### 3.4.1 Ověření přesnosti klasifikace

Pomocí programu Geomatica byla ověřena přesnost základní klasifikace pro oba datové soubory. Přesnost byla zkoumána celkem na 100 náhodně generovaných bodech pro každou klasifikaci. Hodnocena byla celková přesnost a kappa index (míra shody mezi klasifikovaným obrazem a referenčními daty). Pro datový soubor Jirny 1 (Land Cover) je celková přesnost 92,7 % a kappa index 0,9 %. Pro datový soubor Jirny 2 (Land Cover) je celková přesnost 91,7 % a kappa index 0,9 %.



Co se týká zpracování přesnosti části speciální klasifikace (typy střech), ověření proběhlo pomocí přímého pozorování na místě modelového území. Terénní průzkum proběhl dne 29.7.2012 v odpoledních hodinách.

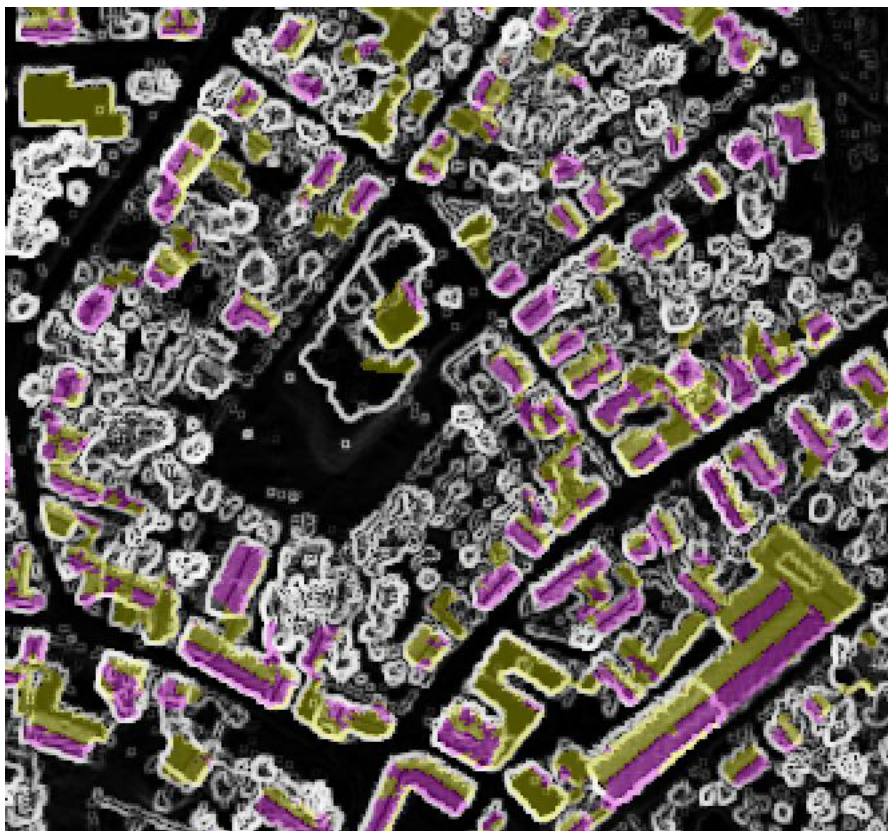


**Obr. 50 Přesnost speciální klasifikace (typy střech)**

Na obrázku 50 vidíme přesnost dané klasifikace založené právě na přímém pozorování a porovnávání v terénu. Chybně klasifikované střechy nejčastěji odpovídají různorodosti materiálu na daném objektu. Daná střecha se může skládat buď z více drobných segmentů, přičemž každý je z jiného materiálu a parametry segmentace se tyto drobné útvary nedalo vystihnout nebo se jedná o „mix“ chaoticky rozmístěných materiálů. Toto chování je charakteristické především pro starší typy střech, které jsou již „opotřebovány“. Přesnost v rámci klasifikace červených plechových střech byla již zmíněna v předešlé kapitole s názornou ukázkou.

Ověření sklonitosti (tvarů střech) probíhalo pomocí již zmíněné funkce *Surface Calculation*. Tato funkce vypočítává sklon pro každý pixel výškového modelu, přičemž získané hodnoty nezávisí na absolutní naměřené výšce (eCognition, 2009). Aplikací této funkce v prostředí programu eCognition vznikla rastrová vrstva s názvem sklonitost. Následně tato vrstva byla částečně překryta klasifikací tvarů střech. Jelikož se jedná o kombinaci dvou vrstev s určitou průhledností, nebylo možné generovat výstupní soubor. Exportovat průhledné vrstvy z programu eCognition je možné, ale při každém pokusu byla vygenerována jenom jedna vrstva neprůhledně. Ověření přesnosti sklonitosti (typů střech) probíhá tedy pomocí náhledu do programu (viz obr.

38 a 51). Na daných obrázcích můžeme pozorovat, že pokud je střecha plochá nebo mírně sklonitá, je vybarvená pouze jednou barvou (žlutě nebo růžově). Naopak pokud je sklonitá, jsou její jednotlivé části každou barvou zvlášť (žlutě a růžově).



**Obr. 51 Přesnost speciální klasifikace (tvary střech) – ověření pomocí funkce *Surface Calculation***

Je samozřejmé, že v jednotlivých klasifikacích se vyskytly nepřesnosti, které jsou názorně vidět při interpretaci jednotlivých map. Jedná se o již dříve popisované chybně zařazené segmenty. Hodnoty jednotlivých příznaků těchto segmentů se nachází v oblasti prahových hodnot klasifikovaných tříd. Byla snaha o vytvoření takového postupu, aby byla zajištěna minimalizace chybného zařazování segmentů, což způsobilo, že klasifikační báze je rozsáhlejší. Na následném obrázku 52 jsou uvedeny příklady chybně zařazených objektů.

Výsledek klasifikace třídy silnice – asfalt byl rovněž ověřen terénním průzkumem. Výsledek tohoto průzkumu byl popsán v kapitole týkající se klasifikace dané třídy.

Nejvíce chybně zařazených objektů obsahuje třída komunikace (černá barva), poté následují už v mnohem menší míře chybně zařazené objekty do třídy zástavba (červená barva) a nakonec jsou to nevyklasifikované objekty zástavby (osamocené stavby).



**Obr. 52 Chybně zařazené objekty 1 (popis v textu)**

Další chybně zařazené objekty můžeme nalézt i ve výstupních souborech jednotlivých tematických klasifikací. Kromě již výše popisovaných případů může taková nepřesnost například vypadat jako ukázka na obrázku 53. Na základě ověření v terénu se jedná o červené střechy. Dle výsledků klasifikace se ale jedná o různý mix materiálů (třída typ střechy). To může být například způsobeno tím, že daná zástavba byla v době pořízení laserových nebo i multispektrálních dat ve stádiu stavby, tudíž výsledek klasifikace neodpovídá skutečnosti – samotná střecha již mohla být hotová, ale zatím nebyla pokryta finální střešní krytinou.



**Obr. 53 Chybně zařazené objekty 2 (popis v textu)**

## 4 Diskuze

Co se týká problémů během tvorby této diplomové práce, tak ty vznikaly již při samotném začátku. Prvním problémem byl výběr dat. K dispozici jsou data – pásy, které se vzájemně překrývají (směr letu tam a zpět). Bylo možné ale využít vždy jen jeden pás, nikoli překrývající se pásy. Využití překrývajících pásů by znamenalo provedení radiometrického vyrovnání hodnot, které bylo ale z časových důvodů a z důvodů absence potřebných dat vypuštěno. Zpracování dat jednoho pásu se projevilo tak, že vznikaly poměrně velké oblasti prázdných bodů. Tyto oblasti byly vyplněny pomocí interpolace dat. To samozřejmě mělo i vliv na výslednou přesnost klasifikace.

Dále bylo poněkud komplikované data upravit a předzpracovat tak, aby bylo možné s nimi pracovat v programu eCognition. Muselo být využito několik doplňkových programů – konvertorů, pomocí kterých byla získaná data převedena do požadovaného formátu. Během tohoto procesu bylo zapotřebí spolupracovat přímo s výrobcem softwaru. Řešením tohoto problému by bylo zpracování dat v novější verzi softwaru eCognition, který avšak nebyl v dostupném časovém termínu k dispozici.

Co se týká samotné klasifikace, jsou zde části (třídy), které mají menší přesnost, než třídy ostatní, resp. třídy, jejichž zpracování bylo problémovější než zpracování tříd jiných. Tou nejproblémovější třídou jsou silnice. Tato třída zahrnuje nejenom silnice, které mají charakter pevného povrchu, ale i oblasti prašných nebo šterkovitých povrchů (obecně nezpevněné povrchy). V souladu s touto skutečností jsou do této třídy zahrnuty i ty oblasti, které s původním významem dané třídy nesouvisí. Týká se to především povrchu polí, stavebních oblastí nebo prašných oblastí. Tento jev je dobře pozorovatelný na mapě v příloze 9. K zpřesnění této třídy došlo použitím jednoho z příznaků metody full-waveform.

Při pohledu na samotnou klasifikační bázi se může zdát, že je komplikovanější (viz příloha 1 a 2). Její rozsáhlost je ale dána tím, že při segmentaci a následné klasifikaci vzniká mnoho objektů, které díky hodnotám svých příznaků jsou zařazovány do tříd, ve kterých ale ve skutečnosti být nemají. Proto byla snaha eliminovat co největší počet těchto původně chybně zařazených objektů a přiřadit je do správné třídy. To přispělo k tomu, že je klasifikační báze na první pohled složitější. Jedna z nejdůležitějších otázek, které je potřeba na začátku každé klasifikace vyřešit je segmentace – volba vhodné metody a především vhodných parametrů (volba vhodných vah). Zkušenosti se segmentací jsou následující – pokud jsou parametry vah nastaveny tak, že na jistém místě zájmového území (budoucí mapy) vytváří naprosto ideální segmenty, tak na jiném místě mapy jsou segmenty naopak tvarově velmi nevyhovující. Proto je velmi

důležité najít „střední cestu“, aby v každém místě zájmového území (budoucí mapy) byly segmenty tvarově vyvážené. Pokud tomu tak není a segmenty tvarově nevyhovují, tak klasifikace je náročná a s ne příliš vyhovujícím výsledkem. V případě této diplomové práce byla segmentace několikrát opakována (na každou zájmovou třídu zvlášť) včetně kombinací metod a tak, aby vznikaly jednoduché a zároveň tvarově vyhovující segmenty.

Další problém vzniká v případě „přenášení“ klasifikační báze na jiný datový soubor. Pokud nedojde k úpravě určitých částí klasifikační báze a úpravě prahových hodnot, nejsou výsledky klasifikace ideální. Obecně řečeno, stejná klasifikační báze nemůže být bez úpravy použita při klasifikaci jiného zájmového území. Podrobně byl tento problém popsán v předešlé kapitole.

Původním záměrem klasifikace typů střech byla přímo klasifikace jednotlivých materiálů, ze kterých jsou střechy tvořeny. Vzhledem k různým hodnotám, které vykazují stejné materiály, bylo ale přistoupeno k jednodušší verzi této specifické klasifikace. Podrobně byl problém popsán v kapitole, která se touto částí klasifikace zabývá. Pro potřeby původního záměru jsou zapotřebí data z překrývajících se pásů. Použití takových dat by mělo za následek téměř absenci prázdných míst (interpolace by byla použita pouze v minimálním měřítku) a tím pádem by byla zajištěná potřebná větší přesnost a podrobnost dat.

Výsledné mapy jsou tvořeny tak, aby bylo při použitém měřítku názorně vidět jednotlivé (i ty nejmenší) segmenty. Původně měl být podklad mapového pole tvořen samotným družicovým snímkem. Ač použitý program tuto možnost při exportu klasifikací nabízí, tak výsledné pozadí je tvořeno tmavou barvou v kontrastu s barvami jednotlivých tříd.

Dále se ještě vrátíme k otázce tvorby pomocné vrstvy výšek (digitální model terénu). Tato vrstva je klíčová pro řešení této diplomové práce. Důvodem vytvoření této vrstvy bylo, že pomocí výšek bylo možné mnohem jednodušším a přesnějším způsobem klasifikovat terénní překážky - zástavbu. Pokud by klasifikace probíhala bez použití této vrstvy, muselo by být vytvořeno více kroků při vytváření klasifikační báze a zároveň i složitější kombinace příznaků. Bez použití pomocné vrstvy výšek by byl změněn i celý postup, metoda segmentace by byla použita Multiresolution segmentation a následná klasifikace by probíhala metodou Fuzzy logic. Tento poznatek vychází ze zkušeností předchozí práce autora.

Jak již bylo zmíněno v úvodu, studie Mallet a kol. (2008) předpokládá, že hodnoty amplitudy (intenzity) přijatého signálu jsou na asfaltovém povrchu nízké a naopak studie Bretar a kol. (2008) předpokládá, že tyto hodnoty jsou vysoké. Na základě výsledků této diplomové práce je přikloněno k první studii. Hodnoty asfaltových

povrchů jsou nízké. To je patrné už z pouhé interpretace rastrové vrstvy. Samotná klasifikace tento tuto hypotézu potvrdila.

Výsledky této diplomové práce můžou být srovnávané se studií Jutzi, Stilla (2003), kde autoři provedli laboratorní pokusy s různými druhy materiálů/povrchů vyskytujících se v oblasti městské zástavby a ověřili, že typ a druh materiálu má na výsledný průběh laserového pulzu vliv. V této práci bylo potvrzeno, že vliv různých druhů materiálů se v hodnotách intenzity přijatého signálu projeví. Pomocí tohoto příznaku lze klasifikovat střechy dle druhů materiálů.

Na základě další studie Mallet a kol. (2008) bylo předpokládáno, že hodnoty parametru šířky přijatého signálu jsou nižší u plochých střech a s rostoucím sklonem se hodnota tohoto parametru zvyšuje. Tato hypotéza byla prokázána pouze částečně. Nejnižší hodnoty jsou na plochých střechách a mírně skloněných střechách. Na sklonitých střechách jsou ale hodnoty daného parametru vyšší než na rovných a mírně sklonitých střechách, ale neplatí tam závislost, že čím má střecha větší sklonitost, tím vyšších hodnot parametr šířky nabývá.

Kladné hledisko použití jak laserových tak i multispektrálních technologií (jejich kombinace) bylo již prokázáno například ve studii Syed a kol. (2005) stejně jako v diplomové práci Horňáková (2011). Stejně tak i tato diplomová práce je dalším důkazem toho, že kombinace dvou výše uvedených metod je velice výhodná a přináší mnohem lepší a přesnější výsledky než kdyby byla použita metoda pouze jedna. Kromě přesnějších výsledků kombinace metod vliv i na rychlejší zpracování.

Použití objektově orientovaného přístupu bylo testování například ve studii Van Aardt a kol. (2008) nebo v diplomové práci Horňáková (2011), kde byl tento přístup označen jako velmi vhodný. S tímto závěrem souhlasí výsledky i této diplomové práce.

Obecně lze říct, že laserová data přispívají ke zpřesnění multispektrálních dat (záměrně v tomto pořadí) tím, že s jejich pomocí dokážeme vytvořit digitální model terénu. Z digitálního modelu terénu jsme schopni získat různé výšky, například výšku zemského povrchu bez terénních překážek, nebo naopak pouze výšku terénních překážek (zástavba, vegetace, atd.), což byl případ i této diplomové práce. Navíc přidané parametry full-waveform dovolují, dle výsledků této práce, posunout klasifikaci dál v tom ohledu, že jsme schopni získat nové třídy, které jsou multispektrálními daty těžko postřehnutelné nebo dokonce nepostřehnutelné. Laserová data můžou být klasifikována i samostatně, ale výsledný počet tříd je velmi omezený (Definiens, 2009).

Výsledky metody laserového skenování full-waveform můžeme na základě výsledků této diplomové práce označit jako velmi vhodné pro další výzkum a jejich použití v praktické rovině.

## 5 Závěr

Využití dat laserového měření v současné době nachází čím dál širší uplatnění. Nejlepší příkladem je v současné době stále ještě probíhající laserové měření České republiky. Toto měření probíhá v rámci Projektu tvorby nového výškopisu území České republiky a provádí ho Zeměměřičský úřad ve spolupráci s Ministerstvem obrany a Ministerstvem zemědělství. Použití dalších parametrů full-waveform (intenzita a šířka) přispívá k přesnější klasifikaci a zároveň je umožněno získání dalších typů zemského povrchu. Metoda full-waveform stále probíhá vývojem, jedná se o jednu z nejnovějších metod.

Tato diplomová práce měla za cíl prokázat, zdali je využití těchto dalších parametrů přínosem, či nikoli. Dle výsledků a ověření jejich přesnosti především přímým pozorováním v terénu bylo zjištěno, že použití této metody má pozitivní vliv na podrobnější a kvalitnější klasifikaci.

V budoucnu by mělo dojít dalšímu zpřesnění klasifikaci užitím překrývajících se pásů (provedení radiometrického vyrovnání hodnot). Následné zpracování dat v pokročilejší verzi softwaru by rovněž přineslo ještě přesnější výsledky a zároveň jednodušší postup.

## 6 Zdroje

- AHOKAS, E., KAARTINEN, H., HYYPPA, J. 2003. *A quality assessment of airborne laser scanner data*. [online]. [citováno 2010-12-04]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.150.8548>
- BALTSAVIAS, E.P. 1999. *Airborne laser scanning: Basic relations and formulas*. [online]. [citováno 2010-12-04]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com>
- BAATZ, M. [et al.] 2004. *eCognition Elements 4 User Guide*. [online]. Copyright 2000-2005 © Definiens [citováno 2012-02-10]. Dostupné z: <http://www.gis.unbc.ca/help/software/ecognition4/ELuserguide.pdf>
- BLAIR, J., RABINE, D., HOFTON, M. 1999. *The laser vegetation paging sensor: A medium-altitude digitisation-only, airborne laser altimeter for mapping vegetation and topography*. [online]. [citováno 2010-12-04]. Dostupné z: <http://www.lidar.com.br/trabalhos/florestal/TheLASERVegetationImagingSensor.pdf>
- BRÁZDIL, K. 2010. *Projekt tvorby nového výškopisu České republiky*. [online]. [citováno 2010-09-17]. Dostupné z: [http://gis.vsb.cz/GIS\\_Ostrava/GIS\\_Ova\\_2010/sbornik/Lists/Papers/CZ\\_5\\_2.pdf](http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2010/sbornik/Lists/Papers/CZ_5_2.pdf)
- BRETAR, F. 2006. *Couplage de données laser aéroporté et photogrammétriques pour l'analyse de scènes tridimensionnelles*. [online]. [citováno 2010-12-04]. Dostupné z: [http://recherche.ign.fr/labos/matis/pdf/theses/these\\_bretar.pdf](http://recherche.ign.fr/labos/matis/pdf/theses/these_bretar.pdf)
- BRETAR, F., CHAUVE, A., MALLET, C., JUTZI, B. 2008. *Managing full waveform lidar data: A challenging task for the forthcoming years*. [online]. [citováno 2011-06-06]. Dostupné z: [http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1\\_pdf/69.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1_pdf/69.pdf)
- DEFINIENS. 2009. *Working with LiDAR .las files*. [online]. Copyright © 2009 Definiens AG. [citováno 2011-11-04]. Dostupné z: <http://www.ecognition.com/news/events/eseminar91124-ecognition-8-working-lidar-las-files>
- DOLANSKÝ, T. 2004. *Lidary a letecké laserové skenování*. [online]. [citováno 2010-11-05]. Dostupné z: <http://wvc.pf.jcu.cz/ki/data/files/160lidaryweb.pdf>
- DUBAYAH, R., BLAIR, J. 2000. *Lidar remote sensing for forestry applications*. [online]. [citováno 2010-12-04]. Dostupné z: <http://www.geog.umd.edu/vcl/pubs/jof.pdf>



- ECOGNITION. 2009. *User Guide - eCognition Developer 8*. [online]. Copyright © 2009 Definiens AG. [citováno 2011-06-04]. Dostupné z: <http://www.ecognition.com/products/trial-software>
- ENCYCLOPEDIA of Laser Physics and Technology. 2011. [online]. [citováno 2010-12-04]. Dostupné z: [http://www.rp-photonics.com/yag\\_lasers.html](http://www.rp-photonics.com/yag_lasers.html)
- GISAT/QuickBird. [online]. [citováno 2009-07-30]. Dostupné z: <http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/prehled-druzicovych-systemu/quickbird>
- GUENTHER, G., MESICK, H. 1988. *Analysis of airborne laser hydrography waveforms*. [online]. [citováno 2010-12-04]. Dostupné z: <http://md1.csa.com>
- HARDING, D., GESCH, D., CARABAJAL, C., LUTHCKE, S. 1999. *Application of the shuttle laser altimeter in an accuracy assessment of GTOPO3, a global 1-kilometer digital elevation model*. [online]. [citováno 2010-12-04]. Dostupné z: <http://www.isprs.org/proceedings/XXXII/3-W14/pdf/p81.pdf>
- HORŇÁKOVÁ, M. (2011). *Automatická extrakce budov a zpevněných ploch z dat velmi vysokého rozlišení v suburbánní zóně Prahy*. [rukopis]. Bakalářská práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie. Vedoucí diplomové práce RNDr. Lucie Kupková, Ph.D
- HUISING, J., PEREIRA, L.G. 1998. *Errors and accuracy estimates of laser data acquired by variol laser scanning systema for topographic applications*. [online]. [citováno 2010-12-04]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com>
- JUTZI, B., STILLA, U. 2003. *Laser pulse analysis for reconstruction and classification of urban objcets*. [online]. [citováno 2011-09-21]. Dostupné z: [http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/3-W8/papers/pia03\\_s6p3.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/3-W8/papers/pia03_s6p3.pdf)
- JUTZI, B., STILLA, U. 2005. *Measuring and processing the waveform of laser pulses*. [online]. [citováno 2010-12-04]. Dostupné z: [http://www.ipk.bv.tum.de/pub/2005/jutzi\\_stilla\\_opt3d05\\_pap.pdf](http://www.ipk.bv.tum.de/pub/2005/jutzi_stilla_opt3d05_pap.pdf)
- KAASALAINEN, S. [et al.] 2011. *Absolute Radiometric Calibration of ALS Intensity Data: Effects on Accuracy and Target Classification*. [online]. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1424-8220/11/11/10586/htm>
- LASTOOLS. 2012. [online]. [citováno 2012-02-14]. Dostupné z: <http://www.cs.unc.edu/~isenburg/lastools/>

- LASEROVÉ SKENOVÁNÍ - *principy*. [online]. [citováno 2009-07-30]. Dostupné z:  
[http://www.gis.zcu.cz/projekty/Geomatika\\_multimedialne/FGM/fgm-lls-principy.pdf](http://www.gis.zcu.cz/projekty/Geomatika_multimedialne/FGM/fgm-lls-principy.pdf)
- LEFSKY, M., HARDING, D., COHEN, W., PARKER, G., SHUGART, H. 1999. *Surface lidar remote sensing of basal area and biomass in deciduous forests of eastern Maryland*. [online]. [citováno 2010-12-04]. Dostupné z:  
<http://ddr.nal.usda.gov/bitstream/10113/37566/1/IND44305394.pdf>
- MALLET, C., BRETAR, F. 2009. *Full-waveform topographic lidar: State-of-the-art*. [online]. [citováno 2010-12-04]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com>
- MALLET, C., SOERGEL, U., BRETAR, F. 2008. *Analysis of full-waveform lidar data for classification of urban areas*. [online]. [citováno 2011-09-21]. Dostupné z:  
[http://recherche.ign.fr/labos/matis/pdf/articles\\_conf/2008/isprs2008\\_mallet\\_submitted.pdf](http://recherche.ign.fr/labos/matis/pdf/articles_conf/2008/isprs2008_mallet_submitted.pdf)
- OBEC JIRNY. [online]. [citováno 2009-07-30]. Dostupné z: <http://www.jirny.cz/info.htm>
- REITBERGER, J., SCHNORR, CL., KRZYTEK, P., STILLA, U. 2008. *3D segmentation of single trees exploiting full waveform LIDAR data*. [online]. [citováno 2011-06-06]. Dostupné z: <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsid=22204507>
- ROTH, R.B., THOMPSON, J. 2008. *Practical application of multiple-pulse in the air (MPiA) lidar in large area surveys*. [online]. [citováno 2010-12-04]. Dostupné z:  
[http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1\\_pdf/31.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1_pdf/31.pdf)
- SPACEFLIGHTNOW.COM. [online]. [citováno 2009-07-30]. Dostupné z:  
<http://spaceflightnow.com/delta/d288/011015quickbird.html>
- SYED, S., DARE, P., JONES, S. 2005. *Automatic classification of land cover features with high resolution imagery and lidar data: an object-oriented approach*. [online]. [citováno 2011-06-06]. Dostupné z:  
[http://www.ecognition.com/sites/default/files/266\\_0185.pdf](http://www.ecognition.com/sites/default/files/266_0185.pdf)
- THEIL, K.H., WEHR, A. 2004. *Performance and capabilities of laser scanners – an overview and measurement principle analysis*. [online]. [citováno 2010-12-04]. Dostupné z: <http://www.isprs.org/proceedings/xxxvi/8-w2/thiel.pdf>
- VAN AARDT, J.A.N., WYNNE, R.W. 2008. *Segment-based forest volume-by-type modelling using small footprint lidar height distributions*. [online]. [citováno 2011-06-

06]. Dostupné z: <http://www.ecognition.com/document/segment-based-forest-volume-type-modelling-using-small-footprint-lidar-height-distributions>

WAGNER, W., ULLRICH, A., DUCIC, V., MELZER, T., STUDNICKA, N. 2006.

*Gaussian decomposition and calibration of full-waveform small-footprint airborne laser scanners.* [online]. [citováno 2010-12-04]. Dostupné z:

<http://www.sciencedirect.com>

WAGNER, W., ULLRICH, A., MELZER, T., BREISE, C., KRAUS, K. 2004. *From single-pulse to full-waveform airborne laser scanners: Potential and practical challenges.*

[online]. [citováno 2010-12-04]. Dostupné z:

<http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm3/papers/267.pdf>

## **7 Seznam příloh**

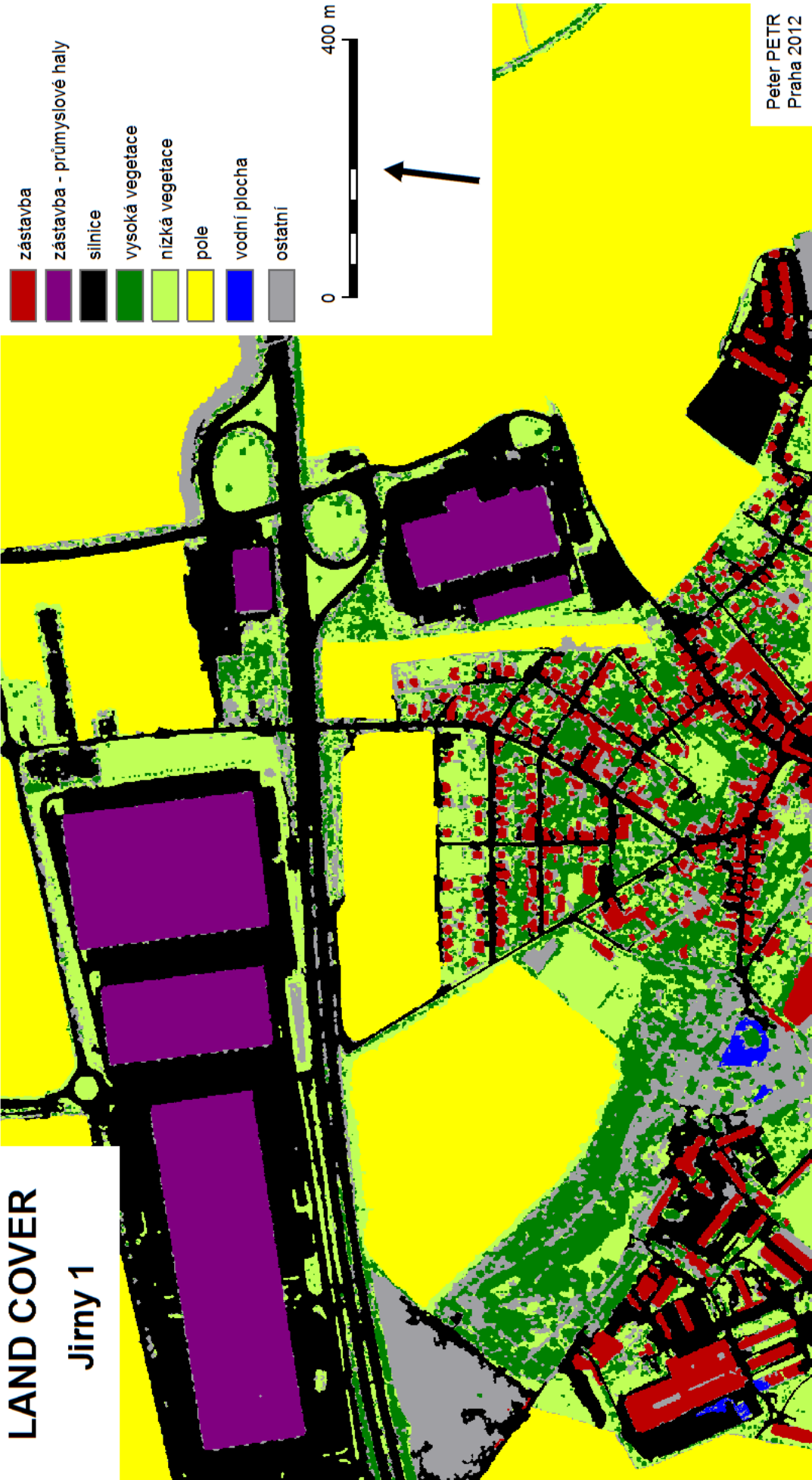
- Příloha 1. Kompletní klasifikační báze základní klasifikace (Jirny 1)
- Příloha 2. Kompletní klasifikační báze speciální klasifikace (Jirny 1)
- Příloha 3. Klasifikace území Jirny 1 – Land Cover
- Příloha 4. Klasifikace území Jirny 1 – silniční povrch
- Příloha 5. Klasifikace území Jirny 1 – tvary střech
- Příloha 6. Klasifikace území Jirny 1 – typy střech
- Příloha 7. Klasifikace území Jirny 1 – typy střech (sloučení plechových střech)
- Příloha 8. Klasifikace území Jirny 2 – Land Cover
- Příloha 9. Klasifikace území Jirny 2 – silniční povrch
- Příloha 10. Klasifikace území Jirny 2 – tvary střech
- Příloha 11. Klasifikace území Jirny 2 – typy střech
- Příloha 12. Klasifikace území Jirny 2 – typy střech (sloučení plechových střech)
- Příloha 13. CD s elektronickou verzí práce





# LAND COVER

## Jirny 1



Příloha 3: Klasifikace území Jirny 1 – Land Cover

# SILNIČNÍ POVRCH

Jirny 1

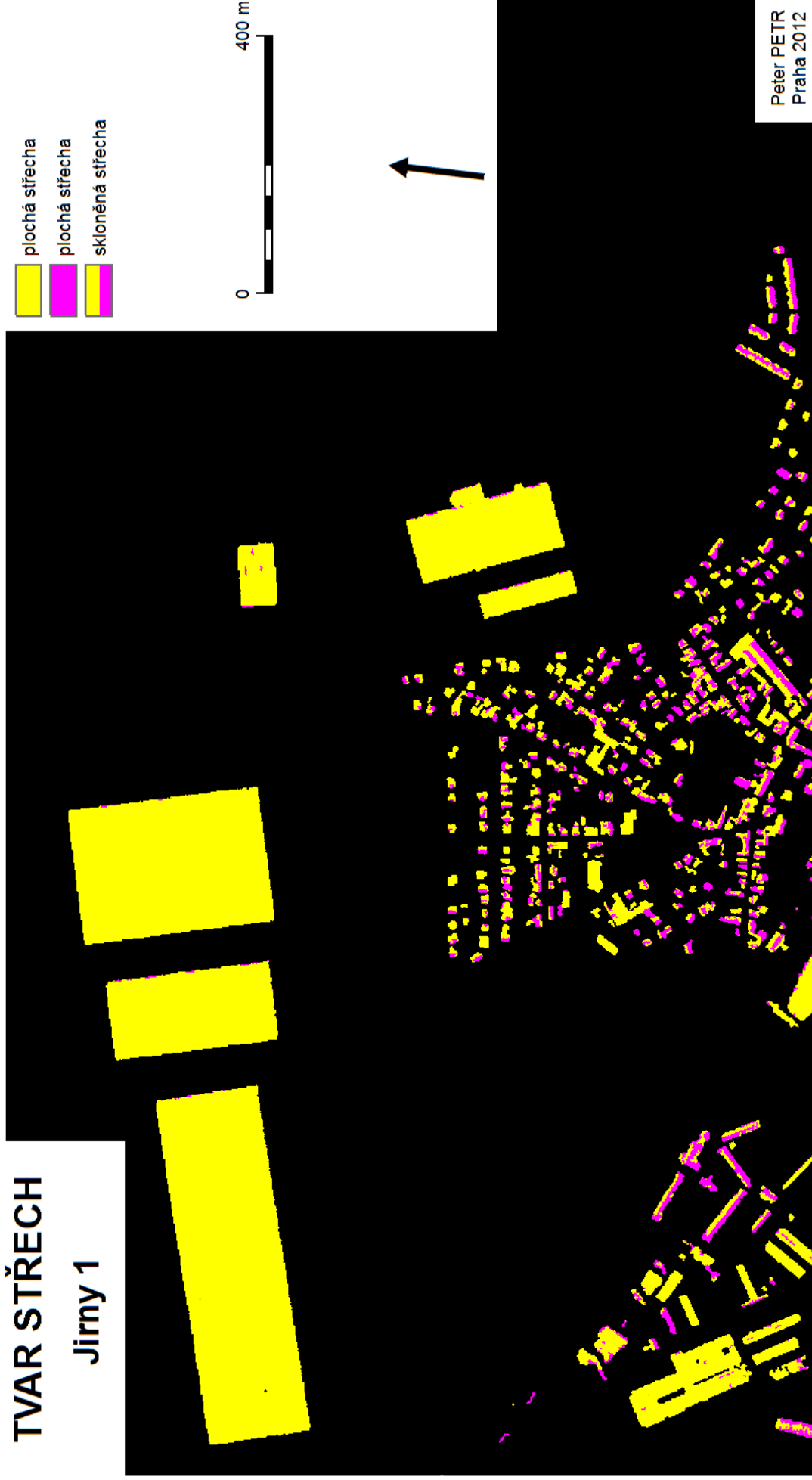


Příloha 4: Klasifikace území Jirny 1 – silniční povrch



# TVAR STŘECH

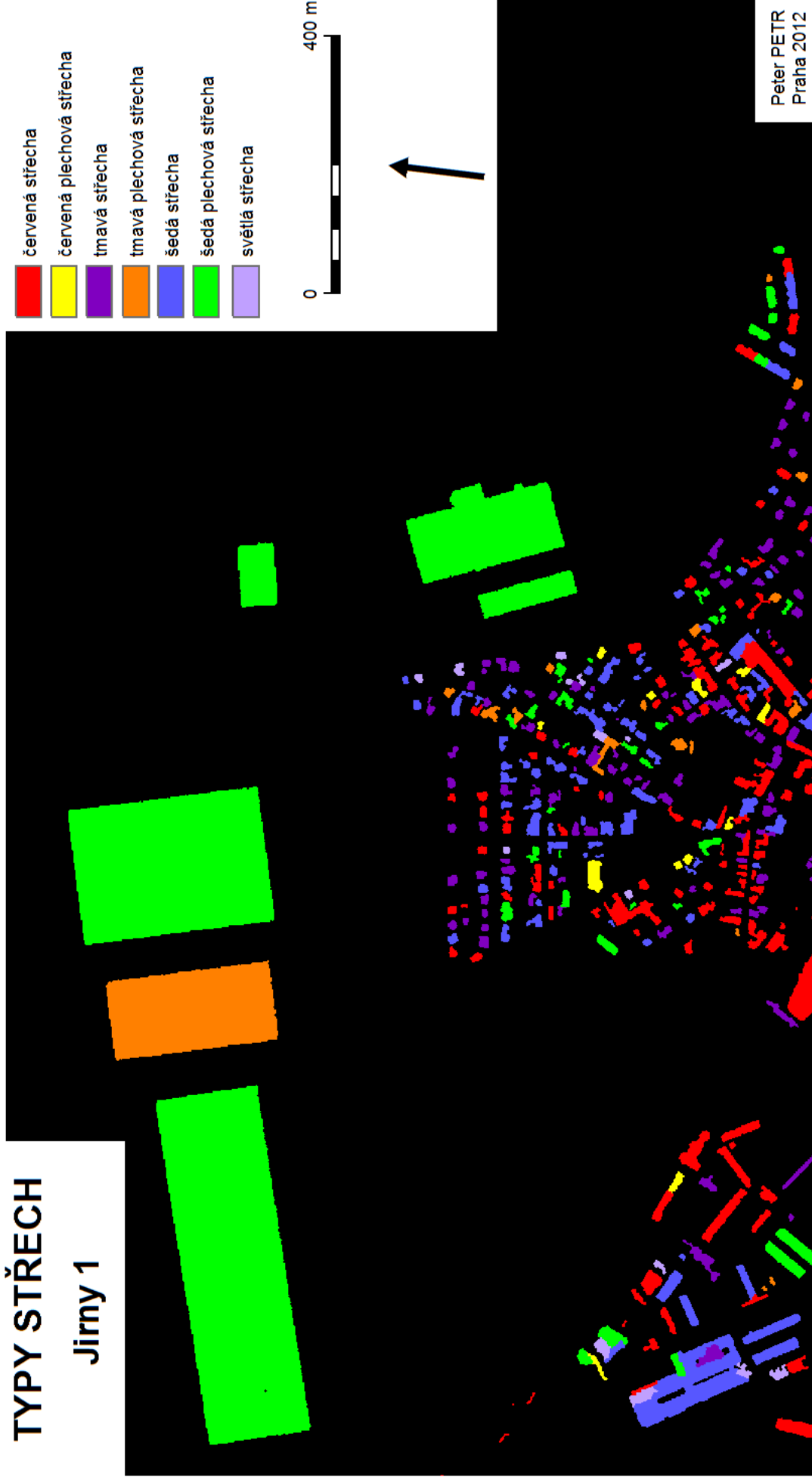
## Jirny 1



Příloha 5: Klasifikace území Jirny 1 – tvary střech

# TYPY STŘECH

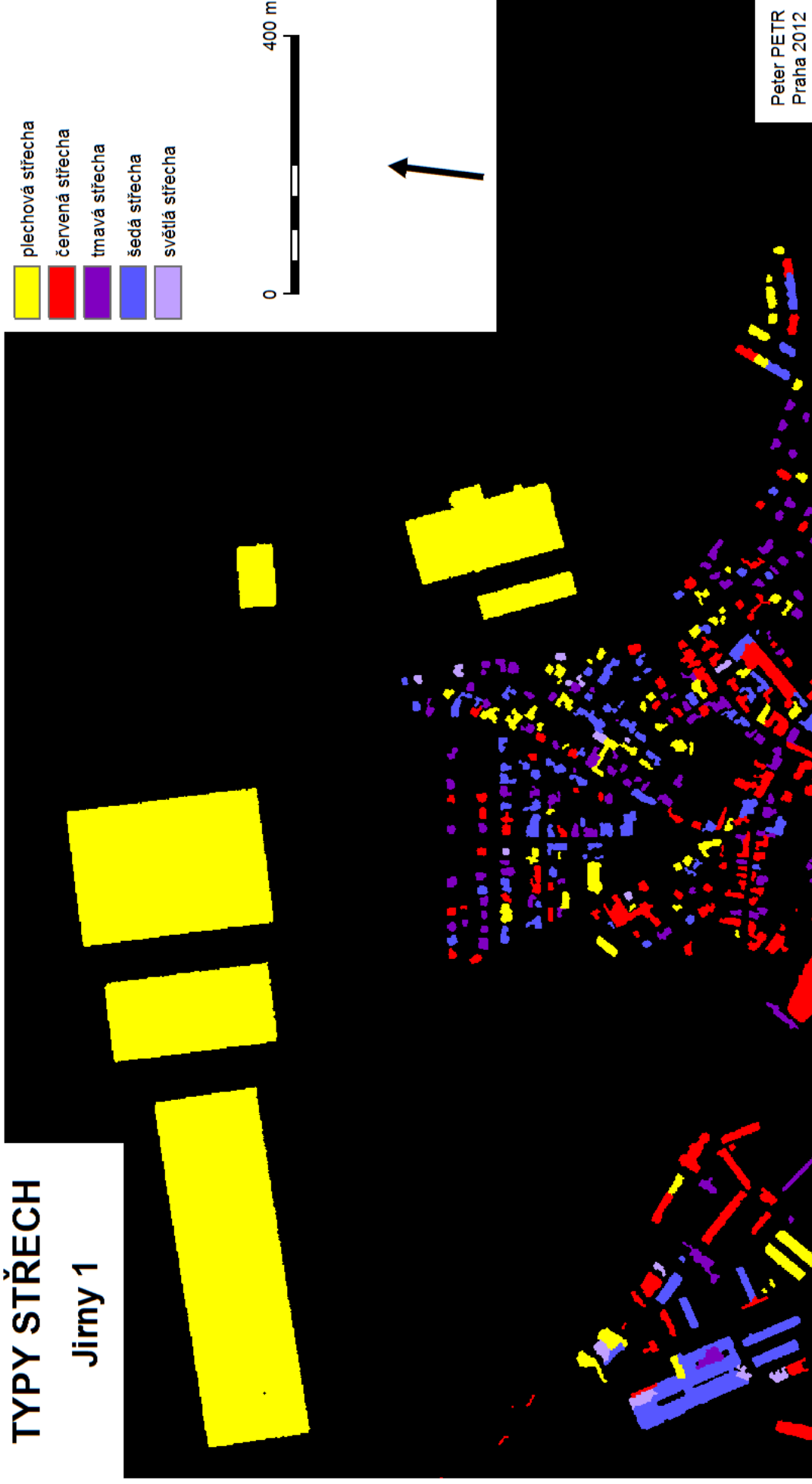
## Jirny 1



Příloha 6: Klasifikace území Jirny 1 – typy střech

# TYPY STŘECH

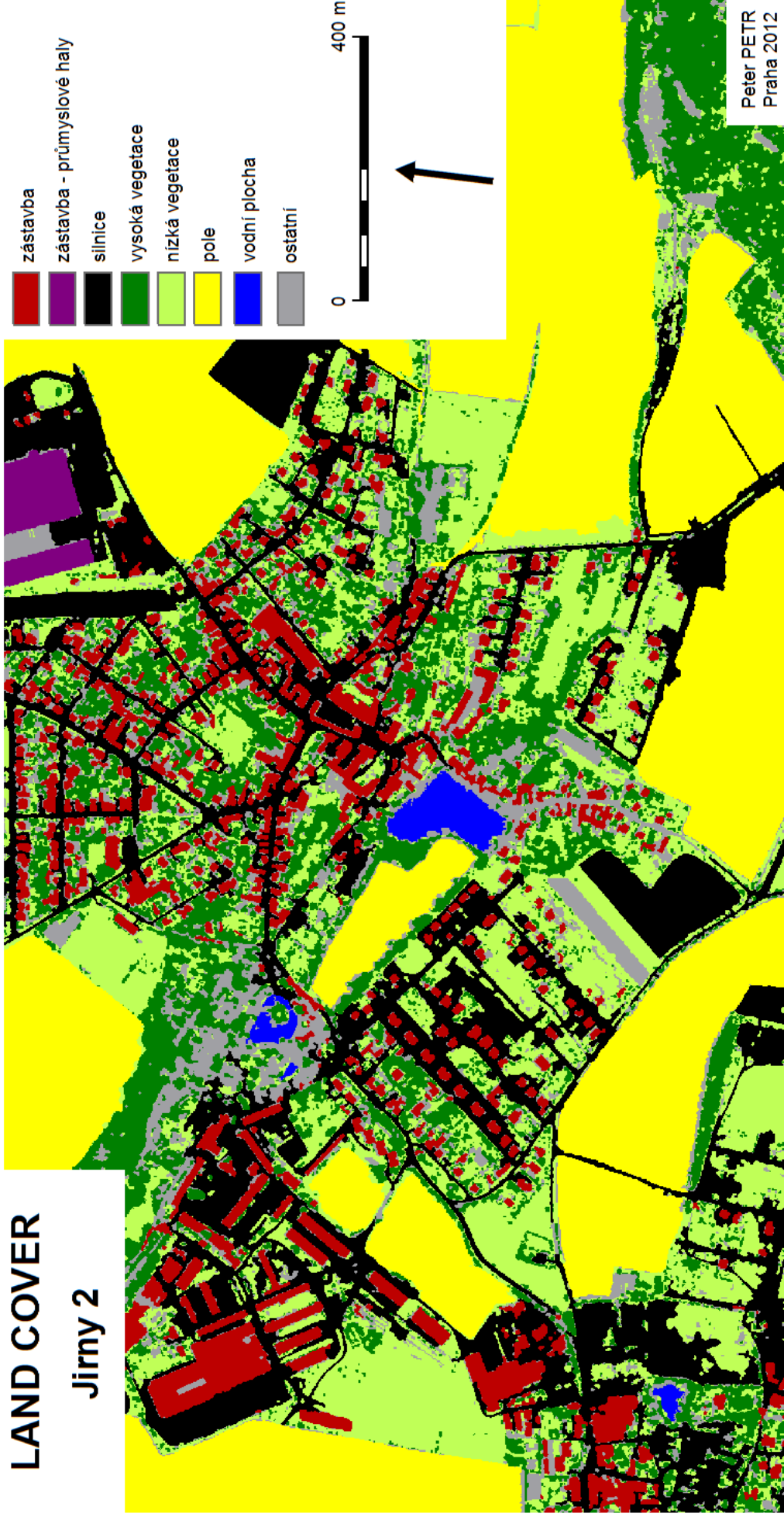
## Jirny 1



Příloha 7: Klasifikace území Jirny 1 – typy střech (sloučení plechových střech)

# LAND COVER

## Jirny 2



Příloha 8: Klasifikace území Jirny 2 – Land Cover

# SILNIČNÍ POVRCH

Jirny 2

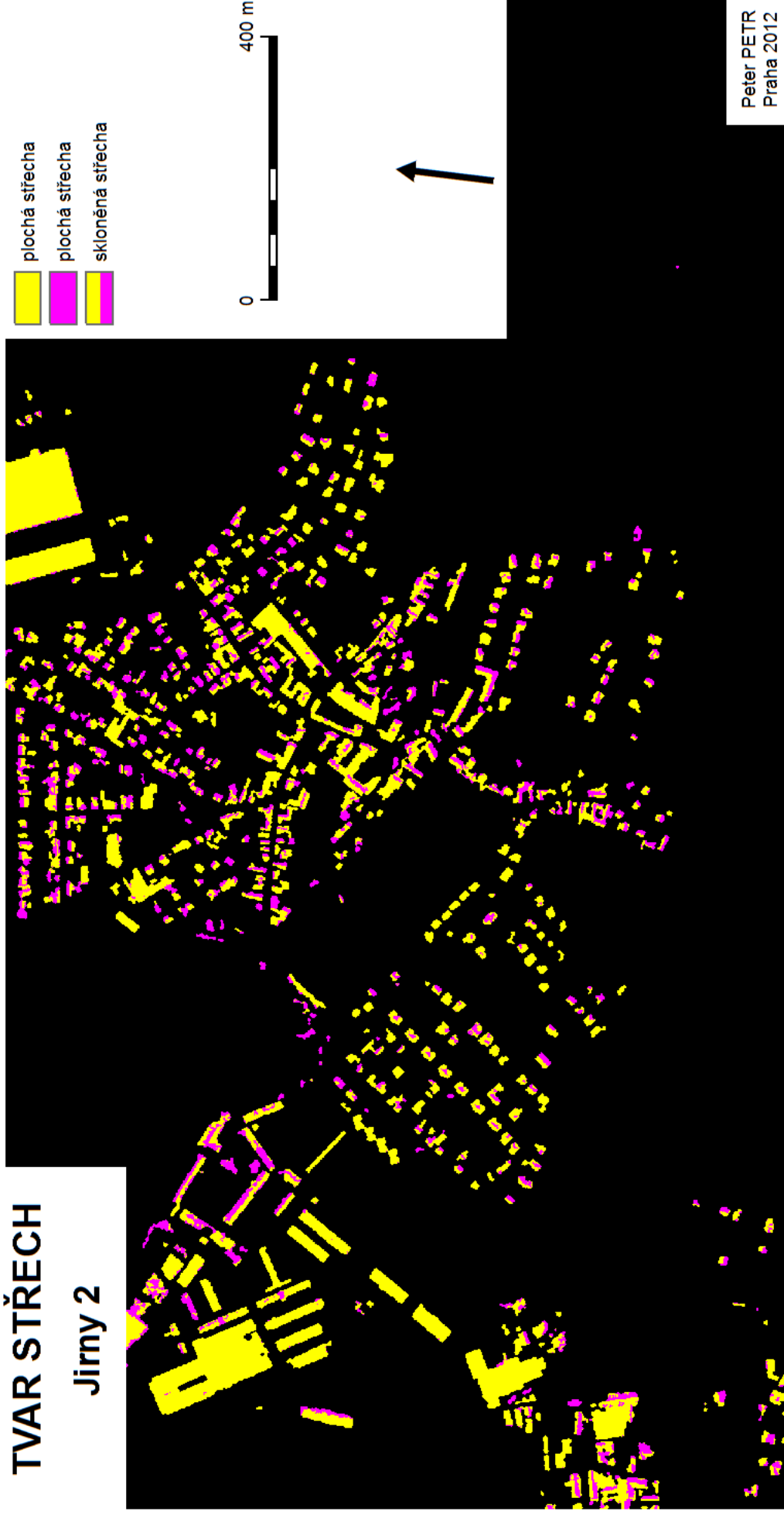


Peter PETR  
Praha 2012

Příloha 9: Klasifikace území Jirny 2 – silniční povrch

# TVAR STŘECH

## Jirny 2

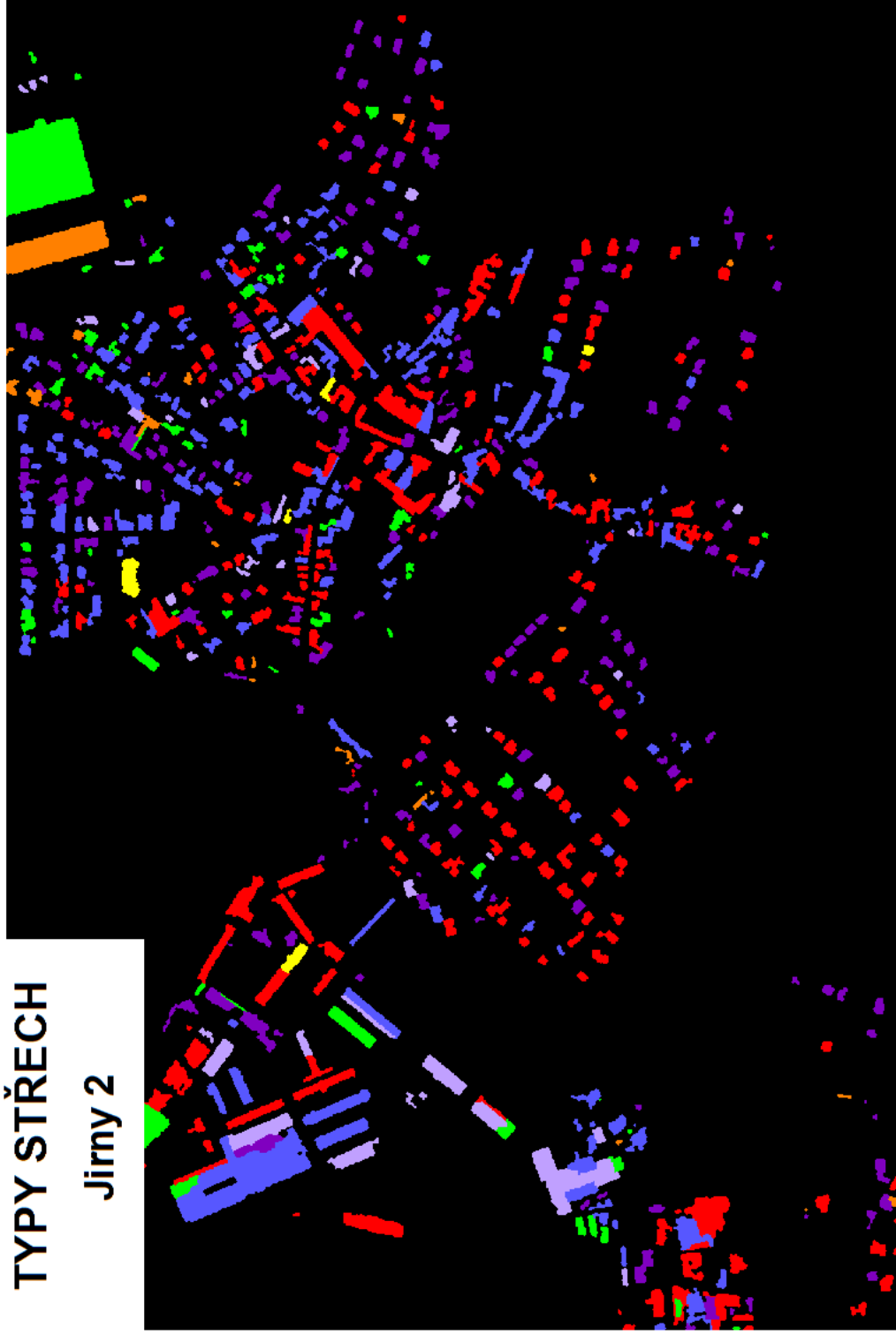


Peter PETR  
Praha 2012

**Příloha 10:** Klasifikace území Jirny 2 – tvary střech

# TYPY STŘECH

## Jirny 2

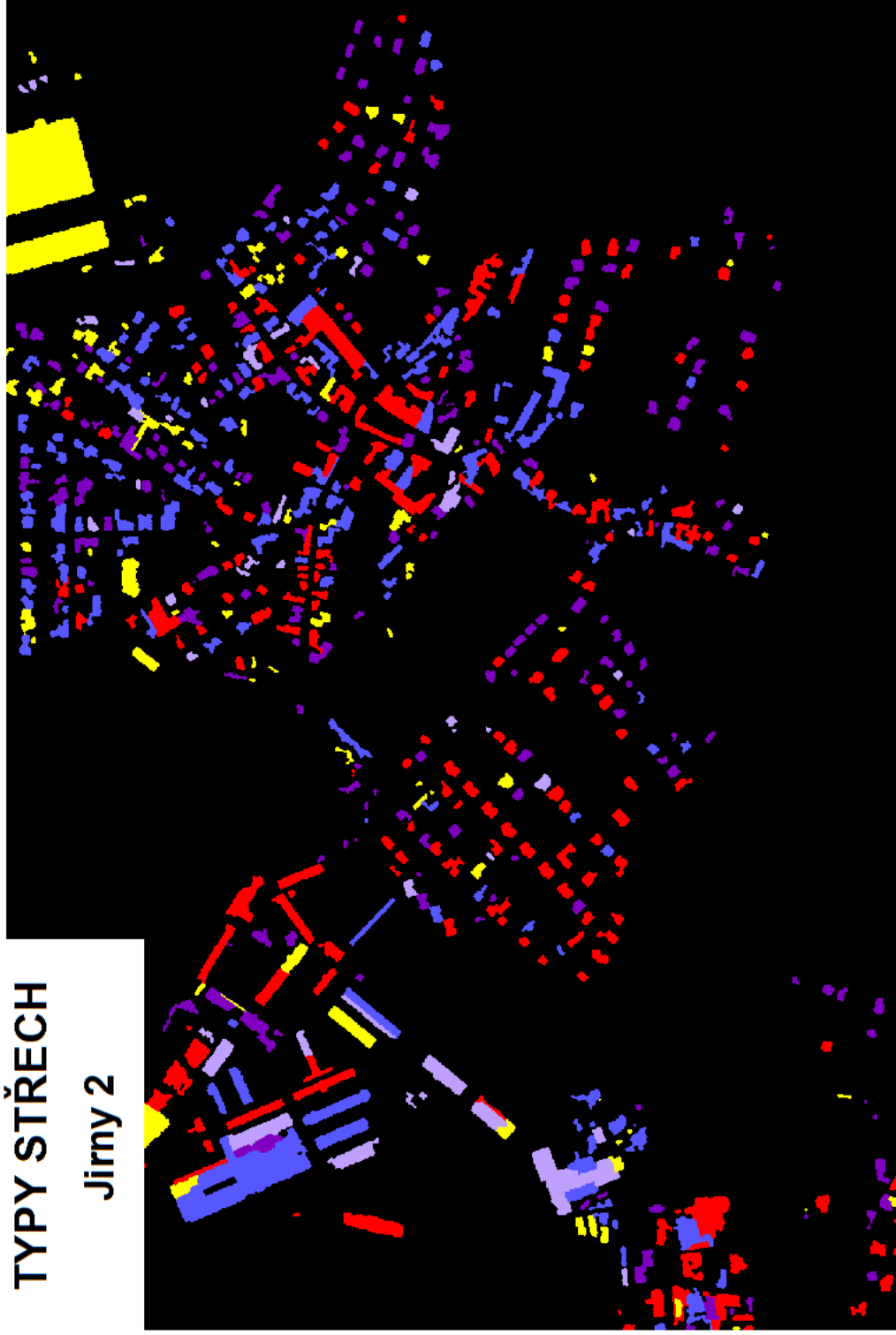


Peter PETR  
Praha 2012

Příloha 11: Klasifikace území Jirny 2 – typy střech

# TYPY STŘECH

## Jirny 2



Peter PETR  
Praha 2012

**Příloha 12:** Klasifikace území Jirny 2 – typy střech (sloučení plechových střech)