

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

**Přírodovědecká fakulta**

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie (bakalářské studium)

Studijní obor: Geografie - kartografie



**VYUŽITÍ LIDAROVÝCH DAT PRO DETEKCI  
A VIZUALIZACI VEGETACE**

**THE USE OF LIDAR DATA FOR VEGETATION DETECTION  
AND VISUALIZATION**

Bakalářská práce

Zuzana Šiková

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

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

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

V Praze dne 22. 7. 2013

.....  
Zuzana Šiková

### **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala především vedoucímu mé bakalářské práce RNDr. Přemyslu Štychovi, Ph.D. za věnovaný čas, cenné rady a připomínky. Dále bych chtěla poděkovat za ochotu a užitečné informace panu RNDr. Jakubu Lysákovi a paní Lucii Patkové za snazší získání potřebných informací a programů pro vypracování této bakalářské práce. V neposlední řadě děkuji rodině a přátelům za podporu v průběhu celého studia.

## **Využití lidarových dat pro detekci a vizualizaci vegetace**

### **Abstrakt**

Primárním cílem této práce je zhodnocení dostupných programů pro účely vizualizace a detekce vegetace na základě využití lidarových dat. Zájmová oblast má rozlohu 200 ha a nachází se v Klínovém dolu nedaleko Špindlerova Mlýna. Data pro vypracování této práce mi byla poskytnuta správou Krkonošského národního parku. Bodové mračno bylo analyzováno v pěti různých programech: ArcGIS 10.1, LAStools, ENVI LIDAR 3.2, BCAL LIDAR Tools a LP 360. V každém programu bylo nejprve bodové mračno vyfiltrováno, aby obsahovalo pouze body představující vegetaci. V dalším kroku byla vypočítána výška každého bodu nad zemským povrchem a poté bylo bodové mračno rozděleno do tří kategorií podle výšky vegetace. V závěru práce jsou porovnány a zhodnoceny výstupy z jednotlivých programů.

**Klíčová slova:** LIDAR, letecké laserové skenování, detekce vegetace

## **The use of LIDAR data for vegetation detection and visualization**

### **Abstract**

The main object of this thesis is to evaluate the available software products for vegetation detection and visualization through the use of LIDAR data. The area of interest covers 200 ha and is situated in the area of Klínový důl nearby Špindlerův Mlýn. Data which are used in this thesis was provided by The Krkonoše mountains national park administration. The cloud of points was analyzed by five different programs: ArcGIS 10.1, LAStools, ENVI LIDAR 3.2, BCAL LIDAR Tools a LP 360. Cloud of points was separated in each program to obtain just the points which represent vegetation only. In the next step the elevation above ground level of every single point was calculated and then the cloud of points was divided in to three categories appropriate with the vegetation height. Outcomes of each program are compared and evaluated at the thesis conclusion.

**Keywords:** LIDAR, airborne laser scanning, vegetation detection

## **OBSAH**

<b>Přehled použitých zkratk</b> .....	<b>7</b>
<b>Seznam obrázků a tabulek</b> .....	<b>8</b>
<b>1 Úvod</b> .....	<b>10</b>
<b>2 Úvod do problematiky</b> .....	<b>12</b>
2.1 Princip laserového skenování .....	13
2.2 Datové výstupy technologie LIDAR .....	16
2.2.1 Discrete return LIDAR .....	16
2.2.2 Waveform LIDAR .....	17
2.3 Spektrální vlastnosti vegetačního pokryvu .....	19
2.3.1 Spektrální vlastnosti listu .....	19
2.3.2 Oblast pigmentační absorpce .....	20
2.3.3 Oblast buněčné struktury .....	20
2.3.4 Oblast vodní absorpce .....	21
2.3.5 Látky ovlivňující odrazivost vegetace .....	21
2.4 Využití leteckého laserového skenování v lesnictví .....	21
2.5 Detekce vegetace pomocí LIDAR .....	23
2.6 Použití interpolace při zpracování dat LIDAR .....	24
2.6.1 Princip interpolace přirozeným sousedem (Natur Neighbor interpolation) .....	24
2.6.2 Princip lineární interpolace .....	25
<b>3 Data a metodika</b> .....	<b>27</b>
3.1 Metody a nástroje zpracování lidarových dat ve zkoumaných software .....	28
3.1.1 ArcGIS 10.1 .....	28
3.1.2 LAStools .....	30
3.1.3 ENVI LIDAR 3.2 .....	32
3.1.4 BCAL LIDAR Tools .....	33
3.1.5 LP 360 .....	37
<b>4 Výsledky</b> .....	<b>38</b>
4.1 ArcGIS 10.1 .....	38
4.2 LAStools.....	40
4.3 ENVI LIDAR 3.2 .....	42
4.4 BCAL LIDAR Tools .....	47
4.5 LP 360.....	51
4.6 Porovnání programů .....	53

<b>5 Diskuze a závěr.....</b>	<b>55</b>
<b>Seznam zdrojů.....</b>	<b>58</b>
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>62</b>

## PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

<b>ASPRS</b>	<b>A</b> merican <b>S</b> ociety for <b>P</b> hotogrammetry and <b>R</b> emote <b>S</b> ensing
<b>BCAL</b>	<b>B</b> oise <b>C</b> enter <b>A</b> erospace <b>L</b> aboratory
<b>CD</b>	<b>C</b> ompact <b>D</b> isc (= kompaktní disk) je optický disk určený pro ukládání digitálních dat
<b>DEM</b>	<b>D</b> igital <b>E</b> levation <b>M</b> odel (=digitální výškový model) je digitální model reliéfu pracující výhradně s nadmořskými výškami bodů
<b>GmbH</b>	<b>G</b> esellschaft <b>m</b> it <b>b</b> eschränkter <b>H</b> aftung (= společnost s ručením omezeným)
<b>GPS</b>	<b>G</b> lobal <b>P</b> ositioning <b>S</b> ystem (= globální polohový systém) je vojenský globální družicový polohový systém provozovaný Ministerstvem obrany Spojených států amerických
<b>HW</b>	<b>H</b> ard <b>W</b> are
<b>INS</b>	<b>I</b> nertial <b>N</b> avigation <b>S</b> ystem (= inerciální navigační systém)
<b>KRNAP</b>	<b>KR</b> konošský <b>NÁ</b> rodní <b>P</b> ark
<b>LADAR</b>	<b>L</b> Aser <b>D</b> etection <b>A</b> nd <b>R</b> anging
<b>LIDAR</b>	<b>L</b> Ight <b>D</b> etection <b>A</b> nd <b>R</b> anging
<b>PPS</b>	<b>P</b> ulse <b>P</b> er <b>S</b> econd = je to elektronický signál, podle kterého se synchronizuje čas
<b>RANSAC</b>	<b>R</b> ANdom <b>S</b> Ample <b>C</b> onsensus
<b>SW</b>	<b>S</b> oft <b>W</b> are
<b>TIN</b>	<b>T</b> riangulated <b>I</b> rrregular <b>N</b> etwork (= nepravidelná trojúhelníková síť)
<b>UTM</b>	<b>U</b> niversal <b>T</b> ransverse <b>M</b> ercator = Mercatorovo příčné válcové zobrazení
<b>WGS 84</b>	<b>W</b> orld <b>G</b> eodetic <b>S</b> ystem <b>1984</b> = světový geodetický standard
<b>ÚHÚL</b>	Ústav pro <b>H</b> ospodářskou <b>Ú</b> pravu <b>L</b> esů
<b>ZABAGED</b>	<b>Z</b> Akladní <b>BÁ</b> ze <b>GE</b> ografických <b>D</b> at

## SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

### Obrázky

Obr. 1	Sběr lidarových dat z letadla .....	14
Obr. 2	Vliv sklonu reliéfu .....	17
Obr. 3	Amplituda odraženého pulsu waveform LIDAR .....	18
Obr. 4	Data pořízená z přístroje ECHIDNA .....	19
Obr. 5	Spektrální odrazivost vegetace v oblasti viditelného a IR záření .....	20
Obr. 6	Propustnost atmosféry – vlnová délka [ $\mu\text{m}$ ] .....	23
Obr. 7	Princip interpolace přirozeným sousedem .....	25
Obr. 8	Lineární interpolace .....	26
Obr. 9	Lineární interpolace v praxi, při vykreslení i Z souřadnice .....	26
Obr. 10	Ukázka panelu LAS Dataset .....	29
Obr. 11	Výchozí nastavení pro funkci „lasground“ .....	31
Obr. 12	Znáznorňuje předvolbu funkce „Produce Trees“ .....	33
Obr. 13	Možnosti aplikace „Perform Height Filtering“ .....	35
Obr. 14	Ukázka profilu malé oblasti ze zájmového území .....	39
Obr. 15	a) Zobrazení části bodové vrstvy „vegetaceGIS“ s rozdělením do 3 kategorií podle výšky vegetace podložené ortofotem b) ortofoto .....	40
Obr. 16	a) Zobrazení části bodové vrstvy „vegetaceLASMax“ s rozdělením do 3 kategorií podle výšky vegetace podložené ortofotem b) ortofoto .....	41
Obr. 17	Výstupy z programu ENVI LIDAR 3.2 podložené ortofotem .....	44
Obr. 18	Výstupy z programu ENVI LIDAR 3.2 podložené ortofotem .....	45
Obr. 19	Výstupy z programu ENVI LIDAR 3.2 podložené ortofotem .....	46
Obr. 20	Aplikace „3D LIDAR viewer“ znázorňující body s výškou $\geq 12$ m .....	47
Obr. 21	Výstupy z BCAL LIDAR – a) Bcal A, b) Bcal B, c) Bcal C, d) ortofoto .....	50
Obr. 22	Výstupy z BCAL LIDAR – a) Bcal D, b) ortofoto .....	51
Obr. 23	Ukázka profilu malé oblasti ze zájmového území .....	52
Obr. 24	Vygenerované vrstevnice části zájmového území v aplikaci „3D Viewer“ .....	52

### Tabulky

Tab. 1	Jednotlivé třídy klasifikace pro funkci „LAS to Multipoint“ .....	29
Tab. 2	Druhy výstupních souborů u funkce „lascanopy“ .....	32
Tab. 3	Přehled výstupů pro funkci „Vegetation Products“ .....	36, 37
Tab. 4	Rozřazení bodů podle výšky vegetace z programu ArcGIS 10.1 .....	40
Tab. 5	Rozřazení bodů podle výšky vegetace z aplikace LAStools .....	41
Tab. 6	Charakteristika jednotlivých vrstev z programu ENVI LIDAR 3.2 .....	42
Tab. 7	Maximální a minimální výška stromů .....	43



Tab. 8	Charakteristika bodových mračen analyzovaných v BCAL LIDAR Tools .....	48
Tab. 9	Rozřazení bodů podle výšky vegetace z aplikace BCAL LIDAR Tools .....	49
Tab.10	Rozloha plochy jednotlivých kategorií u výstupů z aplikace BCAL LIDAR Tools..	49

## KAPITOLA 1

### Úvod

Lidé se již od nepaměti zajímají o krajinu, ve které žijí. Krajina byla v dřívější době pro lidi nepostradatelná, jelikož pro ně představovala zdroj potravy, poskytovala jim zázemí a byla zdrojem výdělku.

I v dnešní moderní době se lidé aktivně zajímají o přírodu. Na území České republiky se provádí podrobný a pravidelný průzkum lesních porostů, který známe pod názvem „Inventarizace lesů“. Tento program má v ČR dlouhodobou tradici, takže umožňuje stanovit a ověřit trendy nárůstu či poklesu těžby dřeva, vývoje porostních zásob nebo množství dřevní hmoty. Hlavním cílem inventarizace lesů je zhodnocení základních funkcí lesa, jako je biologická diverzita lesních ekosystémů, vitalita a zdraví lesních porostů a produkční schopnost lesa (ÚHÚL, 2003).

V dnešní době se při průzkumu lesních porostů používá čím dál častěji metoda leteckého laserového skenování, která nám umožňuje během krátkého časového intervalu pořídit ohromný počet výškopisných a polohopisných dat o zájmovém území (Mikita; Klimánek, 2013).

Téma této bakalářské práce mě upoutalo hlavně tím, že se metody laserového skenování začínají rozšiřovat do různých vědních oborů a do budoucna se dá očekávat, že se budou dále rozvíjet a stanou se nepostradatelnou metodou v mnoha vědních disciplínách.

Hlavním cílem této práce bylo hodnocení funkcionality dostupných SW programů pro účely vizualizace a potažmo též detekce vegetačního krytu. Pro splnění tohoto cíle byla data vizualizována a hodnocena v různých SW programech, které jsou momentálně nabízeny jak volně, tak i na komerčním trhu.

Základním hlediskem bylo rozdělení bodů reprezentující zemský povrch od bodů představující vegetační kryt. Body, jenž reprezentují vegetaci, byly rozděleny do tří kategorií na základě jejich výšek. Tímto postupem bylo umožněno porovnání a ohodnocení dostupných programů co se týče možností načítání a zpracování lidarových dat pro základní hodnocení a vizualizace vegetačního krytu. Účelem práce je tedy vzájemné porovnání funkcionality hodnocených programů, usnadnění výběru vhodného nástroje pro zpracování lidarových dat pro základní operace v procesu vizualizace a detekce vegetačního krytu.

Tato práce je rozčleněna na několik částí. V úvodní teoretické části je diskutována problematika tohoto tématu. Čtenář se zde seznámí s principem pořizování dat leteckého laserového skenování, jsou zde podrobně popsány hlavní možnosti výstupových informací z těchto dat. Dále je zde zevrubně popsána spektrální vlastnost vegetace. V následující metodické části jsou podrobně popsána vstupní data a metody hodnocení vizualizace a zpracování dat. V další části jsou prezentovány výsledky. Metody a dosažené výsledky jsou diskutovány v závěrečném zhodnocení práce.

## KAPITOLA 2

### Úvod do problematiky

V dnešní době se čím dál častěji využívá technologie laserového skenování, která nachází široké uplatnění v různých oborech, jako jsou architektura, archeologie, dálkový průzkum Země, meteorologie či ochrana životního prostředí (Dolanský, 2004). Tato metoda přináší revoluci v pořizování potřebných dat, jelikož je výrazně rychlejší a ekonomičtější než pozemní měření (John, 2011). Jedná se o metodu, která umožňuje sběr ohromného množství polohopisných a výškopisných dat. Z těchto dat dokážeme získat podrobné informace jak o zemském povrchu, tak o objektech nacházejících se na něm, jako jsou např. budovy, komunikace či stožáry vysokého napětí (Mikita; Klimánek, 2013).

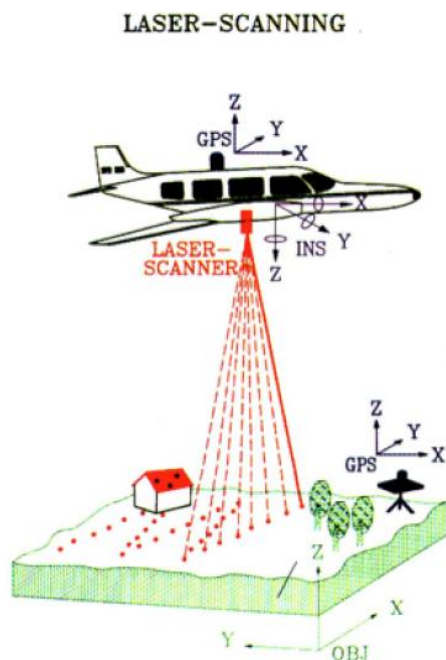
Laserové skenování není žádnou novinkou na trhu, bylo vyvinuto již před 40 lety. Původně se tato technologie používala pro zkoumání částic v atmosféře. Měření probíhalo ze zemského povrchu. Během 80. let 20. století s vývojem GPS systémů se započalo s laserovým skenováním ze vzduchu. Tuto technologii nazýváme LIDAR. Z počátku nebyla polohová přesnost nijak převratná, až po roce 1990 bylo dosaženo zpřesnění na decimetry. V dnešní době se polohová přesnost určuje v řádu centimetrů. V průběhu vývoje této technologie dochází k neustálému zpřesňování a zdokonalování dat (Schmid et al., 2012).

Slovo LIDAR je zkratka, která pochází z anglického sousloví „Light Detection And Ranging“. Někdy se akronymum slova LIDAR zaměňuje s akronymem LADAR, které znamená „Laser Detection and Ranging“ (Bachman, 1979).

## 2.1 Princip laserového skenování

Základní princip technologie LIDAR, je velmi jednoduchý. Z laserového skeneru je směrem k zemskému povrchu vyslán velmi vysokou rychlostí laserový puls, u kterého se měří čas a množství energie. Čas ( $t$ ) představuje dobu, která je potřebná k tomu, aby laserový puls dopadl na zemský povrch, od kterého se odrazí zpátky k laserovému skeneru, kde je zachycen velmi citlivým detektorem. Tato doba nám umožňuje změřit vzdálenost mezi laserovým skenerem a objektem ( $d$ ), od kterého se laserový puls odrazil. Z toho vyplývá vztah:  $t = \frac{2d}{c}$ , kde  $c$  je rychlost světla ( $299,79 \times 10^6$  m/s).

Potom lze změřit vzdálenost mezi laserovým skenerem a svrchní částí vegetačního krytu ( $t_1$ ) a vzdálenost mezi zemským povrchem ( $t_2$ ) a laserovým skenerem. Posléze se může z těchto informací vypočítat výška vegetačního krytu ( $h$ ). Tento vztah lze zapsat:  $h = d_1 - d_2 = \left(\frac{c}{2}\right)t_1 - t_2$ , kde  $d_1$  je vzdálenost mezi zemským povrchem a laserovým skenerem,  $d_2$  představuje vzdálenost mezi svrchní částí vegetačního krytu a laserovým skenerem. Důležitou součástí technologie LIDAR jsou také samozřejmě navigační systémy, které dokáží určit přesnou polohu bodu, od kterého se puls odrazil (Lewis, Hancock, 2007). Na obrázku 1 je znázorněn princip pořizování lidarových dat.



**Obr. 1** Sběr lidarových dat z letadla (zdroj: <http://www.sbgmaps.com/lidar.htm>)

Na komerčním trhu se vyskytuje několik firem, které vyrábějí laserové skenery. Jejich přístroje se navzájem od sebe v drobnostech odlišují, ale jejich základ je vždy stejný. Každý laserový skener má v sobě zabudovaný GPS s INS (inerciální navigační systém), dále laserovou a skenovací jednotku.

Laserová jednotka se skládá z laserového vysílače a přijímače, jejichž optická osa je identická. Výška letu a divergence světelného paprsku určují velikost stopy laserového pulsu. Okamžité zorné pole senzoru je přesně určeno divergencí světla.

Ve skeneru se zpravidla nachází pohybující se zrcadlo, které vychyluje paprsek v příčném směru letu mimo svou osu, aby laserový skener mohl zaznamenat při jednom letu větší část území. Dopředný pohyb laserového paprsku naopak zajišťuje samotné letící letadlo. Zorné pole, které je definované celkovým úhlem záběru, má nejčastěji velikost v rozmezí 20-30°. Existují však i skenery se zorným polem až 70°.

Kontrolní jednotka, neboli řídicí jednotka, má za úkol zajistit přesnou spolupráci skeneru a laserové jednotky. To je zajištěno vnitřními hodinami, jejichž čas je pravidelně synchronizován s hodinami GPS prostřednictvím PPS (pulse per second), což je signál generovaný vnitřními hodinami GPS přijímače (Dolanský, 2004).

Navigační jednotka pomocí několika gyroskopů dokáže velice přesně zjistit náklony celého systému (letadla) směrem k tížnici. Také díky této navigační jednotce lze určit

zrychlení letadla, které se měří akcelerometrem, čímž je možno zpětně učit polohovou složku letu. Z těchto dat lze tedy vypočítat trajektorii letu. Její poloha se bude ale od skutečné trajektorie v průběhu času stále více odklánět, což po určité době překročí povolenou odchylku. Proto se k přesnému určení trajektorie letu využívá systému GPS. GPS nám dokáže určit přesnou polohu letadla vztaženou k nějakému referenčnímu systému. Pro toto zjištění využívá jednu referenční stanici na známém geodetickém bodě a druhou stanici, která se nachází na palubě letadla (Dolanský, 2004).

V současnosti se na trhu vyskytuje velká škála různých emitörů, které lze použít jako zdroj laserového záření. U leteckého laserového skenování se nejčastěji používají dva druhy pevnolátkových laserů. Nejprve se používaly rubínové lasery, které v dnešní době nahrazují modernějšími Nd : YAG lasery (Dolanský, 2004). Pevnolátkový rubínový laser byl první fungující laser na světě. Byl zkonstruován v roce 1960 americkým fyzikem T. H. Maimanem. Aktivním prostředím rubínového laseru je monokrystal rubínu  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Cr}^{3+}$ , který generuje záření o vlnové délce  $0,6943 \mu\text{m}$  (Vrbová; Jelínková; Gavrilov, 1994a). Laser Nd: YAG byl poprvé popsán již v roce 1964. Dokáže vytvořit záření o vlnové délce  $1,3 \mu\text{m}$ . „Za tímto názvem se skrývá laser s nosným prostředím z monokrystalu yttrito-hlinitého granátu s aktivními ionty  $\text{Nd}^{3+}$  zabudovanými do krystalové mřížky (Engst; Horák, 1989, s. 45).“ Tento typ laseru našel široké uplatnění i v jiných oborech. Můžeme se s ním setkat v lékařství, kde se používá kontinuální Nd : YAG skalpel v chirurgii a pulsní Nd : YAG laser v oční mikrochirurgii nebo v průmyslových odvětvích, kde se uplatňuje při řezání, sváření či vrtání (Vrbová, 1994b).

Letecké laserové skenování má mnoho výhod. První výhodou je to, že se skenování může provádět i v noci, kdy je vzduch čistější, obloha je častěji bez oblačnosti a bez velkého letového provozu. Na rozdíl od radarových technologií dokáže laserový paprsek proniknout vegetací, mraky, deštěm nebo mlžným oparem. Jeho další potenciál se skrývá v tom, že umožňuje pořizovat data ve velmi vysokém rozlišení s výbornou polohovou přesností, která se měří na centimetry (Schmid et al., 2012). Nevýhodou těchto dat hlavně typu waveform je prozatím jejich vysoká pořizovací cena. Dalším faktorem, který negativně ovlivňuje využívání těchto dat, je současný software ve výpočetní technice, který zatím nedokáže plně využít

možností lidarových dat. Do budoucna se očekává velký rozmach této technologie, která najde uplatnění v mnoha dalších oborech (Pirotti, 2011).

## 2.2 Datové výstupy technologie LIDAR

Při lidarovém skenování se můžeme setkat se dvěma hlavními typy dat, která se v současné době nejčastěji využívají.

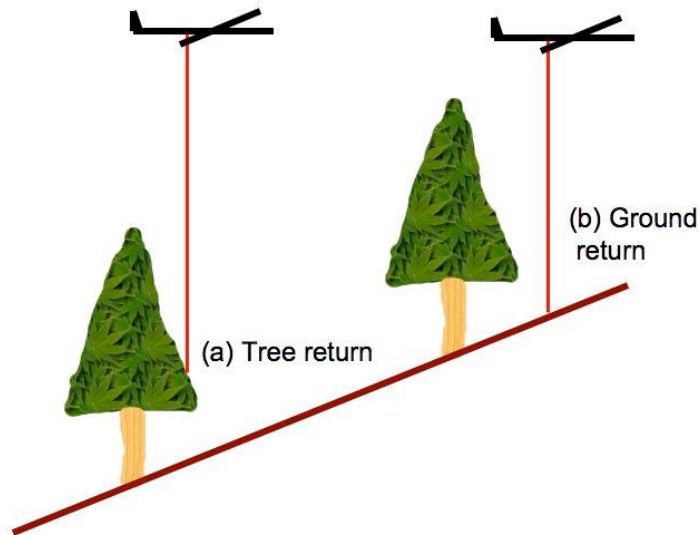
### 2.2.1 Discrete return LIDAR

Discrete return LIDAR vysílá k zemskému povrchu puls, jehož divergentní úhel je velmi malý, čímž způsobí, že naskenovaná plocha má obvykle velikost 10 až 30 cm. Například puls, který je vyslán pod úhlem 0,1 mrad z výšky 1000 m, zaznamená oblast o velikosti 10 cm. Tyto paprsky mají poměrně vysokou pravděpodobnost proniknout skrz korunu stromů a odrazit se od zemského povrchu. Kvůli malé letové výšce, ze které je laserové skenování prováděno, mohou být podrobněji zachycené jednotlivé objekty. Nevýhoda těchto pulsů spočívá v tom, že mohou být zcela pohlceny vegetací, a tudíž nedopadnou na zemský povrch. Dále se puls nemusí pokaždé odrazit od špičky stromu, což při následné analýze způsobí podhodnocení výšky stromu. Discrete return LIDAR dokáže zachytit pouze dva zpětné odrazy vyslaného laserového pulsu. První odraz se uskuteční na horní vrstvě vegetace (př.: koruna stromu). Druhý (poslední) puls se odrazí až od zemského povrchu. Na základě těchto parametrů je možné zjistit výšku stromů (Zimble et al., 2003).

Při zpracování těchto dat se musí od sebe nejprve oddělit dva typy bodů. První typ bodů znázorňuje zemský povrch, druhý typ představuje vše, co se nachází na zemském povrchu (např.: vegetace, budovy, stožáry vysokého napětí). Tohoto rozdělení můžeme dosáhnout tím, že například použijeme algoritmus, který vyfiltruje všechna lokální minima. Při této metodě musí být ale brán v potaz sklon svahu (Kalogiou, 2006). Na obrázku 2 je znázorněna problematika odvození digitálního modelu reliéfu z těchto dat, je-li větší sklon terénu. V případě vzorku a) je puls odražen od koruny stromu. V případě vzorku b) je puls odražen od zemského povrchu, ale tento bod je výš než bod ve vzorku a). To může způsobit nepřesnosti v odvozeném digitálním modelu terénu, kdy bod a) může být vyhodnocen jako lokální minimum a může být zařazen k bodům, které znázorňují zemský povrch. Zkreslené výsledky při modelaci digitálního modelu reliéfu mohou nastat také v případě, když je v lese hustý přízemní rostlinný porost,



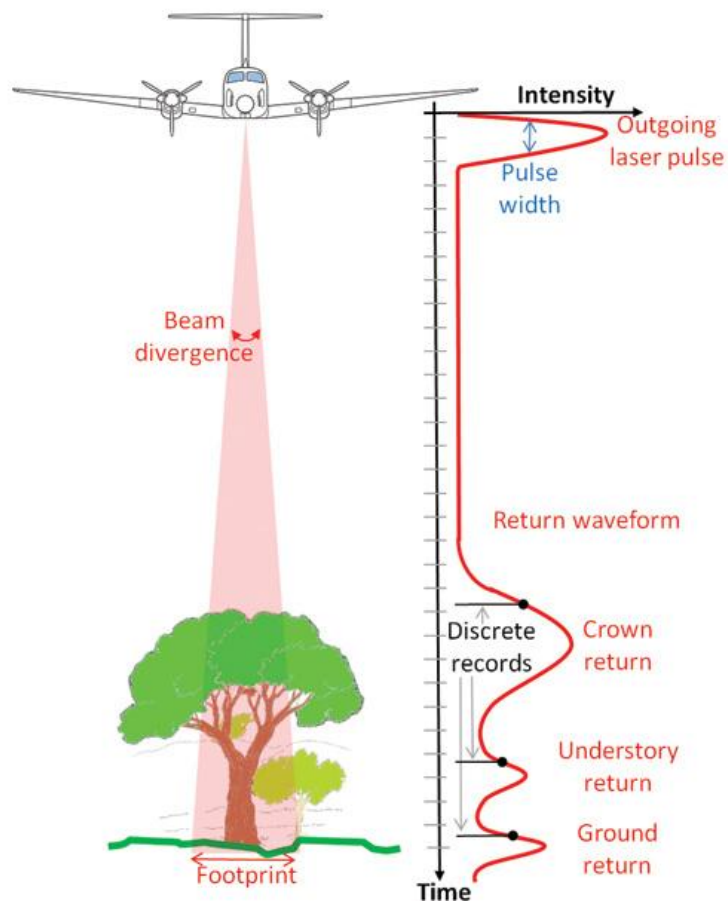
kdy puls nemusí projít podrostem, ale odrazí se od něho. S touto možností se můžeme setkat v oblastech, kde se nachází opadavý les (Lewis; Hancock, 2007).



Obr. 2 Vliv sklonu reliéfu (zdroj: Lewis; Hancock, 2007)

### 2.2.2 Waveform LIDAR

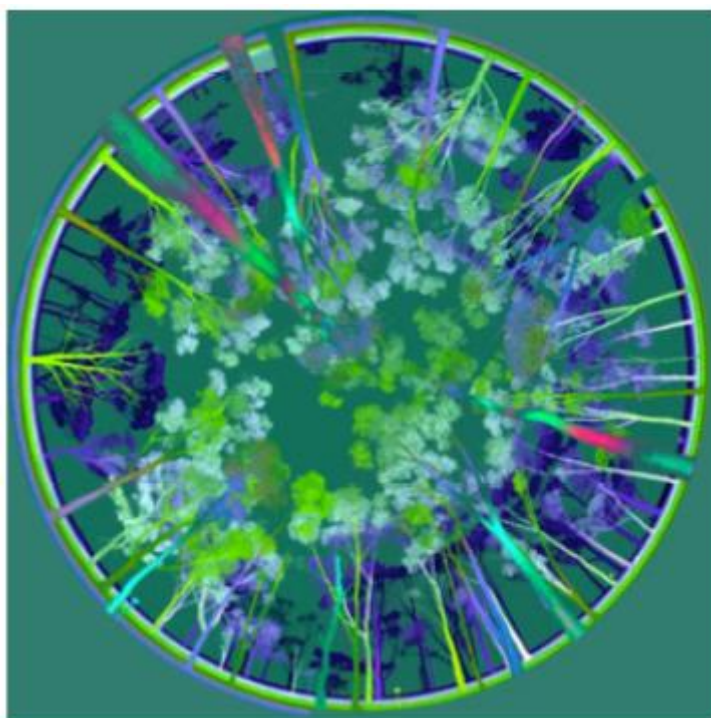
Na rozdíl od dat pořízených metodou laserového skenování discrete-return se data z waveform zaznamenávají v pravidelných časových intervalech (obvykle 1ns), takže poskytují podrobnější informace o zkoumané oblasti. U každého laserového pulsu se zaznamenává geografická poloha pomocí GPS a INS. V závislosti na frekvenci laserového pulsu můžeme měnit velikost rozlišení pořizovaných dat. Například mnoho systémů LIDAR měří v časovém intervalu 1 ns, což odpovídá frekvenci 1 GHz, čímž kvalita rozlišení je cca 15 cm. Senzor, který zaznamenává zpětné odrazy pulsů, musí být velmi citlivý a rychlý, neboť musí zachytit i nízké úrovně intenzity odraženého pulsu. Z tohoto důvodu je nutno data waveform před použitím nejprve normalizovat, aby došlo k odstranění případných chyb, které mohly při pořizování vzniknout (např. šum či extrémní hodnoty) (Pirotti, 2011). Na obrázku 3 můžeme zřetelně vidět amplitudu odraženého pulsu, u které lze obvykle vyzorovat dva hlavní vrcholy, kdy první, zvýšený odraz, náleží koruně stromu a druhý patří zemskému povrchu.



**Obr. 3 Amplituda odraženého pulsu waveform LIDAR**

(zdroj: [http://www.imagingnotes.com/ee\\_assets/volume26/fernandez/figure2.jpg](http://www.imagingnotes.com/ee_assets/volume26/fernandez/figure2.jpg))

V Austrálii vyvinula v roce 2003 společnost SCIRO nový systém waveform LIDAR nazývaný ECHIDNA, který pořizuje data z pozemního měření. Tato technologie skrývá velký potenciál, který by se mohl využít v určení struktury lesa. Naskenovaná data zobrazuje do polokulovitého tvaru (obrázek 4). V dnešní době se používá pro výpočet hustoty lesních porostů (Jupp et al., 2005).



Obr. 4 Data pořízená z přístroje ECHIDNA (zdroj: Jupp et al., 2005)

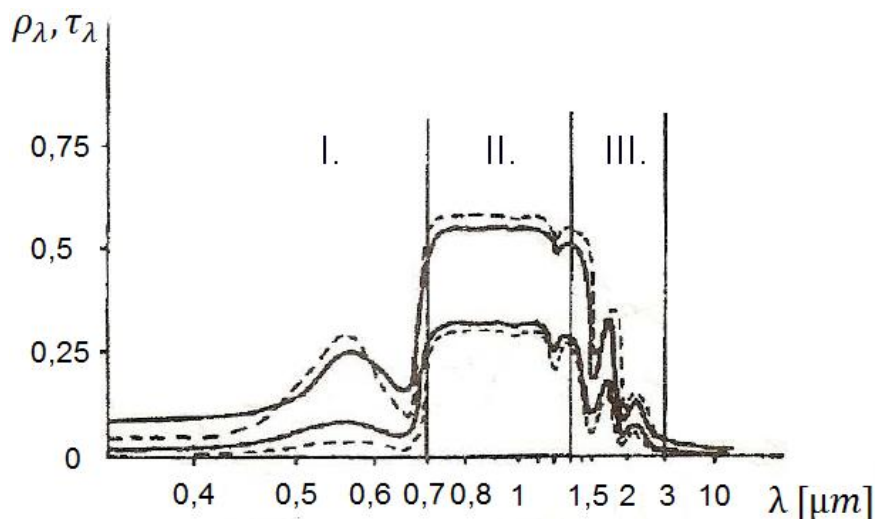
## 2.3 Spektrální vlastnosti vegetačního pokryvu

Rostlinstvo představuje významnou složku na zemském povrchu. Vyskytuje se skoro ve všech zeměpisných šířkách v hojném počtu, výjimku tvoří pouze oblasti s extrémními teplotními podmínkami, jako jsou polární oblasti a pouště. Jinak se rostlinstvo nachází na všech datových souborech, které byly pořízeny z letadlových či družicových nosičů. Nejčastějšími druhy vegetačního pokryvu jsou listnaté a jehličnaté stromy, zemědělské plodiny a travní porosty. „Spektrální projev porostu určitého rostlinného druhu je výslednicí odrazivých a emisních vlastností různých částí rostliny i jejího pozadí, které jsou závislé na obrovském počtu stavových parametrů“ (Kolář; Halounová; Pavelka, 1997, s. 41). Laserový puls se u rostlin nejčastěji odrazí od listů.

### 2.3.1 Spektrální vlastnosti listu

Spektrální vlastnosti listu stanovují jednotlivé prvky, jako jsou tuky, cukry, oleje, buněčná tekutina, celulóza, lignin a proteiny. Každý druh rostliny vykazuje určité specifické spektrální vlastnosti, všechny rostliny však vykazují zřetelné společné vlastnosti, kterými lze charakterizovat vegetaci. Důležitou roli v odrazivosti povrchu

listu představuje struktura listu a jeho stáří. Spektrální odrazivost vegetace lze znázornit křivkou, kterou je možno rozdělit na tři části podle hlavních činitelů ovlivňujících velikost spektrální odrazivosti. Tato křivka je znázorněna na obrázku 5. První část je pigmentační absorpce v pásmu 0,4 – 0,7  $\mu\text{m}$ , druhá část patří do pásma 0,7 – 1,3  $\mu\text{m}$ , kde spektrální odrazivost určuje buněčná struktura. Poslední částí je oblast vodní absorpce od 1,3 – 3  $\mu\text{m}$  (Kolář, 1990).



Obr. 5 Spektrální odrazivost vegetace v oblasti viditelného a IR záření  
(zdroj: Higham, Wilkinson, Kahn, 1975)

### 2.3.2 Oblast pigmentační absorpce

Ve viditelné oblasti záření ovlivňují průběh spektrální křivky listu pigmentační látky. Nejčastější pigmentační látku, která se nachází v rostlinách, nazýváme chlorofyl. Ve spektrálním pásmu modrého a červeného světla dokáže chlorofyl pohltit většinu zářivé energie. Naopak v pásmu zeleného světla je odrazivost maximální (Kolář, 1990).

### 2.3.3 Oblast buněčné struktury

V pásmu blízkého infračerveného záření, které má vlnovou délku o velikosti 0,72 – 1,3  $\mu\text{m}$ , je hlavním faktorem ovlivňujícím odrazivost morfologická struktura listu. Spektrální charakteristika listu je dána velmi nízkou pohltivostí buněk (0,05 – 0,25). Hlavní stavební látkou listu je celulóza, jejíž index lomu dosahuje hodnoty 1,4, čemuž odpovídá odrazivost cca 6 %. Celková odrazivost listů v pásmu blízkého infračerveného záření je ale mnohonásobně vyšší, což je způsobeno několikanásobným odrazem uvnitř listu (Kolář, 1990).

### **2.3.4 Oblast vodní absorpce**

V této oblasti je spektrální odrazivost určována výraznými absorpčními pásy vody. Tyto pásy jsou charakteristické pro vlnové délky 1,4  $\mu\text{m}$ , 1,9  $\mu\text{m}$  a 2,7  $\mu\text{m}$ . Největší pás, který má vlnovou délku 2,7  $\mu\text{m}$ , se označuje jako hlavní vibrační absorpční pás vody. Voda jako jediná látka na zemském povrchu, má prudký nárůst odrazivosti z absorpčního pásu v červené barvě do oblasti vysoké odrazivosti v blízkém infračerveném pásu (Kolář, 1990).

### **2.3.5 Látky ovlivňující odrazivost vegetace**

Obsah vody v rostlině výrazně ovlivňuje celkovou intenzitu odrazivosti vegetace, což se týká zvláště oblasti infračerveného záření. V podstatě lze říci, že spektrální odrazivost listu se zvyšuje, jestliže se obsah vody v listu snižuje. Toto tvrzení platí pro oblast viditelného a infračerveného záření. Když se vlhkost listu sníží pod 55 %, přijde rostlina o značnou část chlorofylu, a to způsobí zvýšení odrazivosti v oblasti pigmentační absorpce. Následkem úbytku obsahu vody v listu se také změní vnitřní struktura listu, tudíž se změní i odrazivost listu v blízkém infračerveném pásmu.

Dalšími látkami, které ovlivňují odrazivost listů, jsou minerály, protože působí na správný růst rostlin. Působení minerálů je patrné v oblasti infračerveného záření v rozsahu 0,75  $\mu\text{m}$  – 0,9  $\mu\text{m}$ . Například vyšší obsah mědi reguluje růst rostlin a ovlivňuje počet listů. Naopak na půdách, které obsahují vyšší množství bóru, se rostliny vyznačují nadměrným růstem neboli gigantismem (Halounová; Pavelka, 2005).

## **2.4 Využití leteckého laserového skenování v lesnictví**

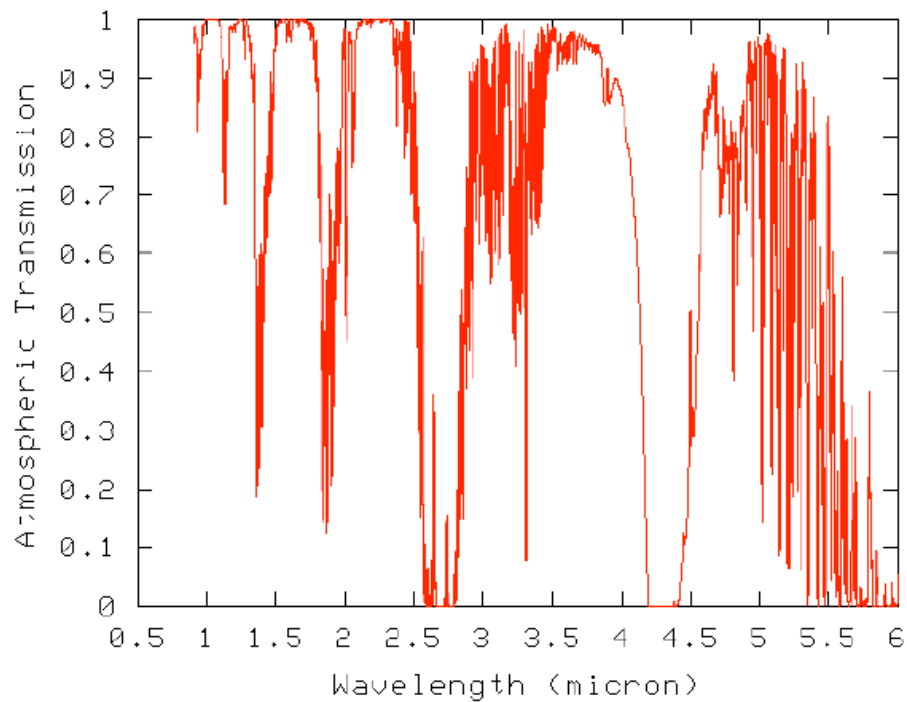
Dříve se v lesnickém průmyslu, když chtěli zjistit zásoby dřeva, strukturu či zdraví lesa, museli spoléhat na topografické mapy, letecké snímkování a hlavně na terénní průzkum. Nyní nám právě lidarová technologie velmi ulehčuje práci. Při laserovém skenování terénu dokáže paprsek proniknout přes vegetaci, a tím mnohem lépe určit skutečný tvar terénu a vegetačního krytu.

Lidarová technologie umožňuje vylepšení současných metod, které určují charakteristiku lesa. Tradiční metody, které určují zásobu dřeva v lese, jsou založeny na terénním průzkumu a měření. Tato výběrová metoda je nejvíce používán v lesích,

kde měřit každý strom je prakticky i finančně nemožné. Proto se šířka a výška stromů měří pouze na určité reprezentativní ploše. Následně jsou pak tyto výsledky aplikovány na celou oblast, která sdílí podobné vlastnosti jako ta reprezentativní. Takovéto výsledky napomáhají k lepšímu hospodaření v lesích, jsou ale dosti nepřesné, zdlouhavé a nákladné. Proto v poslední době mnoho organizací, které spravují lesní plochy, používá letecké laserové skenování, které umožňuje efektivnější hospodaření. Protože z leteckého laserového skenování se dá získat mnoho informací (např. digitální výškový model terénu, výška stromů, struktura lesa, tvar či objem koruny stromu) (ESRI, 2010).

Potenciál leteckého laserového skenování pro kvalitnější hodnocení lesa byl zkoumán již v minulosti. I dřívější technologie discrete return LIDAR, která umožňovala zachytit pouze první a poslední odraz pulzu, byla využívána k určování jednotlivých stromů, výšky stromů či velikosti koruny stromů. Při využívání těchto dat docházelo však k častému podhodnocování výšky stromů, jelikož bod prvního odrazu se často nenacházel na špičce stromu. Dalším úskalím těchto dat byla problematika určení počtu samotných stromů na určité ploše, jelikož při analýzách z dat discrete return LIDAR vznikaly spíše malé skupiny stromů. Tato metoda měla další velkou nevýhodu, že nedokázala zachytit vegetaci, která se nacházela mezi korunami stromů a zemským povrchem (Solberg et al., 2006; Brandtberg, 2007).

Pro kvalitnější určení vegetačního krytu se laserový puls nejčastěji vysílá o vlnové délce 1,064  $\mu\text{m}$ , což je blízké infračervenému záření (Lewis; Hancock, 2007). V oblasti blízkého infračerveného záření dochází k vysoké odrazivosti vegetace díky buněčné struktuře listu, která má v této vlnové oblasti velmi nízkou pohltivost. Dalším důvodem je propustnost atmosféry, která dosahuje v této vlnové délce hodnoty cca 0,89, kdy maximální propustnost atmosféry je rovna 1 (Halounová; Pavelka, 2005). Propustnost atmosféry v závislosti na vlnové délce je znázorněna na obrázku 6.



**Obr. 6 Propustnost atmosféry – vlnová délka [μm]**

(zdroj: [http://chunjiao.astro.ncu.edu.tw/~daisuke/ja/Research/Astronomy/Observation/NearInfrared/AtmosphericTransmission/AtmosphericTransmission\\_1to6.png](http://chunjiao.astro.ncu.edu.tw/~daisuke/ja/Research/Astronomy/Observation/NearInfrared/AtmosphericTransmission/AtmosphericTransmission_1to6.png))

## 2.5 Detekce vegetace pomocí LIDAR

Pomocí dat full-waveform LIDAR může zpřesnit analýzy, které se používají pro plánování těžby dřeva. Dále se z dat dají velmi dobře odhadnout dendrologické vlastnosti vegetace. Přesnost výsledků detekce samostatných stromů je omezena hustotou bodů leteckého laserového skenování, proto se pro tuto analýzu využívají častěji full-waveform data (Reitberger et al., 2009a). Reitberger et al. (2008) se pokusili od sebe odlišit listnaté a jehličnaté stromy. Pro jejich analýzu byly použity full-waveform LIDAR data, jejichž hustota byla 25 bodů na m<sup>2</sup>. Laserové skenování oblasti bylo realizováno ve dvou odlišných ročních obdobích kvůli listnatým opadavým stromům. Jejich výsledky byly velice pozoruhodné. V období, kdy listnaté stromy byly olistěné, dosahovala přesnost klasifikace 85 %. Ještě lepších výsledků však bylo dosaženo v době, kdy listnaté stromy byly bez listů, což umožnilo zpřesnit rozdělení listnatých a jehličnatých stromů na 95 %.

Kromě toho byla tato data využita také pro analýzu, která se zabývala zpřesněním odhadu počtu samostatných stromů na určité ploše. Pro tento úkol využili Reitberger et al. (2007) algoritmus cluster, jehož funkce se podobá principu algoritmu RANSAC

(RANDOM SAMPLE CONSENSUS). Míra pravděpodobnosti správného určení byla závislá na hustotě výsadby jednotlivých stromů a též na míře olistění. U jehličnatých stromů dosahovaly výsledky 61 %, naproti tomu u listnatých stromů pouze 41 %.

Holmgren et al. (2004) ve svém výzkumu zabývali otázkou, zda lze pomocí technologie LIDAR určit druhy jehličnatých dřevin. Jejich výsledky byly velice zajímavé. Holmgren et al. (2004) dokázali s přesností na 95% určit, zda se jedná o smrk či borovici. Dalšímu určení dřevin se blíže věnoval Heurich (2006), který dokázal s přesností 97 % rozdělit buk od smrku. Jeho data byla pořízena v době, kdy jsou buky bez listů.

V nedávné době vyvinul Reitberger se svým kolektivem (2009b) novou metodu, která dokáže s vysokou přesností segmentovat jednotlivé stromy. Tato metoda využívá počítačové prostředí, které pracuje s prvky voxel (volumetric pixel), což jsou objemové prvky, jenž představují hodnoty na pravidelné mřížce v 3D prostoru. Segmentace jednotlivých stromů je zde odhadována na základě tvaru koruny stromu. Tato metoda dokázala zpřesnit odhad v průměru o 12 % než u předchozího používání algoritmů. Je zajímavé, že když se pokusili snížit hustotu na 10 bodů na m<sup>2</sup>, tak snížení přesnosti touto metodou bylo velmi malé.

## **2.6 Použití interpolace při zpracování dat LIDAR**

### **2.6.1 Princip interpolace přirozeným sousedem (Natur Neighbor interpolation)**

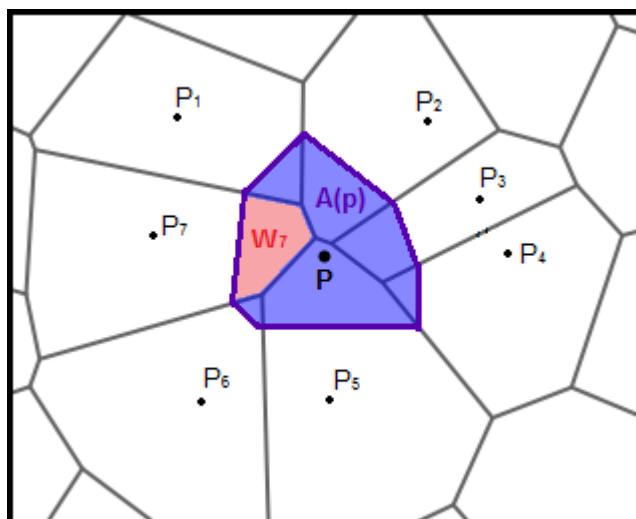
Tato interpolace k určení váhy okolních bodů používá Thiessenovy polygony označované někdy také jako Voronoiovy diagramy. Vznik těchto polygonů není nikterak složitý. Nejprve jsou mezi body stanoveny spojnice sousedních bodů, které vytvoří trojúhelníkovou síť. Středem každé spojnice je vedena linie, která se spojnicí svírá vždy pravý úhel. Tímto způsobem vzniknou hranice mezi body, které vytvoří nepravidelnou síť polygonů (Kolář, 2003). Interpolace přirozeným sousedem vloží do sítě Thiessenových polygonů vytvořených z výchozí bodové vrstvy nový bod, který leží uprostřed buňky o velikosti 5×5 m. Vložený bod zapříčiní změnu sítě v okolí tohoto bodu (viz obr. 7). Následně nám tedy vzniknou dvě různé sítě s Thiessenovými polygony. První síť je původní a druhá síť má v sobě zahrnutý i nový bod. Plocha polygonu



nového bodu se překrývá s částmi původních polygonů ze známých bodů. Interpolace přirozeným sousedem je tedy závislá na těchto sousedních bodech, kde velikost jejich váhy ( $\lambda_i$ ) je určena velikostí plochy, kterou zaujímá polygon nového bodu. Použijeme vzorec:

$$A(P) = \sum_{i=1}^n w_i, \quad \lambda_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i},$$

kde  $w_i$  je část plochy původního polygonu přirozeného souseda  $i$ ,  $A(p)$  je plocha polygonu nového bodu  $P$  (Sárkozy, 1998). Na obrázku 7 je patrné, že bod číslo 5 bude mít největší váhu na interpolovaný bod, protože zaujímá největší část plochy nového polygonu.



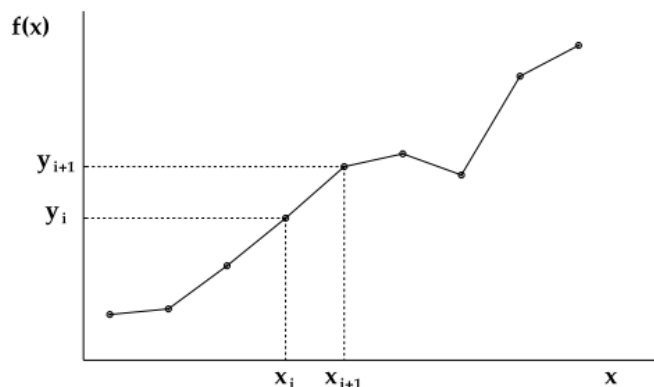
Obr. 7 Princip interpolace přirozeným sousedem (zdroj: Sárkozy, 1998)

## 2.6.2 Princip lineární interpolace

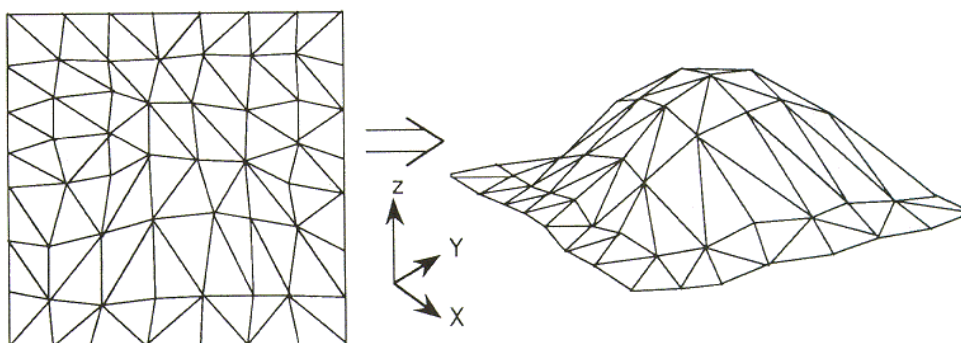
Lineární interpolace je jedna z nejjednodušších metod. „Mezi uzlovými body aproximujeme funkci  $f(x)$  úsečkami viz obr. 8. Pokud chceme vypočítat hodnotu interpolační funkce v bodě  $x$ , je třeba nejprve zjistit, mezi které body  $x_i$  tento bod patří, tj. potřebuje nalézt  $i$  tak aby  $x \in \langle x_i, x_{i+1} \rangle$ . Pokud body nejsou rozmístěny rovnoměrně a známe body  $x_i$  a  $x_{i+1}$  vypočteme aproximovanou hodnotu z následujícího vztahu (Vicher, 2003, s. 20) :“

$$g(x) = f(x_i) + \frac{f(x_{i+1}) - f(x_i)}{x_{i+1} - x_i} (x - x_i)$$

Velkou nevýhodou lineární interpolace je, že aproximační funkce není hladká, což znamená, že nemá spojitou derivaci. Pro mnoho příkladů a analýz však postačuje (Vicher, 2003). Na obrázku 9 je vidět ukázka výsledku z lineární interpolace.



**Obr. 8 Lineární interpolace** (zdroj: [http://physics.ujep.cz/~mlisal/apl\\_nm/vicher\\_nm1.pdf](http://physics.ujep.cz/~mlisal/apl_nm/vicher_nm1.pdf))



**Obr. 9 Lineární interpolace v praxi, při vykreslení i Z souřadnice**  
(zdroj: <http://stlab.iis.u-tokyo.ac.jp/~wataru/lecture/rsgis/rsnote/cp6/6-10-2.gif>)

## KAPITOLA 3

### Data a metodika

Pro vypracování této bakalářské práce byla zvolena zájmová oblast nacházející se na území Krkonošského národního parku (KRNAP), oblast je znázorněna v příloze 1. Zájmová oblast se rozkládá v Klínovém dolu, který leží ve vzdálenosti cca 3 km jihovýchodním směrem od Špindlerova Mlýna. Rozloha oblasti činí 200 ha. Tato zájmová oblast byla vybrána z toho důvodu, že se zde nenachází žádné skalní výchozy a převisy. Ty by totiž mohly negativně ovlivnit výsledky, jelikož body reprezentující skálu by mohly být klasifikovány jako vegetační kryt. Velikost oblasti také nebyla vybrána bezdůvodně. Rozloha 200 ha byla zvolena proto, aby mohla být data v různých SW programech snadněji zpracována, jelikož lidarová data kladou velké nároky na SW a HW počítače. Primární data pro vyhotovení této práce poskytla správa KRNAP, která si nechala od firmy GEODIS naskenovat celou rozlohu národního parku. Oblast KRNAPu byla naskenována v roce 2012 během 25 dní v rozmezí od 24. července do 18. srpna pomocí laserového skeneru značky RIEGL LMS Q680i a dále zpracována v softwaru Terrascan 012.020. Data jsou poskytována ve formátu .las, jsou zasazena do souřadnicového systému UTM - pásmo 33N a výškového systému elipsoidického (WGS 84). Data, která mi byla poskytnuta, nesla již základní informaci o klasifikaci bodů. Body byly klasifikovány do dvou tříd (Ground = pozemní body, Key-Points = klíčové body). Hustota leteckého laserového skenování pro celou oblast KRNAPu je v průměru 5 bodů/m<sup>2</sup>. Letový překryv činil 20 %. V zájmovém území se nachází 30 216 275 bodů, což odpovídá 15 bodům/m<sup>2</sup>. Hustota bodů je v této oblasti vyšší z důvodu větší různorodosti terénu. Pro porovnání a představu jak zájmová oblast vypadá, mi byly poskytnuty také letecké snímky od Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního. Snímky ze zájmového území se nalétávaly v letních měsících v roce 2012. Dále jsem použila při 3D

vizualizaci této oblasti vektorovou vrstvou potoků ze ZABAGED, abych docílila reálnějšího náhledu.

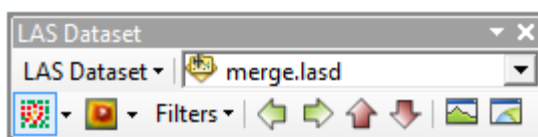
Pro účely porovnání funkcionality nástrojů zpracování lidarových dat jsem se rozhodla analyzovat 5 různých programů: ArcGIS 10.1, LAStools, ENVI LIDAR 3.2, BCAL LIDAR Tools a LP 360. Volba těchto programů nebyla náhodná. Licence programů ArcGIS 10.1 a ENVI LIDAR 3.2 vlastní katedra aplikované geoinformatiky a kartografie, takže jsem k nim měla během vypracování této práce neomezený přístup. BCAL LIDAR Tools a LAStools jsou volně stažitelné aplikace, ale v případě LAStools je zde určité omezení ohledně velikosti zpracování dat. Poslední program LP 360 mi byl zapůjčen na 30 dní v trial verzi.

Hlavním cílem je ohodnotit funkcionality dostupných SW programů pro účely vizualizace respektive též detekce vegetačního krytu. Pozornost byla zaměřena na rychlost načítání lidarových dat, rychlost zpracování dat a na nabídku funkcí pro úpravu těchto dat. V každém programu jsem se pokusila z bodového mračka vyfiltrovat body reprezentující vegetační kryt. U těchto bodů následně zjistit výšku nad reliéfem, a dále roztrždit body do tří kategorií podle výšky vegetace. Interval jednotlivých kategorií byly: <1; 3), <3; 12) a <12; 50) metrů. Hodnota 50 m byla stanovena jako hraniční. Vypočítaná výška bodu, která dosáhla anebo dokonce přesáhla tuto hodnotu, byla klasifikována jako neplatná. Rozmezí kategorií mělo také své opodstatnění. Do první kategorie by měly patřit keře (např. růže šípková, borovice kleč), do druhé kategorie menší nebo mladší stromy (např. jeřáb ptačí) a poslední kategorie by měla představovat vzrostlé stromy (např. smrk ztepilý).

### **3.1 Metody a nástroje zpracování lidarových dat ve zkoumaných software**

#### **3.1.1 ArcGIS 10.1**

Program ArcGIS 10.1 vyvíjí společnost ESRI. Z tohoto programu pro analýzu zájmového území bylo využito prostředí ArcMap 10.1 a ArcScene 10.1. Tato verze programu již umožňuje základní prohlížení dat ve formátu „.las“ pomocí nového prvku LAS Dataset (viz obr. 10). Při nastavování LAS Dataset lze zjistit i základní údaje o datech, jako jsou například maximální a minimální výška bodů či celkový počet bodů.



Obr. 10 Ukázka panelu LAS Dataset (zdroj: vlastní tvorba)

Díky tomuto panelu mohou být data zobrazena jako mračno bodů, které se roztřídí buďto podle výšky bodů, tříd (pokud jsou určeny) či intenzity bodu. Dále může být mračno bodů zobrazeno jako TIN, body lze také prohlížet ve 3D nebo může být vyhotoven i profil části zájmového území (viz kapitola 4). Bohužel tento LAS Dataset už neumožňuje žádnou další úpravu dat, a proto byl zvolen tento následující postup.

Pomocí funkce „LAS to Multipoint“ byla data ve formátu .las převedena do dvou bodových vrstev. Tato funkce dokáže roztřídit body do jednotlivých tříd, podle numerického kódu. Informaci o hodnotě numerického kódu obsahovaly body již od poskytovatele dat. V tabulce 1 jsou vypsány jednotlivé třídy klasifikace.

Numerický kód	Klasifikace	Numerický kód	Klasifikace
0	nikdy neklasifikované	7	nízké body (šum)
1	nezařazené	8	klíčové body (Model Key-Points)
2	zemský povrch	9	Voda
3	nízká vegetace	10	vyhrazeno pro definice ASPRS
4	střední vegetace	11	vyhrazeno pro definice ASPRS
5	vysoká vegetace	12	překryv bodů
6	budovy	13 – 31	vyhrazeno pro definice ASPRS

Pozn.: ASPRS = Society for Photogrammetry and Remote Sensing

Tab. 1 Jednotlivé třídy klasifikace pro funkci „LAS to Multipoint“ (zdroj: <http://help.arcgis.com>)

První bodová vrstva znázorňovala pouze body, které představují zemský povrch. Druhá vrstva obsahovala všechny zbylé body, které nepatřily k zemskému povrchu. Body v těchto dvou vrstvách nejsou pravidelně rozmístěny po celé ploše zájmového území, a tudíž je nemůžeme od sebe odečíst, a tím pádem nemůže být zjištěna výška bodů nad reliéfem krajiny. Proto byly tyto dvě vrstvy převedeny do rastru, který už je geometricky uspořádaný. K tomuto kroku byla využita funkce „Point to raster“, která z obou vrstev na základě výšek bodů vytvořila rastry (příloha 2). Rastry byly vygenerovány z maximálních hodnot výšek, které se nacházely v pixelu. Velikost jednoho pixelu v rastru odpovídá ve skutečnosti 9 m<sup>2</sup>, což představuje čtverec, jehož délka jedné strany je 3 metry. Následně mohl být od rastru představujícího vegetaci

odečten rastr zemského povrchu. Tento krok byl proveden pomocí funkce „Minus“, čímž nám vznikl rastr, který znázorňoval výšku vegetace. Tento rastr byl následně převeden do bodové vrstvy prostřednictvím funkce „Raster to point“. Vznikla bodová vrstva, která obsahovala 223 787 bodů. Z této vrstvy byly pomocí funkce „Select By Attributes“ vybrány všechny body, jenž měly výšku  $\geq 1$  m. Tuto podmínku splňovalo 169 565 bodů, z kterých byla následovně vytvořena nová bodová vrstva (viz CD – digitální příloha II). Vrstva byla poté rozdělena do 3 kategorií podle výšky vegetace.

### 3.1.2 LAStools

Rapidlasso GmbH je německá firma, která poskytuje zdarma aplikace LAStools na úpravu lidarových dat. Některé funkce z LAStools jsou však omezeny počtem bodů do 1,5 miliónu, s kterými dokáže daná aplikace počítat. Tyto aplikace jsou volně stažitelné na <http://rapidlasso.com/lastools/>. Aplikace se dají spouštět buďto přes příkazový řádek, ke kterému se spouští vlastní jednoduchý program, nebo se mohou otevřít i jako Toolbox v ArcMap 10.1.

Aby mohly být použity tyto aplikace na vybrané území z oblasti Krkonoš, muselo být území nejprve rozděleno na 32 samostatných částí. Tento vyšší počet dílů byl stanoven proto, aby nemohla vzniknout oblast, která by přesáhla počet 1,5 miliónu bodů. Bylo tedy vytvořeno 32 polygonových vrstev, které plně pokrývaly vybranou oblast. Pro tyto účely byla použita aplikace „lasclip“, pomocí které bylo mračno bodů rozděleno na 32 samostatných dílů. U každého dílu bylo poté prostřednictvím aplikace „lasground“ rozděleno mračno bodů na pozemní body a ostatní body. Pro environmentální prostředí, jako jsou lesy a hory, je nastavena velikost stopy na 5 metrů. Body jsou rozděleny na základě jejich doby návratu. Tím je myšleno, že všechny zpětné pulsy, které jsou zaznamenané na snímači jako poslední, se klasifikují jako pozemní body (Rapidlssso GmbH, 2013). Před zahájením výpočtu musel být zvolen typ prostředí, ze kterého body pochází. Dále byla vypočtena výška bodů nad zemí a určovala se intenzita hledání pozemních bodů. V našem případě byla zvolena intenzita hledání „fine“ a to z důvodu, že se oblast nachází v Krkonoších, kde je rozmanitější terén. Nastavení funkce „lasground“ je znázorněno na obrázku 11.



**Obr. 11** Výchozí nastavení pro funkci „lasground“ (zdroj: vlastní tvorba)

Posléze mohla být spuštěna funkce „lasclassify“, čímž se nadzemní body roztrídí na budovy a vegetaci. Při nastavování funkce musí být zadána výška, od které se budou body klasifikovat. V našem případě byla zvolena výška 1 m. Dalším výchozím parametrem byla vzdálenost sousedních bodů. Na základě tohoto byly body klasifikovány. Střecha budovy měla parametr o velikosti 0,1 m a strom o velikosti 0,4 m. Střecha tvoří celistvou plochu, proto je zde parametr tak nízký. Naopak koruna stromu je různorodá, proto je velikost parametru 0,4 m. Tyto velikosti byly doporučeny od společnosti Rapidlasso GmbH (2013) a jsou defaultně nastaveny. Po tomto kroku mohla být spuštěna poslední funkce „lascanopy“. Tato funkce za pomoci interpolace znázorní neuspořádané mračno bodů do pravidelné mřížky (viz tab. 2). Vzdálenost sousedních bodů byla nastavena na 3 m a výška bodů byla  $\geq 1$  m. Nastavením vzdálenosti sousedních bodů ovlivníme výpočet výsledné vrstvy. To v našem případě znamená, že výška každého bodu bude vypočtena z oblasti  $3 \times 3$  m. Tato funkce nám umožňuje vygenerovat několik různých výstupů, které jsou popsány v tabulce 2. V našem případě byla vygenerována vrstva představující maximální výšku vegetace. Výstupy z této funkce mohly být uloženy ve formátu „.asc“, „.tif“, „.img“, „.bil“, „.dtm“, „.xyz“ nebo „.flt“. Zvolen byl formát „.xyz“, který byl následně otevřen v programu ArcGIS 10.1, kde bylo všech 32 samostatných dílků z jednoho výstupu spojeno do jedné vrstvy. Výsledné bodové vrstvy byly poté rozděleny podle výšek bodů do tří kategorií.

Druh výstupního souboru	Popis funkce
Minimální výška	V každém pixelu bude vybrána nejnižší výška bodu, ze které bude následně vytvořen rastr celého území (či soubor v jiném formátu).
Maximální výška	V každém pixelu bude vybrána nejvyšší výška bodu, ze které bude následně vytvořen rastr celého území (či soubor v jiném formátu).
Průměrná výška	V každém pixelu bude spočítán aritmetický průměr z výšek bodů, ze kterého bude následně vytvořen rastr celého území (či soubor v jiném formátu).
Směrodatná odchylka	Směrodatná odchylka všech výškových bodů v rámci každého pixelu. $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}{n - 1}}$ Pozn.: n = počet bodů, x <sub>i</sub> = hodnota bodu, X = aritmetický průměr
Percentil	1, 5, 10, 25, 50, 75, 90, 95 a 99 percentil všech výškových bodů v rámci každého pixelu.
Interval	Při nastavení funkce „lascanopy“ lze zadat i velikost intervalu, ze kterého se budou navolené výstupy počítat.

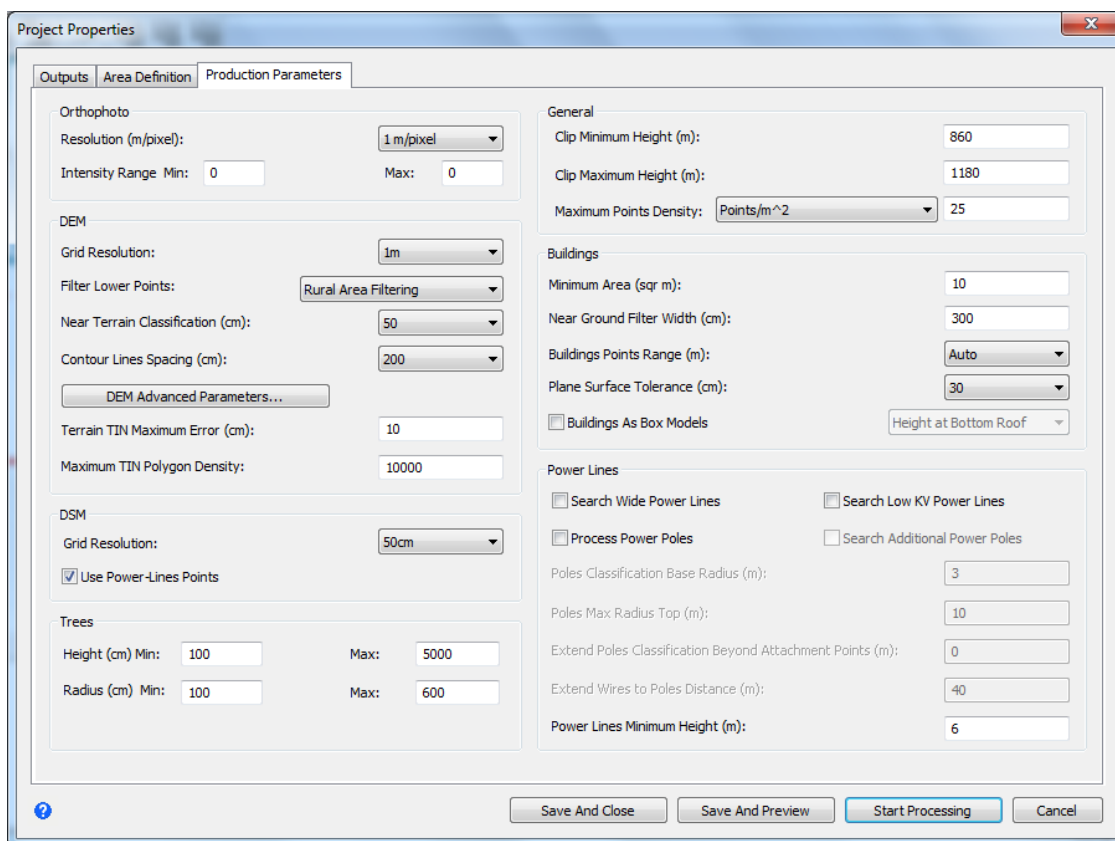
Tab. 2 Druhy výstupních souborů u funkce „lascanopy“ (zdroj: Rapidlasso GmbH, 2013)

### 3.1.3 ENVI LIDAR 3.2

Program ENVI LIDAR 3.2 poskytla firma ARCDATA PRAHA s.r.o. se svolením společnosti Exelis Visual Information Solution. Program ENVI LIDAR 3.2 umožňuje z mračna bodů vytvořit například DEM (Digital elevation model), TIN (Triangulated irregular network), vrstvu stromů či vrstvu budov.

Pro vygenerování samostatných stromů byla využita funkce „Produce Trees“. Výstupy z této funkce byly ukládány ve formátu „shp“. Před vygenerováním bodové vrstvy mohla být nastavena například minimální výška stromů, minimální poloměr stromů či hustota bodů. Obrázek 12 znázorňuje možnosti funkce „Produce Trees“. Jakým způsobem tato funkce rozděluje mračno bodů, aby vznikla bodová vrstva stromů, nebylo možno bohužel od výrobce zjistit. Důvodem je vyjádření firmy Exelis Visual Information Solution, která považuje algoritmy a funkce programu ENVI LIDAR 3.2 za své duševní vlastnictví, a tím pádem tyto informace neposkytuje.





**Obr. 12** Znázorňuje předvolbu funkce „Produce Trees“ (zdroj: vlastní tvorba)

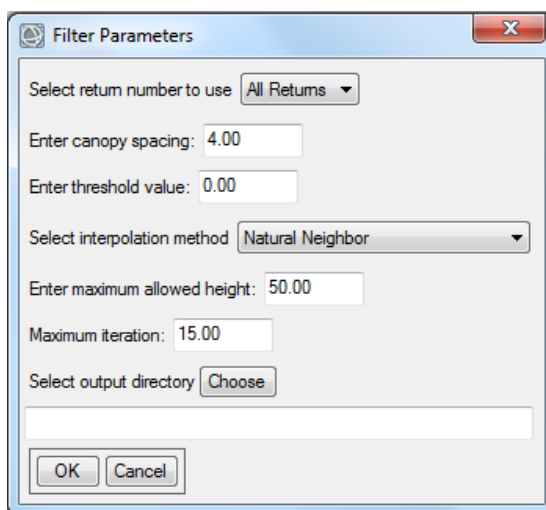
Z tohoto programu bylo vygenerováno celkem 12 různých výstupů. Tento vyšší počet byl zvolen z důvodu, aby mohly být vygenerovány výstupy s třemi odlišnými maximálními hustotami bodů na  $m^2$ , u kterých se měnila minimální velikost koruny stromu. U prvních čtyř vrstev byla ponechána defaultní nastavená hodnota maximální hustoty bodů ( $50 \text{ bodů}/m^2$ ) a měnil se u nich minimální průměr koruny, který byl nastaven na 1 m, 2 m, 3 m a 4 m. U dalších čtyř byla změněna maximální hustota bodů na  $25 \text{ bodů}/m^2$  a u posledních čtyř byla maximální hustota bodů nastavena na  $10 \text{ bodů}/m^2$ . I u těchto vrstev byl měněn minimální průměr koruny jako u prvních čtyř. Jediným stejným parametr pro všechny vrstvy byla pouze minimální výška vegetace, která byla nastavena na 1 m. Tato výška byla zvolena z toho důvodu, že je s ní počítáno i u předchozích programů. Také u těchto vrstev se body rozdělily do tří kategorií podle výšky vegetace.

### 3.1.4 BCAL LIDAR Tools

BCAL LIDAR Tools byl vyvinut na Idaho State University v Boise Center Aerospace Laboratory (BCAL). Tyto nástroje lze využít pro zpracování, analýzu a vizualizaci lidarových dat (BCAL, 2011). Jsou volně stažitelné ze stránek

<https://code.google.com/p/bcal-lidar-tools/downloads/list>. Po nainstalování se spouští jako „Toolbox“ v programu ENVI 5. Třicetidenní verze programu ENVI 5 mi byla poskytnuta na můj osobní počítač firmou ARCDATA PRAHA s.r.o. se svolením společnosti Exelis Visual Information Solution.

Nejprve byla použita aplikace „Perform Height Filtering“, která bodové mračno roztrídila na body patřící k zemskému povrchu a na nadzemní body. Tato funkce předpokládá, že v bodovém mračnu se nacházejí body, které reprezentují povrch, což znamená, že laserový impuls pronikl vegetací až k zemskému povrchu, kde se následně odrazil. Tato funkce rozdělí mračno bodů mřížkou 5×5 m. Poté je v každém čtverci nalezen nejnižší položený bod, který představuje zemský povrch. Tímto nám vznikne bodová vrstva, z které je následně interpolován model zemského povrchu. Body z bodového mračna, které se nacházely na zemském povrchu nebo pod ním, byly klasifikovány jako pozemní body. Následně jsou od tohoto modelu vypočítány výšky všech ostatních bodů, které nebyly klasifikovány jako pozemní body (Streutker; Glenn, 2006). Obrázek 13 zobrazuje možnosti předvolby této funkce. Pro tento výstup byly zvoleny všechny body bez ohledu na to, jestli to byly body prvního či druhého návratu. Poté byla zadána maximální výška bodu, která činila 50 m. Udává se proto, aby všechny body mající hodnotu vyšší než 50 m, byly vyhodnoceny jako chybné. Dále je zde možnost volby interpolace. V nabídce se jich nachází celkem 11 (např.: lineární interpolace, kubická interpolace, interpolace nejbližším sousedem, polynomická regrese). Pro tento výstup byla zvolena interpolace „Natural Neighbor“ a „lineární“. Jako další parametr této funkce byla zvolena vzdálenost mezi korunami stromů. Podle návodu k této funkci je optimální hodnota 4 – 5 m. Proto byly pro každou interpolaci vypočítány dva výstupy s různou vzdáleností mezi korunami stromů. Vznikly čtyři samostatné soubory (viz CD - digitální příloha V).



**Obr. 13** Možnosti aplikace „Perform Height Filtering“ (zdroj: vlastní tvorba)

V možnostech této aplikace se nachází funkce „Create Vegetation Height Groups“, jež dokáže bodové mračno roztřídit do různých skupin podle výšky vegetace. Tato možnost rozdělení bodů podle výšky může být užitečná pro provádění analýz ve 3D prostoru (BCAL, 2011). V našem případě byla bodová mračna rozdělena do 3 kategorií, které lze prohlížet pomocí funkce „3D LIDAR viewer“.

Další funkce, kterou byla bodová mračna analyzována, se nazývá „Vegetation Products“, která z lidarových dat dokáže vyexportovat 21 různých výstupů v rastrové podobě (viz obr. 14). Předtím, než se zvolí typy výstupních rastrů, musí být nejprve zadány základní parametry. Musí být zvoleno, zda se rastr bude vytvářet ze všech bodů nebo jen bodů prvního či druhého návratu. Pro tento výstup byly zvoleny všechny body. Dále byla nastavena velikost rastru 3×3 metry, hodnota pro prázdné buňky byla zvolena -1. Spodní prahová hodnota pro zemský povrch byla nastavena na 0,15 m. Tím je zajištěno, že všechny body, které mají nadzemní výšku  $\leq 0,15$ , budou patřit k zemskému povrchu. Naopak prahová hodnota pro vegetaci určuje minimální výšku, od které se budou body přiřazovat ke korunám stromů. Tato hodnota byla nastavena na 1 m. Dále můžeme zvolit, zda se mají mezery v rastru interpolovat. Jestliže se data skládají z více souborů, může být zaškrtnuto pole „Mosaic multiple files“, které způsobí sloučení dat do jednoho rastru. Další pole s názvem „Ignore outliers“ využijeme v případě, když výška bodu bude  $\geq$  pěti standardním odchylkám od střední odchylky, poté bude tento bod ignorován. Posledním zadaným parametrem je volba souřadnicového systému (BCAL, 2011). Přehled výstupů pro funkci „Vegetation Products“ je podrobněji popsán v tabulce 3.

Název výstupního rastru	Popis funkce	Vzorec funkce
<b>Minimální výška</b> (Minimum Height)	Rastr je vytvořen z nejnižších hodnot, které se nacházely v každém pixelu.	Minimální hodnota (x)
<b>Maximální výška</b> (Maximum Height)	Rastr je vytvořen z nejvyšších hodnot, které se nacházely v každém pixelu.	Maximální hodnota (x)
<b>Výškový rozsah</b> (Range)	Rastr je vytvořen z rozdílu max. a min. výšky bodů v pixelu.	[Max. hodnota (x) – min. hodnota(x)]
<b>Průměrná výška</b> (Aritmetic Mean( $\mu$ ))	Rastr je vygenerován z průměrných hodnot všech bodů v každém pixelu.	$\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N}$
<b>Střední absolutní odchylka z mediánové výšky</b> (Median Absolute Deviation (MAD) from Median Height)	Rastr znázorňuje mediánovou absolutní odchylku vypočtenou z mediánové výšky.	MAD = 1,4826 × medián ( výška – mediánová výška )
<b>Průměrná absolutní odchylka z průměrné výšky</b> (Mean Absolute Deviation (AAD) from Mean Height)	Rastr znázorňuje průměrnou absolutní odchylku vypočtenou z průměrné výšky.	AAD = 1,4826 × průměr ( výška – průměrná výška )
<b>Směrodatná odchylka</b> (Standard Deviation ( $\delta$ ))	Směrodatná odchylka všech výškových bodů v rámci každého pixelu.	$\sqrt{\frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum [X_i]^2)}{N}}{n - 1}}$
<b>Šikmost</b> (Skewness)	Šikmost všech výškových bodů v rámci každého pixelu.	$\frac{\sqrt{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^3}{(\sum_{i=1}^n (x_i - \mu))^2/3}$
<b>Špičatost</b> (Kurtosis)	Špičatost všech výškových bodů v rámci každého pixelu.	$\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^4}{(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2)^2} - 3$
<b>Canopy Relief Ratio</b>	Poměr výšek bodů v rámci každého pixelu.	$\frac{\mu(\text{výška}) - \min(\text{výška})}{\max(\text{výška}) - \min(\text{výška})}$
<b>Number of LIDAR Returns</b>	Celkový počet všech bodů nacházejících se v pixelu.	
<b>Number of LIDAR Vegetation Returns (nV)</b>	Celkový počet všech bodů v rámci každého pixelu, které jsou klasifikovány jako vegetace.	n body vegetace
<b>Number of LIDAR Ground Returns (nG)</b>	Celkový počet všech bodů v rámci každého pixelu, které jsou klasifikovány jako pozemní body.	n pozemní body
<b>Celková hustota vegetace</b> (Total Vegetation Density)	Rastr představuje procentuální poměr mezi pozemními body a body reprezentující vegetaci.	Density = nV/nG*100
<b>Variační koeficient</b> (Height Coefficient of Variation)	Výpočet variačního koeficientu v rámci každého bodu.	$\frac{\delta}{\mu} \times 100$

Název výstupního rastru	Popis funkce	Vzorec funkce
<b>Rozmezí mezi kvartily</b> (Interquartile Range (IQR) of Height)	Pro každý pixel se z hodnoty bodů vypočte velikost rozmezí	[75 percentil (x) - 25 percentil (x)]
<b>Texture of Heights (TH)</b>	Rastr je vygenerován z bodů, které se nachází mezi spodní prahovou hodnotou a horní prahovou hodnotou.	TH = $\delta$ (výška (x) > spodní prahová hodnota a výška < prahová hodnota korun stromů)
<b>Odchylka výšky</b> (Variance( $\delta^2$ ))	Odchylka všech výškových bodů v rámci každého pixelu.	$\frac{\sum( X_i  - X)^2}{n - 1}$
<b>Percentil</b> (Percentiles)	5., 10., 25., 50., 75., 90. a 95. percentil všech výškových bodů (x) v rámci každého pixelu	
<b>Pokrytí vegetací</b> (Vegetation Cover)	Procentuální poměr vegetačních bodů s celkovým počtem bodů v každém pixelu.	
<b>Množství zeleně v různých výškách v %</b> (Percent of Vegetation in Height Range)	Rastr může být vygenerován pro tyto výškové intervaly: 0 - 1 m; 1-2,5 m; 2,5 - 10m; 10-20m; 20 - 30 m; x > 30	Počet vegetačních bodů v zadaném intervalu / celkovým počtem bodů (v rámci pixelu)

Pozn.: x = proměnná, n = počet pozorování,  $X_i$  = aritmetický průměr

**Tab. 3 Přehled výstupů pro funkci „Vegetation Products“ (zdroj: Evans et al., 2009)**

Z této funkce byly vygenerovány čtyři rastry s velikostí pixelu 3×3 metry. Rastry znázorňovaly maximální výšku vegetace a jejich minimální výška vegetace byla nastavena na 1 m. Následně byly rastry převedeny do bodové vrstvy (viz CD - digitální příloha V) a rozděleny také do 3 kategorií podle výšky vegetace.

### 3.1.5 LP 360

Program LP 360 dodává na trh společnost „QCoherent a GeoCue“, která se zabývá tvorbou a vývojem softwarových nástrojů pro práci s lidarovými daty. Tento program byl zkonstruován pro prostředí ArcGIS pro účely prohlížení a analyzování lidarových dat. Volně stažitelná 30denní trial verze programu LP 360 lze získat na stránkách <http://www.qcoherent.com/evaluation.html>. Velkou nevýhodou volně stažitelné verze je to, že neumožňuje uložit žádný výstup z tohoto programu. Další nevýhodou je skutečnost, že tato 30-ti denní verze programu dokáže kvalitně pracovat pouze s lidarovými daty, která již byla od poskytovatele klasifikována na samostatné kategorie, jenž jsou stejné jako u programu ArcGIS 10.1 (viz tab. 1). Jelikož data, která mi byla poskytnuta, jsou rozdělena pouze na dvě kategorie, je tento program pro ně nevhodný. Na druhou stranu má tento program velkou výhodu v jeho jednoduchosti.

## KAPITOLA 4

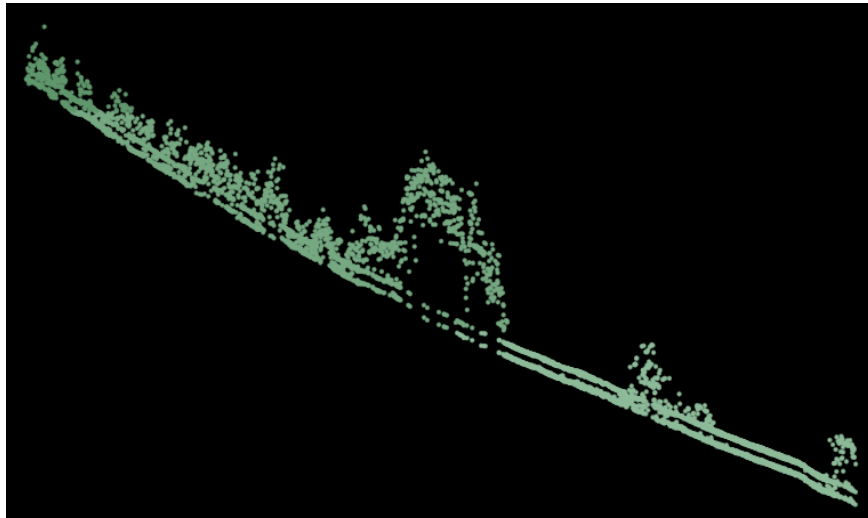
### Výsledky

Cílem práce bylo zjištění vhodnosti vybraných SW pro účely vizualizace a detekce vegetace pomocí lidarových dat. Poskytnuté bodové mračno bylo v jednotlivých programech nejprve načteno, následně bylo bodové mračno vyfiltrováno, aby obsahovalo pouze body představující vegetační kryt. Posléze byla zjištěna výška jednotlivých bodů nad zemským povrchem a na závěr byly body rozděleny do 3 kategorií podle výšky vegetace v intervalech  $<1; 3)$ ,  $<3; 12)$  a  $<12; 50)$  metrů. Výsledky uložené na CD znázorňují vždy celé zájmové území, jehož rozloha činí 200 ha. Výstupy, které jsou zobrazeny v těchto výsledcích, představují pouze malou část ze zájmového území, aby mohl být viděn detail těchto jednotlivých výstupů. I na těchto zobrazených výstupech je vždy stejná část ze zkoumané oblasti. Následně budou porovnány výškové hodnoty jednotlivých výstupů a v přílohách bude zařazena 3D vizualizace zájmového území, která bude provedena v programu ArcScene 10.1.

#### 4.1 ArcGIS 10.1

Jak již bylo výše řečeno, samotný ArcGIS 10.1 není neoptimálnější program, který by dokázal využít obrovský potenciál dat z leteckého laserového skenování, ale umožňuje tato data alespoň prohlížet (viz obr. 14). Souvisí to s marketinkovou strategií firmy ESRI, která je často založena na specializovaných extenzích. Obrázek 14 byl vytvořen aplikací „LAS Dataset“, která se nachází v nabídce panel nástrojů. V aplikaci „LAS Dataset“ se nachází funkce „Profile view“, která nám umožní vytvořit profil požadované oblasti. Na obrázku 14 lze pouhým okem rozeznat, co dané body zobrazují. Uprostřed obrázku je patrný vyšší strom. Vpravo níže vedle stromu se nejspíš

nachází mýtina bez vyšší vegetace, protože body tvoří celistvou linii, která znázorňuje zemský povrch.

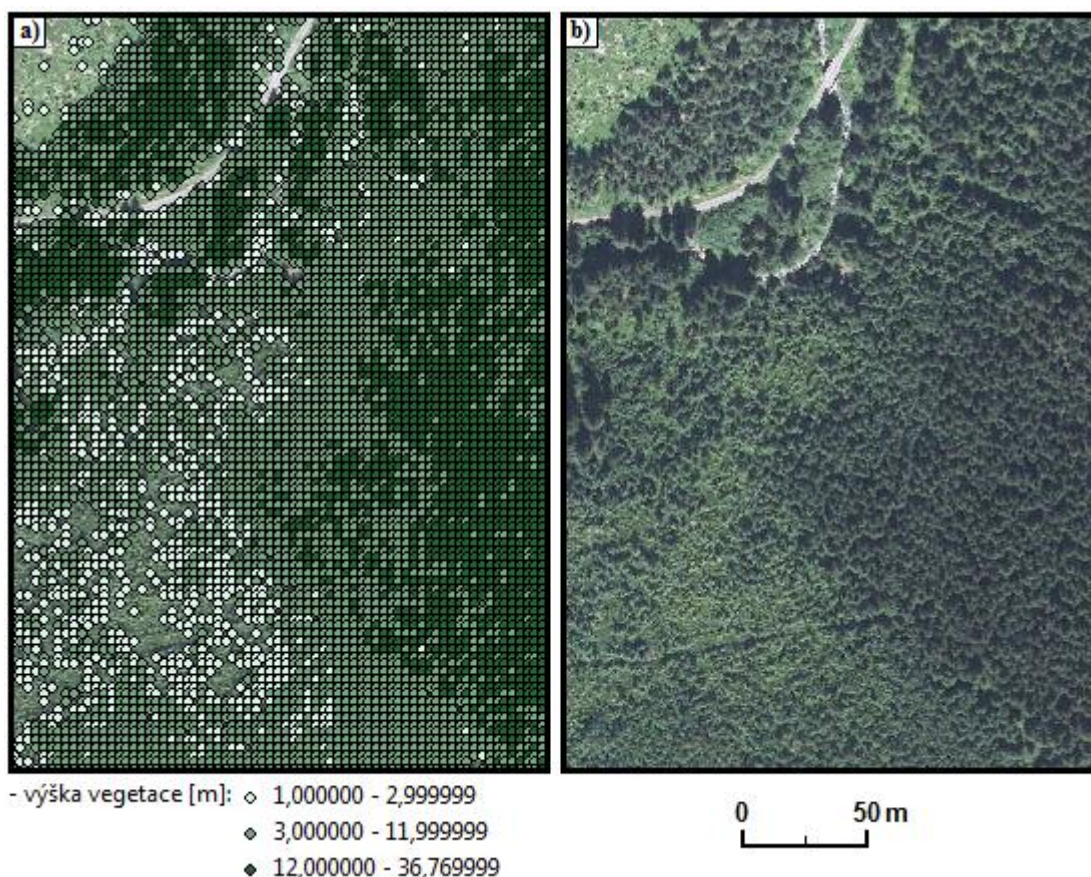


**Obr. 14** Ukázka profilu výřezu z části zájmového území (zdroj: vlastní tvorba)

Ze zvoleného postupu, během kterého byly bodové vrstvy nejprve převedeny do rastrů, které se mezi sebou dále odečetly, a výsledný rastr byl převeden zase zpět do bodové vrstvy, vznikly zajímavé výsledky (viz tab. 4). Z tabulky 4 vyplývá, že vegetační kryt pokrývá téměř 76% zájmové oblasti. Nejrozšířenější vegetační kryt má výšku v rozmezí od 3 do 12 metrů. Bod, který představuje nejvyšší strom, se nachází ve výšce 36,76 m nad reliéfem. Na obrázku 15 je znázorněna bodová vrstva, která představuje stanovená rozmezí výšky vegetace. Pro snazší představu byl pod bodovou vrstvou vložen ortofotosnímek, který se nachází i vedle, aby měl čtenář srovnání. Na obr. 15 si můžeme povšimnout, že program ArcGIS 10.1 správně vyhodnotil úsek s cestou, a tudíž zde nejsou body představující vegetaci. Ve výstupu lze najít i body, které ne zcela věrohodně odpovídají skutečnosti (např. potok – obr. 15). To je způsobeno tím, že jeden bod představuje oblast o ploše 9 m<sup>2</sup> (pixel 3x3m). Došlo tedy k interpolaci hodnot ze vstupních bodů a v některých výšce vegetace nemusí zcela odpovídat skutečnosti. V aplikaci ArcScene 10.1 byla provedena 3D vizualizace celého zájmového území z výstupu „vegetaceGIS“, která byla přichycena na vrstvu reliéfu. Výstup z aplikace ArcScene 10.1 je zobrazen v příloze 3 a uložen na CD - digitální příloha VI.

Výška vegetace [m]	Maximální výška vegetace	
	Počet bodů	Rozloha plochy ze zájmové oblasti [%]
1 - 2,99	23 977	10,71%
3 - 11,99	87 464	39,08%
12 - 36,77	58 124	25,97%
<b>Celkem bodů</b>	<b>169 565</b>	<b>75,76%</b>

Tab. 4 Rozřazení bodů podle výšky vegetace z programu ArcGIS 10. 1 (zdroj: vlastní tvorba)



Obr. 15 a) Zobrazení části bodové vrstvy „vegetaceGIS“ s rozdělením do 3 kategorií podle výšky vegetace podložené ortofotem b) ortofoto (zdroj: vlastní tvorba)

Ačkoli tento program není specializován na analyzování lidarových dat, dokázal relativně věrohodně rozdělit vegetaci podle výšky. Správně byla vyhodnocena i území, která neobsahovala vegetaci  $\geq 1$  m, jako jsou cesty, mýtiny či koryta řek.

## 4.2 LAStools

Vygenerovaná výstupní vrstva (viz CD - digitální příloha III) obsahuje body, jež jsou od sebe pravidelně rozmístěny. Rozestup bodů má velikost 3 metry. I tato bodová vrstva byla rozdělena do 3 kategorií, které jsou uvedeny v tabulce 5. Zde si můžeme povšimnout dosti odlišných hodnot než u předchozího programu ArcGIS 10.1, vegetační kryt v tomto případě pokrývá celé zájmové území. Shodu mezi těmito

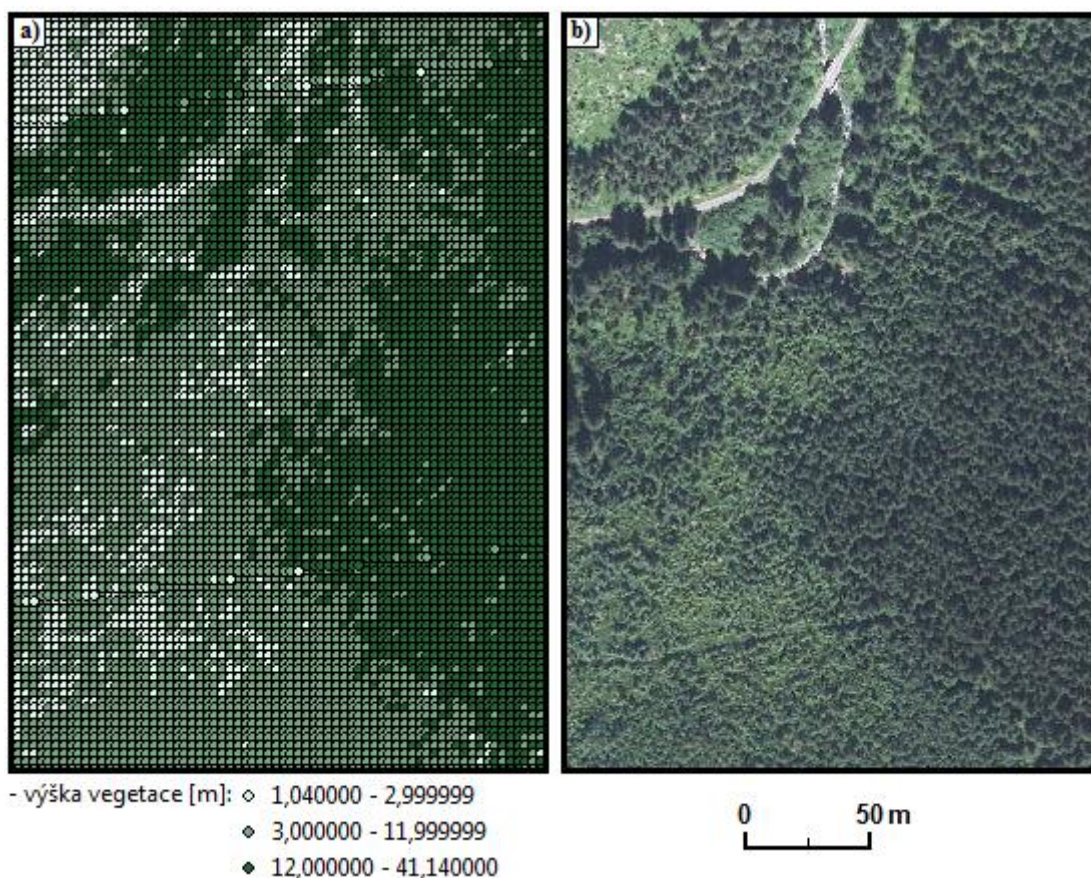


výstupy můžeme vidět v četnosti jednotlivých kategorií, jelikož i v tomto výstupu je nejpočetnější vegetace s výškou od 3 do 12 m. Bod znázorňující nejvyšší strom se nachází ve výšce 41,14 m.

Výška vegetace [m]	Maximální výška vegetace	
	Počet bodů	Rozloha plochy ze zájmové oblasti [%]
1 - 2,99	50 361	21,98%
3 - 11,99	94 582	41,29%
12 – 41,15	84 126	36,73%
<b>Celkem bodů</b>	<b>229 069</b>	<b>100%</b>

Tab. 5 Rozřazení bodů podle výšky vegetace z aplikace LAStools (zdroj: vlastní tvorba)

Obrázek 16 znázorňuje výstup z aplikace LAStools. Nelze si nevšimnout, že tato vzniklá bodová vrstva je celistvá, což znamená, že i v oblasti bez vegetace, jako jsou lesní cesty, byla vypočítána nejnižší hodnota vegetace 1 m. Tato chyba nejspíše vznikla až při samotném výpočtu hodnoty výstupních bodů, kdy se výška jednoho bodu počítala z výšek bodů nacházejících se v oblasti 3×3 metry. Což u cesty o šířce < 3 m mohla okolní vegetace zvýšit výslednou výšku bodu. Tato chyba by mohla být eliminována, kdyby se zmenšila rozloha oblasti, ze které se vypočítává výsledný bod.



Obr. 16 a) Zobrazení části bodové vrstvy „vegetaceLASMax“ s rozdělením do 3 kategorií podle výšky vegetace podložené ortofotem b) ortofoto (zdroj: vlastní tvorba)

### 4.3 ENVI LIDAR 3.2

Přehled výstupů z programu ENVI LIDAR 3.2 je zobrazen v tabulce 6 a na CD (digitální příloha IV). Z tabulky 6 lze vyčíst odlišné vstupní parametry u jednotlivých výstupů, které mají za následek změnu celkového počtu vygenerovaných stromů. Z tabulky 6 je patrné, že vrstvy „Trees A“ a „Trees E“ s průměrem koruny minimálním 1 m mají největší počet stromů. Celkový počet stromů ovlivňuje také maximální hustota bodů na m<sup>2</sup>, to je dokázáno u výstupů „Trees I, Trees J, Trees K a Trees L“, jelikož maximální hustota bodů na m<sup>2</sup> je menší než průměrná hustota vstupních bodů na m<sup>2</sup> v zájmové oblasti, kde je průměrná hustota 15 bodů/m<sup>2</sup>.

Název vrstvy	Minimální průměr koruny stromu [m]	Maximální hustota bodů [bod/m <sup>2</sup> ]	Celkový počet stromů	Počet stromů – rozdělený podle výšky [m]		
				1 – 2,99	3 – 11,99	12 – 39,49
Trees A	1	25	67 959	3 955	29 550	34 454
Trees B	2	25	33 403	1 028	13 819	18 556
Trees C	3	25	22 706	526	8 957	13 223
Trees D	4	25	13 663	186	5 062	8 415
Trees E	1	50	67 952	3 948	29 550	34 454
Trees F	2	50	33 404	1029	13 819	18 556
Trees G	3	50	22 705	526	8 557	13 222
Trees H	4	50	13 663	186	5 062	8 415
Trees I	1	10	64 290	4 667	27 642	31 981
Trees J	2	10	30 081	1 174	12 570	16 337
Trees K	3	10	19 993	532	8 114	11 347
Trees L	4	10	11 532	187	4 527	6 818

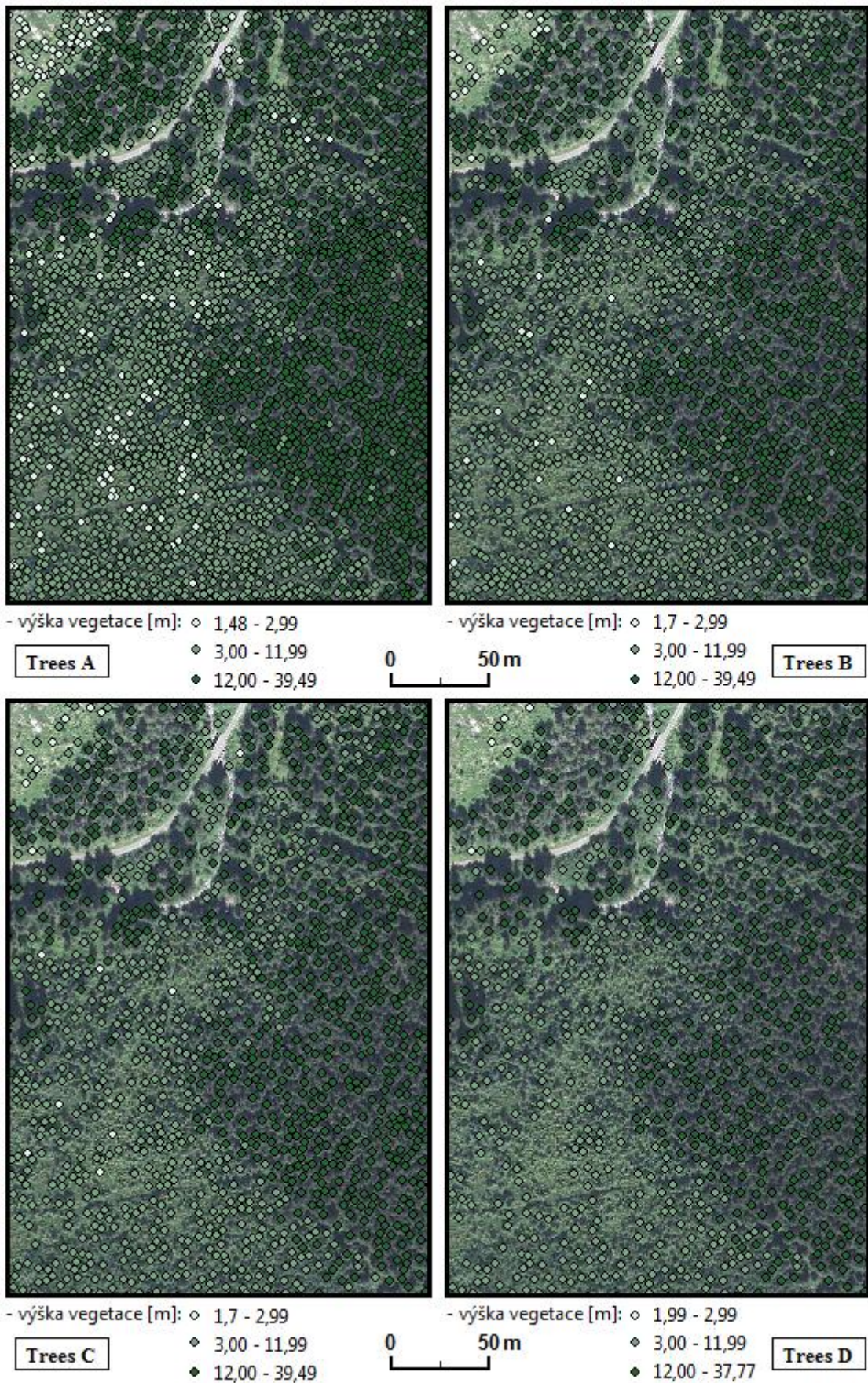
Tab. 6 Charakteristika jednotlivých vrstev z programu ENVI LIDAR 3.2 (zdroj: vlastní tvorba)

V následující tabulce 7 jsou vypsány maximální a minimální výšky stromů pro 12 jednotlivých výstupů z programu ENVI LIDAR 3.2. Můžeme si povšimnout, že vyjímaje vrstvy „Trees D“ a „Trees H“ mají ostatní vrstvy maximální hodnotu 39,49 m.

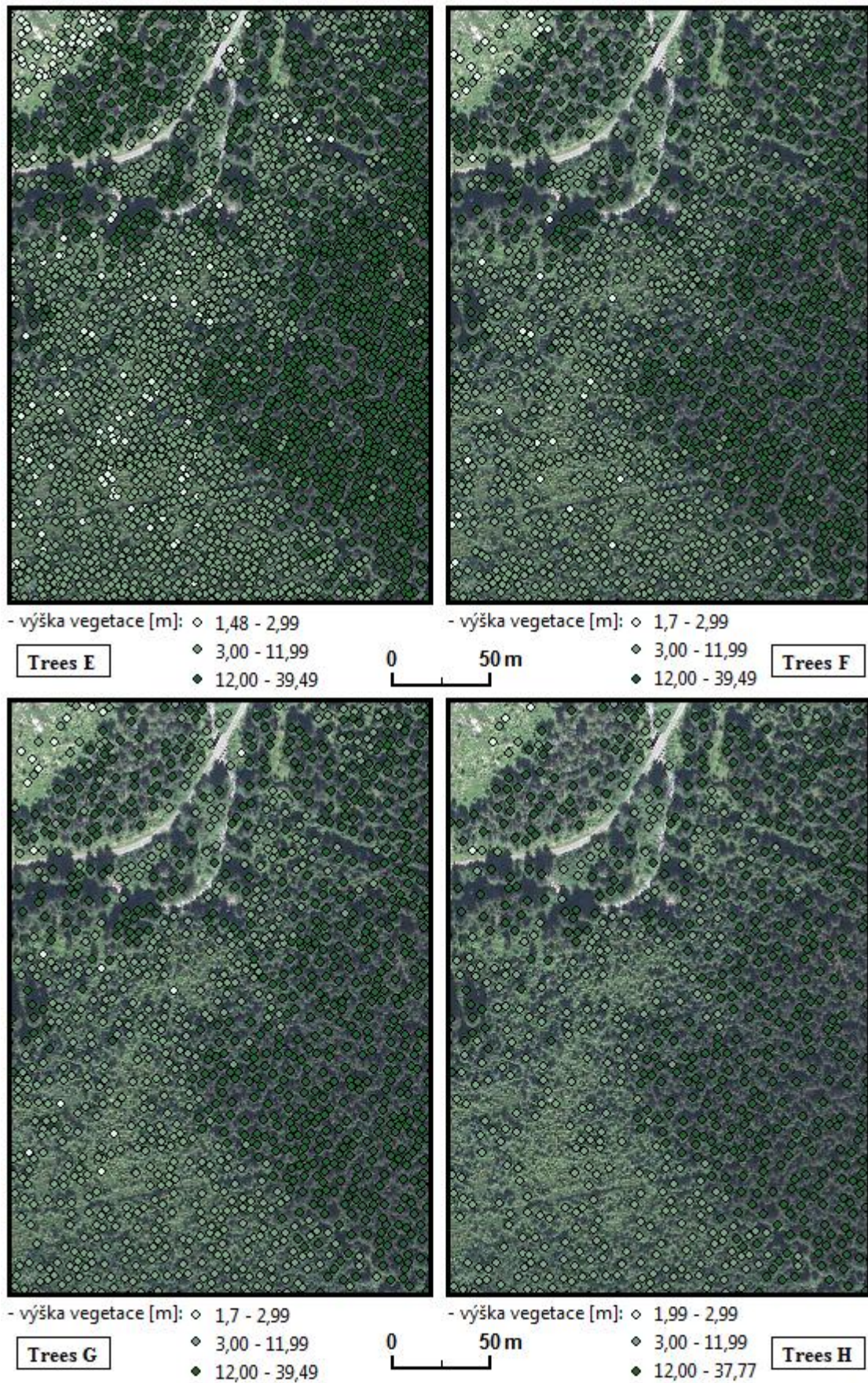
Název vrstvy	Nejnižší výška stromů [m]	Nejvyšší výška stromů [m]
Trees A	1,48	39,49
Trees B	1,7	39,49
Trees C	1,7	39,49
Trees D	1,99	37,77
Trees E	1,48	39,49
Trees F	1,7	39,49
Trees G	1,7	39,49
Trees H	1,99	37,77
Trees I	1,15	39,49
Trees J	1,15	39,49
Trees K	1,94	39,49
Trees L	2	39,49

**Tab. 7 Maximální a minimální výška stromů** (zdroj: vlastní tvorba)

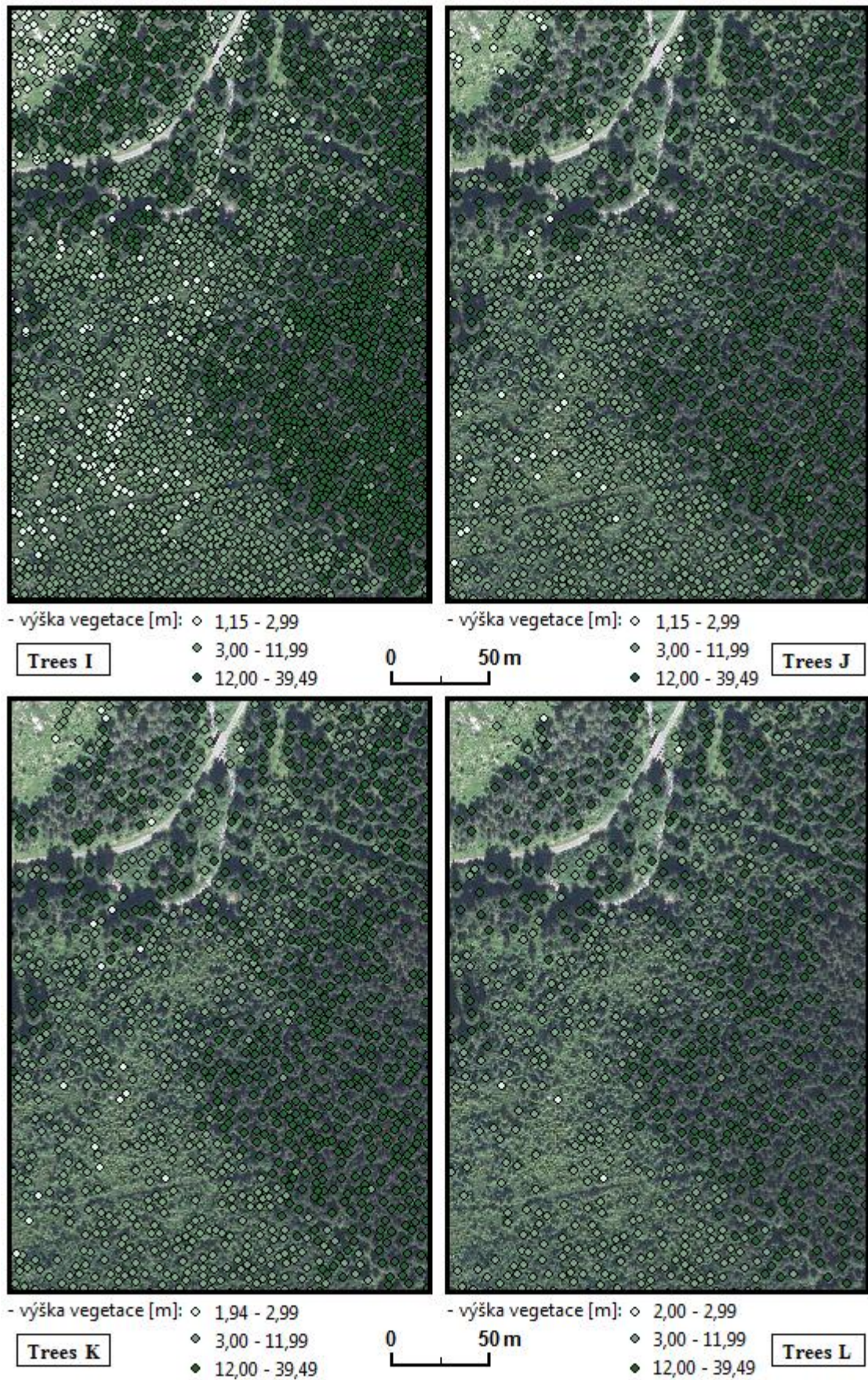
Malá část území s jednotlivými výslednými bodovými vrstvami z programu ENVI LIDAR 3.2 je znázorněna na obrázcích 17, 18 a 19. Na obrázku 17 jsou zobrazeny vrstvy, které měly nastavenou maximální hustotu bodů na 25 bodů/m<sup>2</sup>. Od sebe se liší v hodnotách minimálního průměru koruny stromu. Zde si můžeme povšimnout, že mezi vrstvou „Trees A“ a „Trees D“ jsou znatelné rozdíly. Ve vrstvě „Trees A“ se mnohem více objevuje vegetační kryt s výškou od 1 do 3 m, naopak ve vrstvě „Trees D“ se tato kategorie zobrazuje pouze minimálně. Tento rozdíl byl způsoben právě nastavením minimálního průměru koruny. Již na první pohled je vidět, že vrstva „Trees A“ nejlépe odpovídá skutečnosti, naopak ve vrstvě „Trees D“ lze pouhým okem rozeznat, že některé stromy nebyly vůbec zaznamenány v bodové vrstvě. Výstupy na obrázku 18 se od předchozího obrázku 17 liší minimálně. To bylo zapříčiněno změnou maximální hustoty bodů na m<sup>2</sup>, která byla defaultně nastavena na 50 bodů/m<sup>2</sup>, což nezpůsobilo významnou změnu, jelikož bodové mračno ze zájmové oblasti má průměrnou hustotu 15 bodů/m<sup>2</sup>. Výstupy na obrázku 19 měly nastavenou hodnotu maximální hustoty bodů na 10 bodů/m<sup>2</sup>, což mělo významný vliv na výstupní vrstvy „Trees I, Trees J, Trees K a Trees L“, kde jsou celkové počty vygenerovaných stromů nižší než u předchozích vrstev „Trees A“ až „Trees H“ (viz tab. 6).



Obr. 17 Výstupy z ENVI LIDAR 3.2 podložené ortofotem (zdroj: vlastní tvorba)



Obr. 18 Výstupy z ENVI LIDAR 3.2 podložené ortofotem (zdroj: vlastní tvorba)

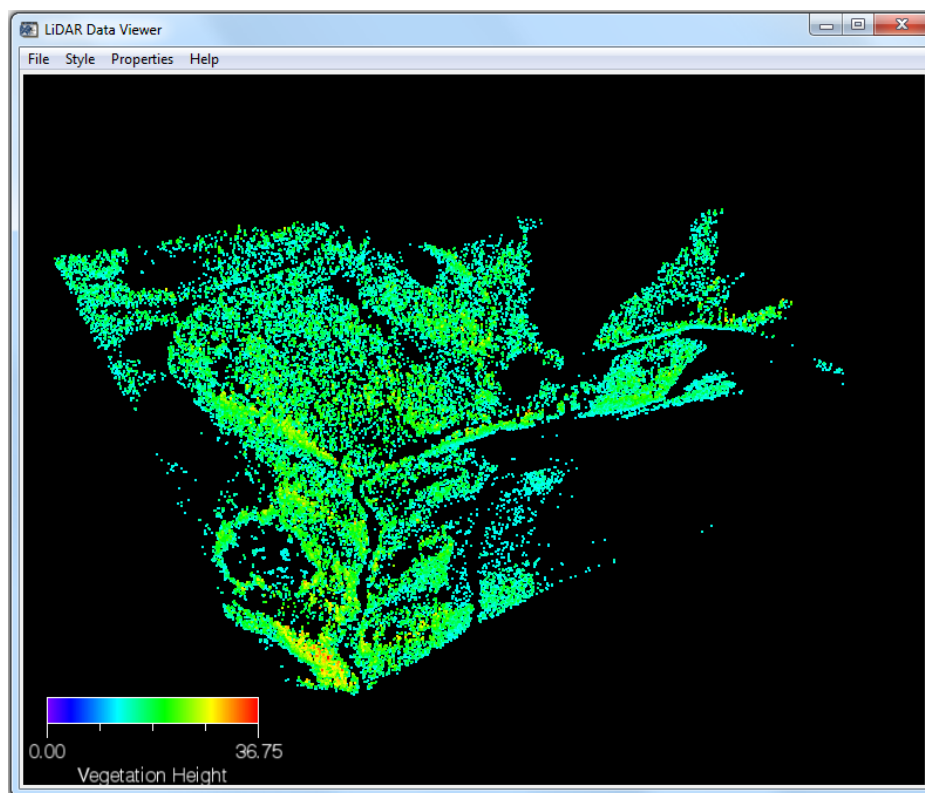


Obr. 19 Výstupy z ENVI LIDAR 3.2 podložené ortofotem (zdroj: vlastní tvorba)

Z výsledných bodových vrstev bych na základě ortofota usoudila, že výstupy „Trees A“ a „Trees E“ odpovídají nejlépe skutečnosti. Obě tyto vrstvy mají minimální průměr koruny stromu nastaven na 1 metr. Celkový počet stromů je u obou vrstev téměř stejný. Výstup „Trees A“ má celkový počet stromů 67 959 a výstup „Trees E“ má celkový počet stromů pouze o 7 nižší. U obou těchto výstupů mají poslední kategorie, představující stromy o výšce  $\geq 12$  m, největší počet stromů, který dosahuje hodnoty 34 454 stromů u výstupu „Trees A“ i „Trees E“. V programu ArcScene 10.1 byl na ukázkou vytvořen 3D model výstupu „Trees A“, který je uložen na CD (digitální příloha VII) a zobrazen v příloze 4. Příloha 4 vyobrazuje pohled na zájmové území od jihozápadu, což nám umožňuje dobře vidět profil Klínového dolu.

#### 4.4 BCAL LIDAR Tools

Na obrázku 20 je pomocí funkce „3D LIDAR Viewer“ znázorněno bodové mračno vegetace, které obsahuje body s výškou od 12 m. V této aplikaci se dají data prohlížet a zobrazovat například podle výšky vegetace, výšky terénu či podle klasifikace bodů.



*Obr. 20 Aplikace „3D LIDAR viewer“ znázorňující body s výškou  $\geq 12$  m (zdroj: vlastní tvorba)*

Tabulka 8 nám přehledně ukazuje jaký typ interpolace a jaká vzdálenost mezi korunami stromů byla nastavena u jednotlivých výstupů. Můžeme zde také vidět, kolik

bodů z bodového mračna bylo klasifikováno jako vegetační kryt a kolik jich je v jednotlivých výškových kategoriích.

Název bodového mračna	Typ interpolace	Vzdálenost mezi korunami stromů [m]	Počet bodů klasifikovaných jako vegetace	Počet bodů – rozdělených podle výšky vegetace [m]		
				1 – 2,99	3 – 11,99	12 – 39,34
BCAL A	metoda přirozeného souseda	4	28 094 274	13 541 051	3 123 644	1 094 264
BCAL B	metoda přirozeného souseda	5	28 175 366	13 573 507	3 162 508	1 101 885
BCAL C	lineární	4	27 871 689	13 439 642	3 106 123	1 090 207
BCAL D	lineární	5	27 921 512	13 447 353	3 140 486	1 096 876

Pozn: 100% = celkový počet bodů = 30 215 967

**Tab. 8 Charakteristika bodových mračen analyzovaných v BCAL LIDAR Tools (zdroj: vlastní tvorba)**

Tabulce 9 jsou vypsány bodové vrstvy, představující maximální výšku vegetace, které byly vytvořeny z jednotlivých bodových mračen, jež jsou uvedeny v tabulce 8. V tabulce 9 si můžeme povšimnout, že maximální výška bodu u výstupu „Bcal C“ dosahuje nejvyšší hodnoty z výstupů vygenerovaných z aplikace BCAL LIDAR Tools. Výstup „Bcal C“ byl vypočítán z bodového mračna, které bylo lineárně interpolováno a vzdálenost mezi korunami byla nastavena na 4 m. Nejvýše položený bod v tomto výstupu dosahuje hodnoty 39,82 m. Jelikož bodové vrstvy vytvořené v aplikaci BCAL LIDAR Tools vznikaly z rastru 3×3 metry, došlo zde také k nadhodnocení výšky vegetace jako v aplikaci od firmy Rapidlasso GmbH. Tudíž i tyto bodové vrstvy pokrývají celé zájmové území, což způsobí zkreslení výsledků, jelikož i v místech, kde se nacházejí cesty, potoky či louky, je ve výsledné bodové vrstvě zobrazena vegetace, která je vyšší nebo rovna 1 metru. V tabulce 10 jsou vypsány velikosti ploch, které zaujímají jednotlivé kategorie vegetačního krytu. Zde si můžeme povšimnout, že nejrozsáhlejší kategorií u každého výstupu z aplikace BCAL LIDAR Tools je druhá kategorie, jenž reprezentuje vegetační kryt o výšce od 3 do 12 metrů.



Název výstupnu	Maximální výška bodu [m]	Celkový počet bodů	Počet bodů – rozdělených podle výšky vegetace [m]		
			1 – 2,99	3 – 11,99	12 – 41,15
Bcal A	39,71	223 115	45 589	92 713	84 813
Bcal B	39,74	223105	44 903	93 123	85 075
Bcal C	39,82	222 312	45 413	92 379	84 520
Bcal D	39,8	221 977	44 670	92 606	84 701

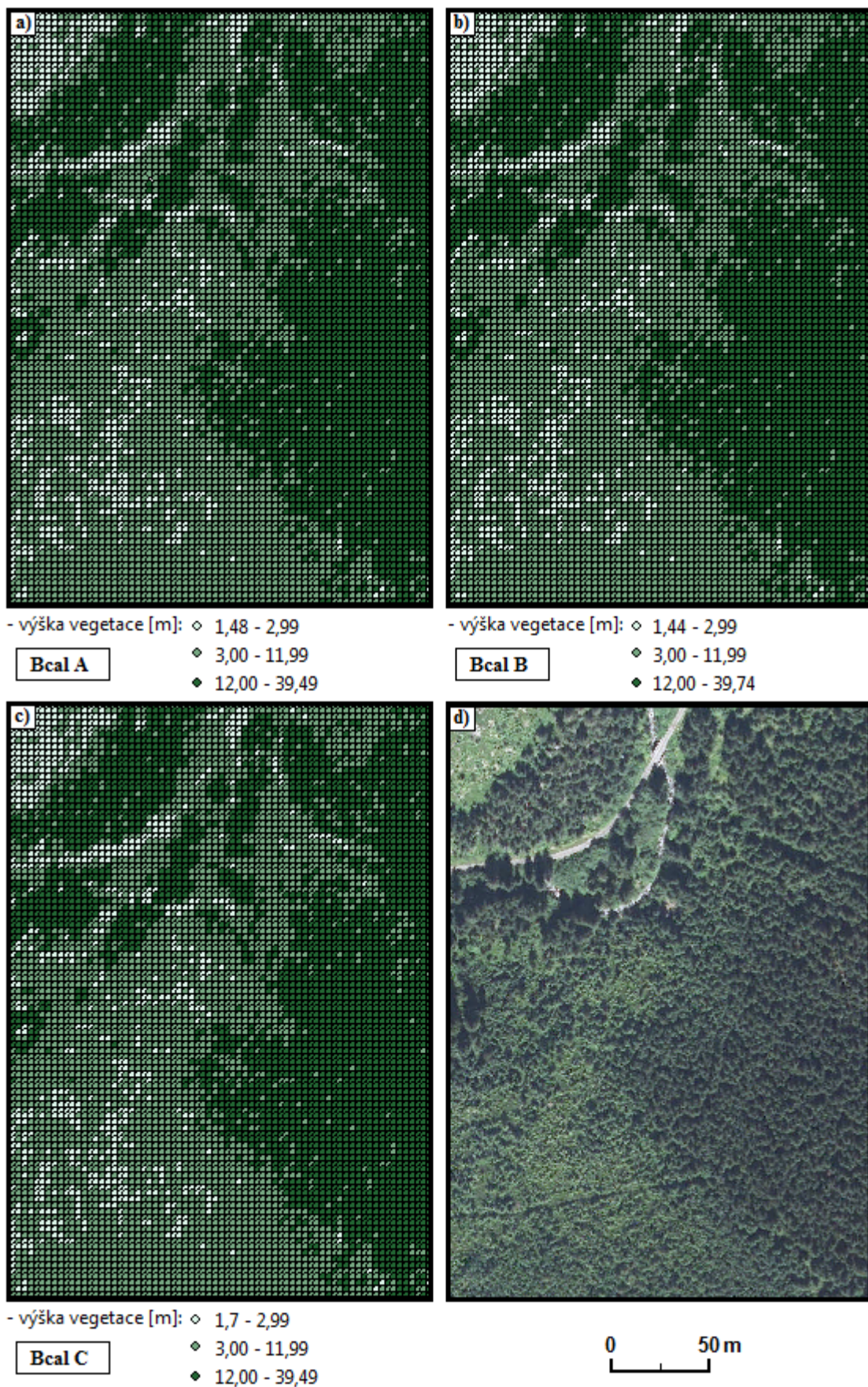
Tab. 9 Rozřazení bodů podle výšky vegetace z aplikace BCAL LIDAR Tools (zdroj: vlastní tvorba)

Výška vegetace [m]	Maximální výška vegetace			
	Rozloha plochy ze zájmové oblasti [%]			
	Bcal A	Bcal B	Bcal C	Bcal D
1 - 2,99	20,43%	20,12%	20,42%	20,12%
3 - 11,99	41,55%	41,73%	41,55%	41,71%
12 – 39,82	38,01%	38,13%	38,01%	38,15%
<b>Celková plocha vegetace</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

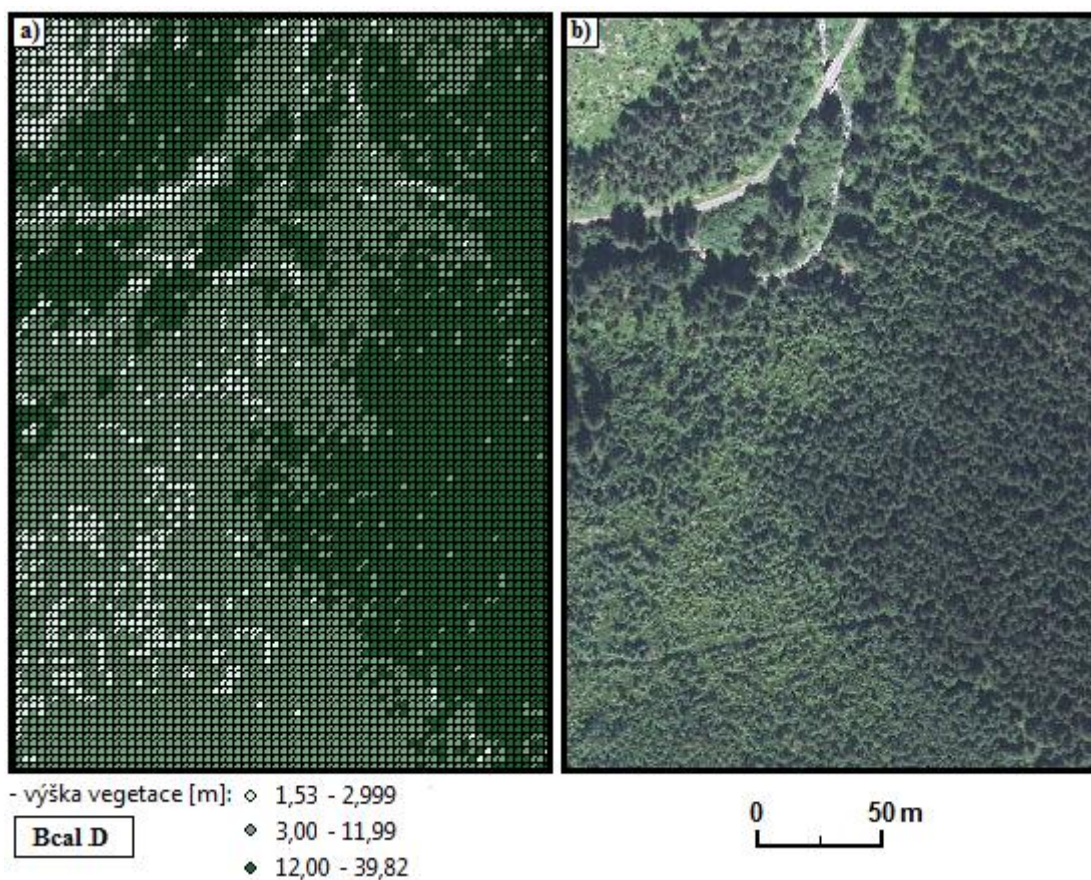
Tab. 10 Rozloha plochy jednotlivých kategorií u výstupů z aplikace BCAL LIDAR Tools

(zdroj: vlastní tvorba)

Výstupy z aplikace BCAL LIDAR Tools jsou znázorněny na obrázcích 21 a 22, kde je vidět, že vrstvy jsou téměř totožné, ačkoli vznikly z odlišně upravených bodových mračen. Tyto výstupy byly částečně ovlivněny typem interpolace, kdy se bodové mračno klasifikovalo na body vegetačního krytu a na body zemského povrchu, jelikož u každého výstupu z BCAL LIDAR Tools je odlišný celkový počet bodů reprezentující vegetaci. Hlavním faktorem, kterým byly výstupy ovlivněny, byl samotný výpočet maximálních výšek vegetace, jelikož aplikace z BCAL LIDAR Tools vytvoří pravidelný rastr o velikosti pixelu 3×3 metry, který je vytvořen z maximálních výšek nacházejících se v jednotlivých pixelech. Poté postačí, když se v oblasti 3×3 metry nachází jediný bod, který má hodnotu  $\geq 1$  m, aby výsledný pixel v rastru dosáhl hodnoty  $\geq 1$  m.



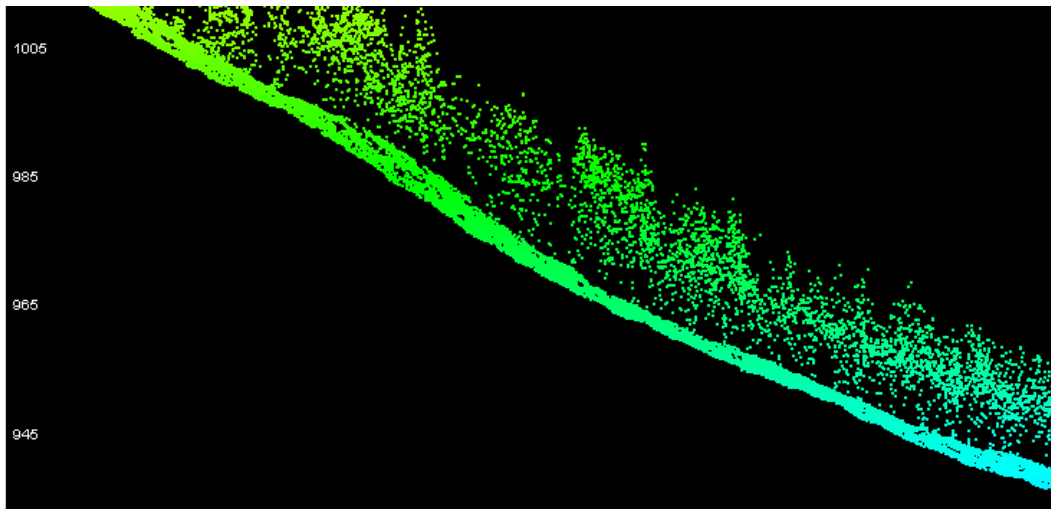
Obr. 21 Výstupy z BCAL LIDAR – a) Bcal A, b) Bcal B, c) Bcal C, d) ortofoto (zdroj: vlastní tvorba)



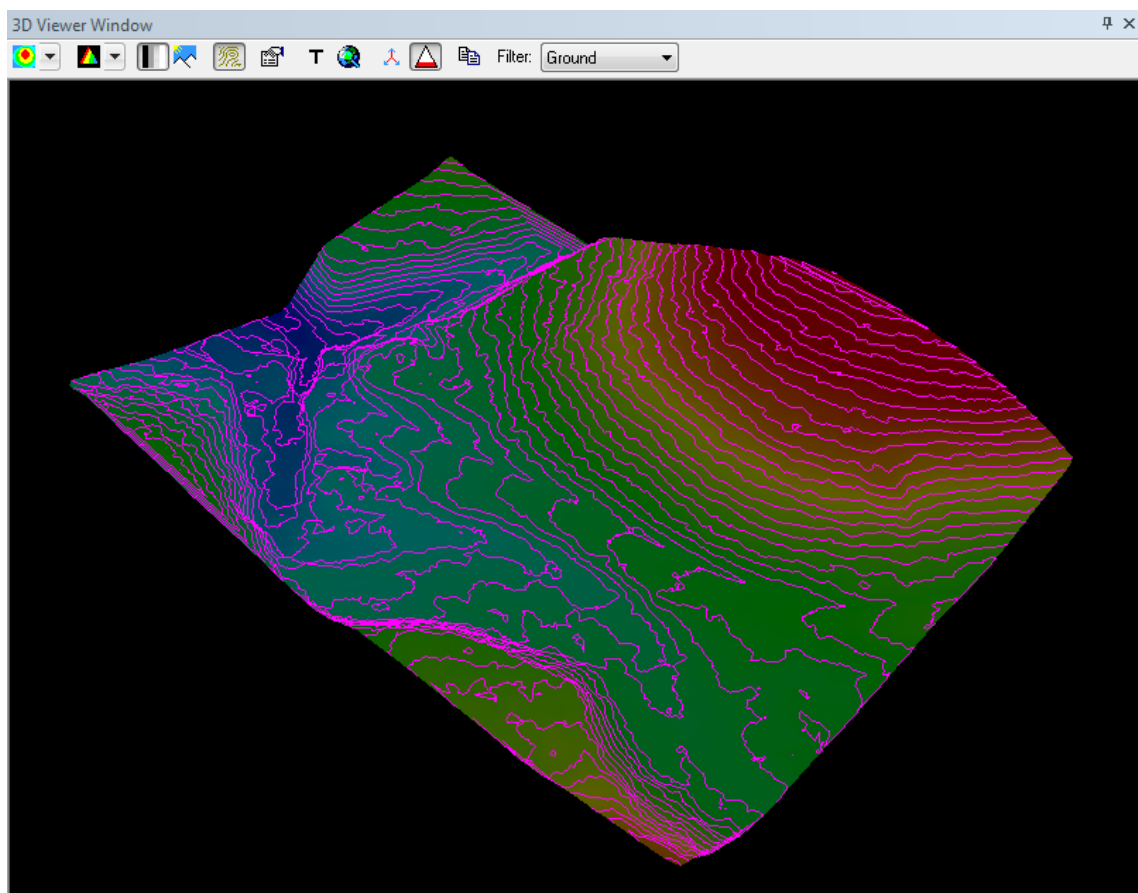
Obr. 2 Výstupy z BCAL LIDAR – a) Bcal D, b) ortofoto (zdroj: vlastní tvorba)

## 4.5 LP 360

Třicetidenní verze programu LP 360 umožňuje pouze prohlížení dat. Na obrázku 23 je zobrazen příčný profil části zájmového území, který byl vytvořen funkcí „Profile Viewer“. Na obrázku lze rozpoznat body znázorňující zemský povrch a shluk bodů, který představuje v našem případě vegetaci. Stupnice v levé části obrázku a barva bodů udávají výšku bodů v metrech nad mořem. Dále program LP 360 dokáže tvořit náhledy na zájmové území pomocí aplikace „3D Viewer“, kde mohou být zobrazeny i vrstevnice, které jsou vygenerované z pozemních bodů (viz obr. 24). Obrázek 24 vznikl pomocí aplikace „3D Viewer“, kde bylo zvoleno pouze zobrazení bodů představujících zemský povrch, a pomocí tlačítka „Display Contours“ byly zobrazeny vrstevnice.



Obr. 23 Ukázka profilu malé oblasti ze zájmového území (zdroj: vlastní tvorba)



Obr. 24 Vygenerované vrstevnice části zájmového území v aplikaci „3D Viewer“ (zdroj: vlastní tvorba)

Trial verze LP 360 bych zhodnotila spíše jako prohlížeč program, ve kterém můžete zjistit, jaké informace lidarová data obsahují. Myslím si, že kdyby mi byla poskytnuta plná verze tohoto programu, bylo by možné s bodovým mračenem lépe a efektivněji pracovat.

## 4.6 Porovnání programů

Vzájemné porovnání použitých programů je komplikované, ale i přesto bych uvedla stručný souhrn, ve kterém se zaměřím na klady a zápory jednotlivých programů. Při úpravě bodového mračka v jednotlivých SW byla pozornost zaměřena na rychlost načítání lidarových dat, rychlost zpracování dat a na nabídku funkcí pro úpravu těchto dat. Bodové mračno bylo v každém programu nejprve vyfiltrováno, aby se od sebe oddělily body reprezentující vegetační kryt a zemský povrch. U bodů představujících vegetační kryt byla následně zjištěna výška nad reliéfem, a dále byly body rozříděny do tří kategorií podle výšky vegetace. Intervaly jednotlivých kategorií byly: <1; 3), <3; 12) a <12; 50) metrů. Maximální hodnota výšky vegetace byla stanovena na 50 m. Vypočítaná výška bodu, která dosáhla anebo dokonce přesáhla tuto hodnotu, byla klasifikována jako neplatná.

Samotné načítání dat je v jednotlivých programech dosti odlišné. Nejsnadnější načítání a prohlížení dat bylo v programech ENVI LIDAR 3.2 a LP 360, kdy se po otevření složky s bodovým mračnem zobrazilo ihned na monitoru. Aplikace LAStools od firmy Rapidlasso GmbH nedokázala zobrazit bodové mračno. Tento nedostatek je nejspíše způsoben tím, že jsou tyto aplikace volně stažitelné, ale zároveň je firma Rapidlasso GmbH částečně omezuje v jejich funkčnosti. V programu ArcGIS 10.1 musí být nejprve založen „LAS Dataset“, do kterého se data musí nejprve nahrát, aby mohla být zobrazena na pracovní ploše. V BCAL LIDAR Tools se dají data prohlížet pouze pomocí funkce „3D viewer“.

Rychlost zpracování bodového mračka v jednotlivých SW byla také odlišná. Nejsnáze a nejrychleji se data zpracovávala v ArcGIS 10.1 a ENVI LIDAR 3.2. Nejpomaleji se data zpracovávala v aplikacích LAStools, ale to bylo spíše zapříčiněno částečně omezenou funkčností tohoto programu. Rychlost zpracování dat je však hlavně závislá na výkonnosti počítače, takže se nedá jednoznačně porovnat, jelikož jsem data zpracovávala na 3 různých počítačích.

Co se týče kvality zobrazení, tak u většiny programů se výsledné bodové vrstvy zobrazují v pravidelném uspořádání, což je způsobeno metodou zpracování, kdy vzdálenost mezi jednotlivými body byla nastavena na 3 m. Tato pravidelnost ovlivní kvalitu výstupu, jelikož v přírodě není nic pravidelně uspořádané. V jediném programu ENVI LIDAR 3.2 byly vygenerované body představující vegetaci nepravidelně

uspořádané, což bylo také zapříčiněno způsobem zpracování dat, které nám nebylo umožněno zjistit díky tomu, že nebyl poskytnut algoritmus tohoto nástroje.

Kdybychom měli okrajově zhodnotit kvalitu rozdělení bodů na vegetační kryt a zemský povrch, tak nejlépe dopadlo v ENVI LIDAR 3.2 a v ArcGIS 10.1, protože pouze u těchto programů se nenacházel vegetační kryt na plochách, na kterých se ve skutečnosti nevyskytuje (na cestách), což bylo hodnoceno v porovnání s ortofotem, které bylo pořízeno také v letních měsících v roce 2012.

Když zhodnotíme programy podle možností volby výstupů, tak největší rozmanitost se nachází u programu BCAL LIDAR Tools, kde z bodového mračka představujícího vegetaci můžeme získat mnoho informací (viz tab. 3). Otázkou ale zůstává, jak kvalitní tyto informace jsou. Z aplikace LAStools může být vygenerováno už jenom 5 druhů vrstev, jako jsou například maximální výška vegetace, minimální výška vegetace, průměrná výška vegetace (viz tab. 2). Program ENVI LIDAR 3.2 nám umožňuje vygenerovat již jen jednu vrstvu, ze které dokážeme vyčíst celkový počet stromů, výšku stromů a velikost koruny stromů. Program ArcGIS 10.1 nám zjistí pouze celkový počet bodů reprezentující vegetaci a výšku těchto bodů.

Jako zajímavost bych zmínila výsledky, které vyšly při porovnání maximálních výšek vygenerovaných v jednotlivých SW. Bylo zjištěno, že se hodnota maximálních výšek pohybuje okolo 39 m. Nejnížší maximální hodnota byla vypočítána v programu ArcGIS 10.1, kde byla naměřena výška bodu 36,76 m. Naopak v aplikaci LAStools byla maximální výška nadhodnocena v porovnání s ostatními programy, dosahovala hodnoty 41,14 m. Rozdílné hodnoty maximální výšky u jednotlivých SW jsou způsobeny odlišným metodickým postupem. Nadhodnocení výšky vypočítané v aplikaci LAStools zapříčinilo již samotné rozdělení bodového mračka na body zemského povrchu a vegetačního krytu, kdy byl z bodů reprezentujících zemský povrch vygenerován DEM, od něhož se následně vypočetly výšky bodů vegetačního krytu.

## KAPITOLA 5

### Diskuze a závěr

Cílem této práce bylo zjistit a ohodnotit metody a nástroje pro detekci a vizualizaci vegetace pomocí lidarových dat. Před zahájením vlastního zkoumání byla pečlivě prostudována dostupná odborná literatura, ze které byla následně vypracována rešerše, která čtenáře uvede do problematiky daného tématu.

V úvodu do problematiky je prvotně popsán princip pořizování dat z leteckého laserového skenování. Následně jsou zde uvedeny hlavní dva typy datových výstupů technologie LIDAR, které se v dnešní době používají nejčastěji. První typ se nazývá „discrete return“, druhý typ je přezdíván „waveform“. Poté se problematika věnuje spektrální charakteristice vegetace. V poslední části úvodu do problematiky jsou představeny přední studie, jež se zabývají problematikou detekce a vizualizace vegetace za přispění lidarových dat. Je dokázáno, že data z leteckého laserového skenování nám umožňují detekovat samostatné stromy, což může být využito třeba při plánování těžby dřeva (Reitberger et al., 2009a). Využit je lze i k určení druhu stromů, což dokázal Reitberger se svým kolektivem (2008) ve svém výzkumu, kde od sebe rozeznával jehličnaté a listnaté stromy.

Při práci s geoinformačními systémy je velmi důležitá kvalita vstupních dat. Při nízké kvalitě dat nemůže být nikdy docíleno žádných kvalitních výstupů. Data, která byla použita pro účely této práce, byla poskytnuta Správou Krkonošského národního parku. V zájmové oblasti, která se rozprostírá na ploše 200 ha, je hustota bodů 15 bodů/m<sup>2</sup>. Poskytnuté bodové mračno obsahovalo i body, které nerepresentovaly vegetaci, proto muselo být nejprve náležitě vyfiltrováno, aby obsahovalo pouze body představující vegetaci. Poté byla u těchto bodů vypočtena výška nad zemským povrchem a následně byly body rozděleny do 3 kategorií podle výšky.

Filtrace bodů se prováděla v každém programu odlišným způsobem, což způsobovalo změnu v počtu bodů reprezentujících samotnou vegetaci a následně rozdílnou vypočtenou výšku jednotlivých bodů.

V metodické části je podrobně popsán zvolený metodický postup při zpracování dat v jednotlivých programech. V této práci jsou data analyzována v 5 různých programech a to: ArcGIS 10.1, ENVI LIDAR 3.2, BCAL LIDAR Tools, LAStools a trial verze LP 360. Aplikace LAStools je poskytována zdarma, ale je určitým způsobem funkčně omezená. Výběr jednotlivých programů byl závislý hlavně na jejich dostupnosti. Původně jsem chtěla data analyzovat ve více programech, ale z důvodu nedostatečné funkčnosti jiných programů, co se týče nároků na množství zpracování jednotlivých bodů, jsem zvolila pouze těchto 5 programů. Nejvíce času při jejich hodnocení mi zabralo prostudování funkcí a seznámení se s jejich podrobnými principy, jelikož v každém programu bylo odlišné spouštění funkcí, rozdílné předdefinování funkcí, různé možnosti výběru výstupných vrstev a nikoliv vždy dostupný popis algoritmů funkcí.

Výsledky této práce potvrdily, že hodnocené nástroje v procesu zpracování lidarových dat pro účely detekce a vizualizace vegetace mají svá nesporná pozitiva i negativa. Bezesporu nejdůležitější je kvalita vstupních dat v závislosti na hustotě bodů na  $m^2$ . Čím vyšší je hustota bodů, tím kvalitnější by měly být výsledky analýz zabývajících se detekcí vegetace (Reitberger et al., 2009a).

Při úpravě bodového mračka v jednotlivých SW byla pozornost zaměřena na rychlost načítání lidarových dat, rychlost zpracování dat a na nabídku funkcí pro úpravu těchto dat. Výsledky prokázaly, že nejkvalitnější zobrazení jednotlivých stromů bylo docíleno v programu ENVI LIDAR 3.2. Je to způsobeno tím, že u tohoto programu, jako jediného z hodnocených, se body zobrazí nepravidelně, což se nejvíce blíží realitě. Bohužel, nám nebylo umožněno zjistit princip dotyčného algoritmu. Dále se daly z jednotlivých výstupů vyčíst maximální výšky vegetačního krytu, které se v průměru pohybovaly okolo 39,5 m. Pro správné porovnání maximálních výšek, by bylo výhodné znát skutečnou výšku nejvyššího stromu ve zkoumané oblasti, což by bylo možné zjistit pouze v případě terénního průzkumu. Z důvodu časové náročnosti nebyl tento terénní průzkum proveden. Problematika určení skutečné výšky stromu



z lidarových dat spočívá v tom, že puls z laseru nemusí být odražen od špičky stromu, což má za následek podhodnocení skutečné výšky (Zimble et al., 2003).

Tématem a hlavním cílem této práce mělo být zjištění, zda lze pomocí dostupných nástrojů při použití lidarových dat vizualizovat a detekovat vegetaci pokročilým způsobem. Domnívám se, že tato práce stanovené cíle splňuje, jelikož se podařilo nalézt několik SW, které nabízí širokou škálu aplikací pro analyzování lidarových dat. Dále byly vytvořeny 3D vizualizace vegetace zájmové oblasti, které byly velmi reálné hlavně díky použitým datům. Mírným nedostatkem této práce je nižší počet programů, ve kterých byla data zpracována. Při vyšším počtu programů by mohlo být docíleno objektivnějších výsledků. Kvalitnějších výstupů by mohlo být také docíleno tím, kdyby velikost pixelů nebyla stanovena 3×3 metry ale na nižší velikost, jelikož pak by výsledné hodnoty bodů byly vypočítány z menší oblasti, což by s sebou ale neslo větší nároky na SW a HW a analyzování dat z takto velké oblasti by trvalo mnohem déle.

Tato práce by mohla posloužit k prvotnímu se seznámení s hodnocenými programy a základními procesy zpracování lidarových dat. Umožňuje čtenáři načerpat základní informace o těchto datech, seznámit ho s funkcemi jednotlivých programů a motivovat ho k hlubšímu prozkoumání této problematiky.

## SEZNAM ZDROJŮ

- BACHMAN, C. G. (1979): *Laser radar systems and techniques*. Dedham: Artech House, 1979. 203 s. ISBN 0890060738.
- Boise Center Aerospace Laboratory (2011): BCAL LiDAR Tools for processing and visualizing LiDAR data [online], poslení úpravy 3. 3. 2011. [cit. 2013-04-23] Dostupné z WWW: <<http://bcal.boisestate.edu/tools/lidar/>>.
- BRANDTBERG, T. (2007): Classifying individual tree species under leaf-off and leaf-on conditions using airborne lidar. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2007, roč. 61, č. 5, s. 325 – 340. Dostupné z WWW: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271606001274>>.
- DOLANSKÝ, T. (2004): *Lidary a letecké laserové skenování* [online]. 2004. [cit. 2013-03-05]. Dostupné z WWW: <<http://wvc.pf.jcu.cz/ki/data/files/160lidaryweb.pdf>>.
- ENGST, P.; HORÁK, M. (1989): *Aplikace Laserů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1989. 204 s.
- ESRI. (2010): *Lidar Analysis in ArcGIS® 9.3.1 for Forestry Applications*. [online]. Redlands, 2010. s. 50. Dostupné z WWW: <<http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/lidar-analysis-forestry.pdf>>.
- EVANS, J. S. et al. (2009): Discrete Return Lidar in Natural Resources: Recommendations for Project Planning, Data Processing, and Deliverables. *Remote sensing*. 2009, roč. 1, s. 776-794. ISSN 2072-4292.
- HALOUNOVÁ, L.; PAVELKA, K. (2005): *Dálkový průzkum země*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. 191 s. ISBN 8001031241.
- Heurich, M. (2006): *Evaluation and development of methods for the automatic determination of forest structures using data from aerial sensors*. Mnichov, 2003. [cit. 2013-04-12]. s. 381. Disertační práce (PhD.). Dostupné z WWW: <<http://mediatum2.ub.tum.de/download/603731/603731.pdf>>.

- HIGHAM, A. D. et al. (1975): Multispectral scanning systems and their potential application to Earth resources surveys. *ESA Scientific and Technical Review*. Paris: ESRO, 1975, roč. 1, č. 2, s. 85-118.
- HOLMGREN, J.; PERSSON, A. (2004): Identifying species of individual trees using airborne laser scanner. *Remote Sensing of Environment*. 2004, roč. 90, č. 4, s. 415 – 423. Dostupné z WWW: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425703001408>>.
- JOHN, J. (2011): Letecké laserové skenování (ALS/LIDAR) a možnosti jeho využití v archeologii – úvodní informace o projektu [online]. In: KUCHARČÍK, M.; GÁL, L.; KOŠTIAL, J. (eds.) *Počítačová podpora v archeologii 3*, Litomyšl: TerraVerita. 2011. s. 24-28. [cit. 2013-02-20]. Dostupné z WWW: <[http://uar.ff.jcu.cz/separaty/John\\_lidar.pdf](http://uar.ff.jcu.cz/separaty/John_lidar.pdf)>.
- JUPP D. L. B. et al. (2005): *Measuring Canopy Structure and Forest Information using ECHIDNA® Ground Based LiDAR*. presented at ISPMSRS Conference. Beijing: 2005
- KALOGRIOU, V. (2006): *Simulation of Discrete-return LiDAR signal from conifer stands for forestry applications* [online]. 2006. [cit. 2013-02-25] Dostupné z WWW: <[http://www2.geog.ucl.ac.uk/~mdisney/3D\\_theses/kalogirou\\_msc\\_2006.pdf](http://www2.geog.ucl.ac.uk/~mdisney/3D_theses/kalogirou_msc_2006.pdf)>.
- KOLÁŘ, J. (1990): *Dálkový průzkum země*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. 170 s. ISBN 9788003005178.
- KOLÁŘ, J.; HALOUNOVÁ, L.; PAVELKA, K. (1997): *Dálkový průzkum Země 10*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1997. 164 s. ISBN 800101567X.
- KOLÁŘ, J. (2003): *Geografické informační systémy 10*. 2. přeprac. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2003. 161 s. ISBN 8001026876.
- LEWIS, P.; HANCOCK, S. (2007): *LiDAR for vegetation applications* [online]. 2007. [cit. 2013-03-10]. Dostupné z WWW: <[http://www2.geog.ucl.ac.uk/~mdisney/teaching/PPRS/PPRS\\_6/LiDARforVegetationApplications.pdf](http://www2.geog.ucl.ac.uk/~mdisney/teaching/PPRS/PPRS_6/LiDARforVegetationApplications.pdf)>.
- MIKITA, T.; KLMÁNEK, M. (2013): *Odvozování lesnických porostních charakteristik na základě dat leteckého laserového skenování* [online]. Ústav geoinformačních technologií, Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně. [cit. 2013-02-22]. Dostupné z <[http://gis.vsb.cz/GIS\\_Ostrava/GIS\\_Ova\\_2013/sbornik/papers/gis201350c055c629a62.pdf](http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2013/sbornik/papers/gis201350c055c629a62.pdf)>
- PIROTTI, F. (2011): Analysis of full-waveform LiDAR data for forestry applications: a review of investigations and methods[online]. *Journal of Biogeosciences and Forestry*.2011, roč. 4,

- s.100-106. [cit. 2013-03-02]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.sisef.it/iforest/pdf/?id=ifor0562-004>>.
- Rapidlasso GmbH. (2013): Aplikace LAStools [online], poslení úpravy 4. 4. 2013.  
[cit. 2013-04-21]. Dostupné z WWW:< <http://rapidlasso.com/lastools/>>.
- REITBERGER, J.; KRZYTEK, P.; STILLA, U. (2007): Combined tree segmentation and stem detection using full waveform LIDAR data. *ISPRS Workshop Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007*. Espoo, 2007, roč. 36., s. 332 – 337. Dostupné z WWW:  
<[http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/3-W52/final\\_papers/Reitberger\\_2007.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/3-W52/final_papers/Reitberger_2007.pdf)>.
- REITBERGER, J.; KRZYTEK, P.; STILLA, U. (2008): Analysis of full waveform LIDAR data for the classification of deciduous and coniferous trees. *International Journal of Remote Sensing*. Bristol: Taylor & Francis, 2008, roč. 29, č. 5, s. 1407-1431.
- REITBERGER, J.; KRZYTEK, P.; STILLA, U. (2009b): Benefit of airborne full waveform LiDAR for 3d segmentation and classification of single trees [online]. 2009.  
[cit. 2013-03-14] Dostupné z WWW:  
<<http://www.asprs.org/a/publications/proceedings/baltimore09/0078.pdf>>.
- REITBERGER, J. et al. (2009a): 3D segmentation of single trees exploiting full waveform LIDAR data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2009, roč. 64, č. 6, s. 561-574. Dostupné z WWW:  
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271609000495>>.
- SÁRKOZY, F. (1998): *Gis functions - interpolation* [online]. 1998. [cit. 2009-03-11]. Dostupné z WWW: <[http://www.agt.bme.hu/public\\_e/funcint/funcint.html](http://www.agt.bme.hu/public_e/funcint/funcint.html)>.
- SCHMID, K. et al. (2012): *Lidar 101: An Introduction to Lidar Technology, Data, and Applications* [online]. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center. Charleston. 2012. s. 72. [cit. 2013-03-07]. Dostupné z WWW:  
<[http://www.csc.noaa.gov/digitalcoast/\\_pdf/lidar101.pdf](http://www.csc.noaa.gov/digitalcoast/_pdf/lidar101.pdf)>.
- STREUTKER, D. R.; GLENN, N. F. (2006): *LiDAR measurement of sagebrush steppe vegetation heights*. *Remote Sensing of Environment* [online]. Boise: Idaho State University. 2006, roč. 102, s. 135–145. [cit. 2013-03-03]. Dostupné z WWW:  
<[http://bcsl.boisestate.edu/manuscripts/Streutker\\_2006\\_RSE.pdf](http://bcsl.boisestate.edu/manuscripts/Streutker_2006_RSE.pdf)>.
- SOLBERG, S.; NAESSET, E.; BOLLANDSAS, O. M. (2006): Single tree segmentation using airborne laser scanner data in a structurally heterogeneous spruce forest. *Journal of Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2006, roč. 72, č. 12. s. 1369 – 1378.


- [cit. 2009-03-10]. Dostupné z WWW:  
<[http://www.asprs.org/a/publications/pers/2006journal/december/2006\\_dec\\_1369-1378.pdf](http://www.asprs.org/a/publications/pers/2006journal/december/2006_dec_1369-1378.pdf)>.
- Ústav pro hospodářskou úpravu lesů. (2003): *Inventarizace lesů: Metodika venkovního sběru*. [online]. Brandýs nad Labem: Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, 2003. 136 s. [cit. 2013-02-22]. Dostupné z <<http://www.uhul.cz/il/metodika/metodika.zip>>.
- VRBOVÁ, M.; JELÍNKOVÁ, H.; GAVRILOV, P. (1994a): *Úvod do laserové techniky*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1994. 233 s. ISBN: 80-01-01108-9.
- VRBOVÁ, M. (1994b): *Lasery a moderní optika: Oborová encyklopedie*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 1994. 474 s. ISBN 8085849569.
- VICHER, M. (2003): *Numerická matematika* [online]. 2003. [cit. 2013-04-21]. Dostupné z WWW: <[http://physics.ujep.cz/~mlisal/apl\\_nm/vicher\\_nm1.pdf](http://physics.ujep.cz/~mlisal/apl_nm/vicher_nm1.pdf)>.
- ZIMBLE, D. A. et. al. (2003): Characterising vertical forest structure using small-footprint airborne LiDAR. *Remote sensing of environment*, roč. 87, s. 171– 182. Dostupné z WWW: <<http://sanrem.cals.vt.edu/1048/00012.pdf>>.

## **SEZNAM PŘÍLOH**

- |           |  |
|-----------|--|
| Příloha 1 | Vytyčení zkoumané oblasti na území Krkonošského národního parku                          |
| Příloha 2 | Ukázka vygenerovaných rastrů z programu ArcGIS 10.1                                      |
| Příloha 3 | 3D pohled na zájmové území od jihozápadu - vytvořený z výstupu z programu ArcGIS 10.1    |
| Příloha 4 | 3D pohled na zájmové území od jihozápadu - vytvořený z výstupu z programu ENVI LIDAR 3.2 |
| Příloha 5 | Obsah CD-ROM   |
| Příloha 6 | CD-ROM   |


Příloha 1: Vytyčení zkoumané oblasti na území Krkonošského národního parku



 zkoumaná oblast

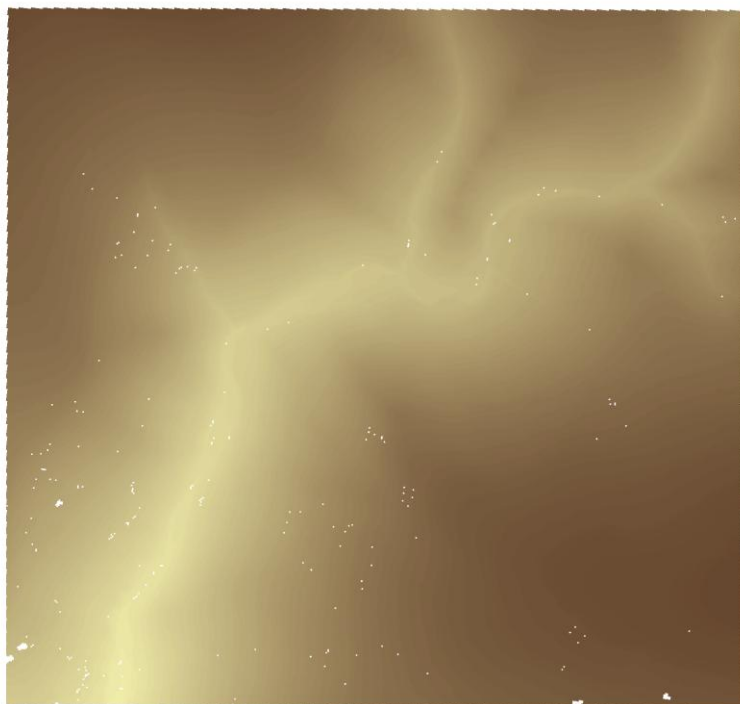
0 0,5 km



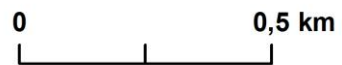
 zkoumaná oblast 0 5 km

Příloha 2: Ukázka vygenerovaných rastrů z programu ArcGIS 10.1

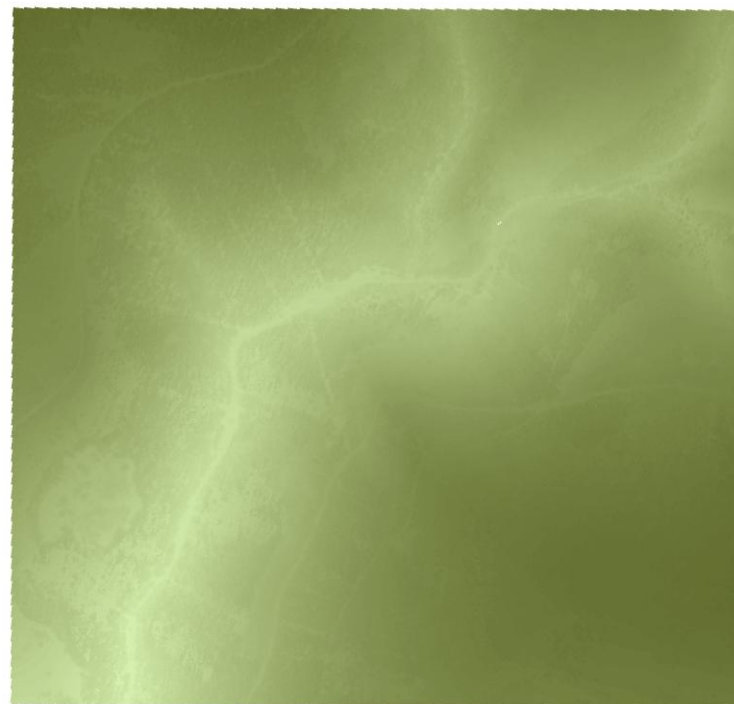
Rastr zemského povrchu



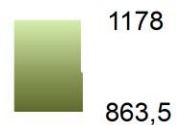
Výška terénu [m n. m.]:



Rastr vegetace

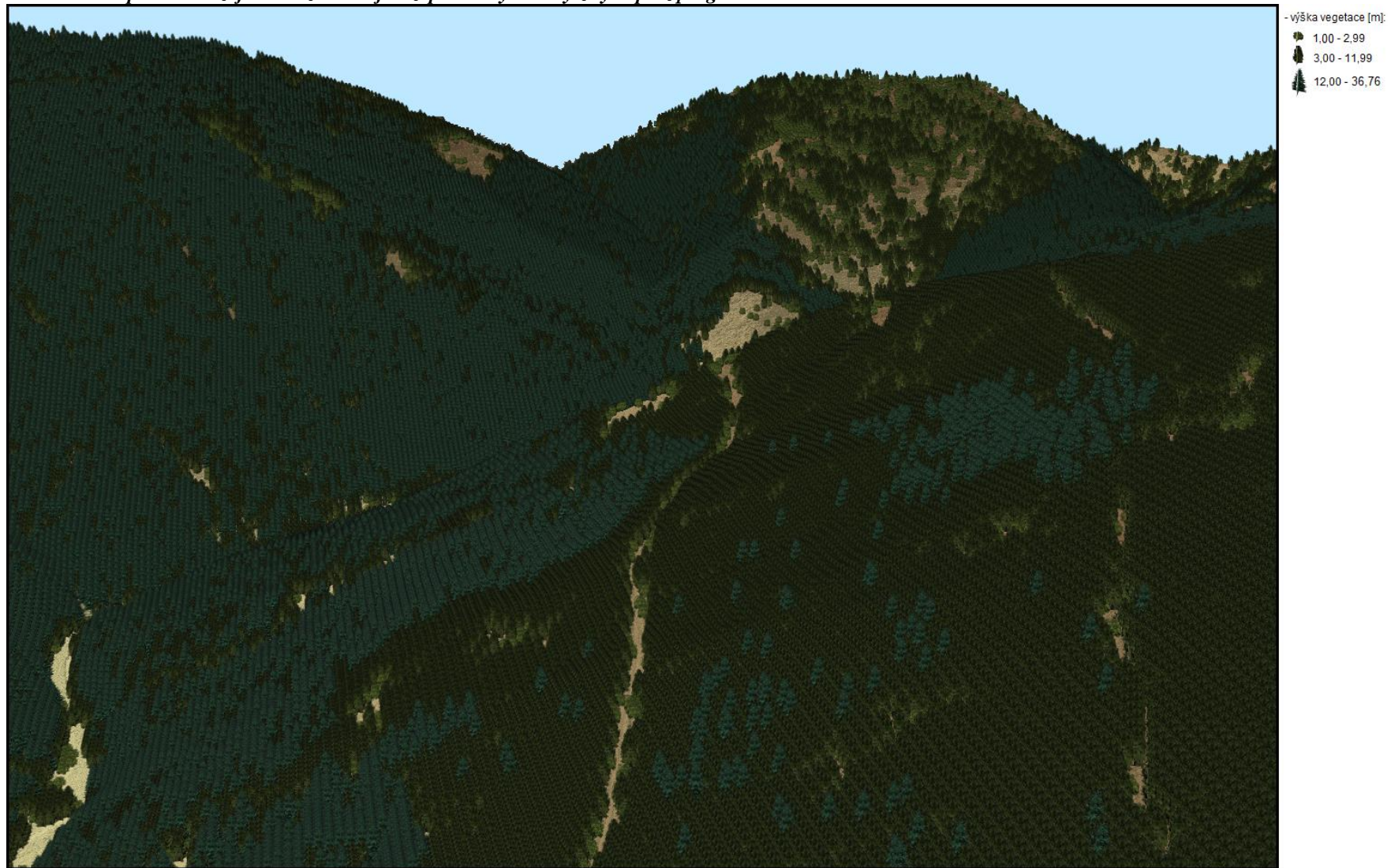


Výška vegetace i s výškou terénu [m n. m.]:





**Příloha 3: 3D pohled na zájmové území od jihozápadu - vytvořený z výstupu z programu ArcGIS 10.1**



**Příloha 4: 3D pohled na zájmové území od jihozápadu - vytvořený z výstupu z programu ENVI LIDAR 3.2**



**Příloha 5: Obsah CD-ROM**

- Digitální příloha I. **Bakalářská práce – Šiková.pdf**
- Digitální příloha II. složka: ArcGIS 10.1  
soubor: **vegetaceGIS**
- Digitální příloha III. složka: LAsTools  
soubor: **vegetaceLASMax**
- Digitální příloha IV. složka: ENVI LIDAR 3.2  
soubor: **Trees A**  
**Trees B**  
**Trees C**  
**Trees D**  
**Trees E**  
**Trees F**  
**Trees G**  
**Trees H**  
**Trees I**  
**Trees J**  
**Trees K**  
**Trees L**
- Digitální příloha V. složka: BCAL LIDAR Tools  
soubor: **Bcal A**  
**Bcal B**  
**Bcal C**  
**Bcal D**
- Digitální příloha VI. složka: vizualizace  
soubor: **vizualizaceGIS**
- Digitální příloha VII. složka: vizualizace  
soubor: **vizualizaceTreesA**