SPRACOVANIE ÚDAJOV LETECKÉHO LASEROVÉHO SKENOVANIA

Ing. Petronela Kovácsová

[1] Katedra Hospodárskej úpravy lesov a geodézia, LesníckáFakulta,Technická univerzita vo Zvolene, T.G. Masaryka 24 ,96053 Zvolen, Slovakia, petronelakovacsova@gmail.com

Abstract

Nowadays Airborne Laser Scanner (ALS) is new technology of Remote Sensing using for forestry research. This paper deals with preprocessing ALS data. Raw data in text format was provided from the University of Joensuu during the stay of foreign study in Finland. In 2004 four overflights over forests area in Matalonsalo were carried out over one location for obtaining sufficient density of points. The main output of ALS is a text file containing x, y, z coordinates of individual points, which are visualized like a points clouds. For preprocessing points clouds there were used several shareware softwares as FUSION from the USDA Forest Service and other commands using Windows Command line as LASTools and GnuWIN 32. The method of data preprocessing depends on the available commands (software) and its parameters. Every command requires different parameters, which influence the result output. From the points cloud there is derived and visualized digital terrain model, canopy height model, points cloud of individual tree and to infer its statistics characteristics. Results of the work are methodology of preprocessing and various picture outputs that can be used to process and obtain further information of interest. The final part provides an overview of the ALS application in forestry and other research opportunities.

Kľúčové slová
Airborne laser scanning, Remote sensing, preprocessing data, Fusion, points cloud

1. Úvod

V súčasnosti rýchly vývoj technológií Diaľkového Prieskumu Zeme prináša nový spôsob snímania Zemského povrchu - letecké laserové skenovanie (**A**irborn **L**aser **S**canner - ALS). Letecké laserové skenovanie ako primárny zdroj údajov má široké uplatnenie v rôznych pracovných odvetviach. V zahraničí je obrovský záujem o integráciu týchto technológií do lesníckych odvetví, pretože ich implementáciou sa prispeje efektívnému zberu a spracovaniu dát. Systémy laserového skenovania umožňujú zaobstarať rýchlo veľké množstvo údajov (bodový mrak), ktoré po spracovaní poskytujú 3D modely objektov a terénu. Z týchto modelov je možné odvodiť dendrometrické charakteristiky porastov, alebo digitálny model reliéfu. Výhody tejto technológie si vyžiadali vysokú pozornosť viacerých výskumných inštitútov a firiem zaoberajúcich sa lesníckou problematikou.

2. Problematika

Letecké laserové skenovanie je nekonvenčná metóda leteckého diaľkového prieskumu Zeme a z hľadiska zdroja žiarenia využíva aktívnu metódu, kde zdroj žiarenie je zabezpečený človekom.

Systémy leteckého laserového skenovania sa skladajú z niekoľkých samostatných technológii. Základ je tvorený laserovou jednotkou a skenerom, GPS a INS slúži ako navigačný systém [1]. V praxi je systém rozšírený ešte o časť snímajúcich obrazov skenovaného územia. Ide buď o RGB skener, digitálnu videokameru s vysokým rozlíšením, alebo digitálnu fotogrametrickú kameru [2].

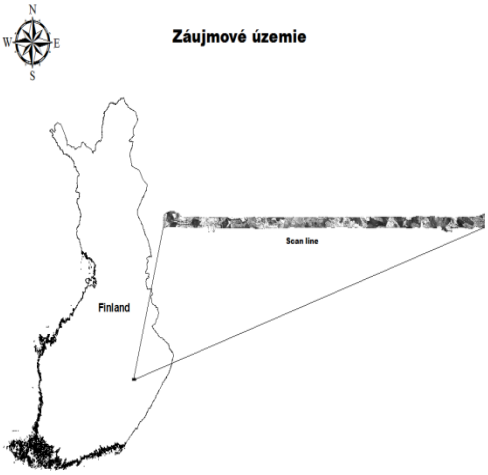
Skenovanie prebieha kolmo na smer letu. Vyslaný impulz opisuje po povrchu priamku, elipsu alebo sa pohybuje spôsobom „cik – cak“. Po odoslaní impulzu zaznamená počítač čas vyslania, ako aj polohu a orientáciu nosiča, uhol vychýlenia mechanickej sústavy [5]. Jednotlivé pulzy po odraze od meraného objektu sú vrátené späť do čidla skeneru, kde je z meraného času určená vzdialenosť medzi čidlom a meraným bodom, intenzita odrazu, čas záznamu a u niektorých skenerov je možné zaznamenať i echo (poradové číslo odrazu) [2].

Výsledkom procesu skenovania je množina bodov (mračno bodov, sken) vzťahujúca sa na miestny súradnicový systém skenera. Bod v mračne bodov nie je zobrazený len polohou, ale aj farbou, ktorá zároveň vyjadruje intenzitu prijatého signálu pri meraní dĺžok. Farebne môžu byť odlíšené povrchy z rôznych materiálov, úprav a geometrickej konfigurácie [3]. V 3D počítačovej grafike je bodový mrak charakterizovaný, ako súbor karteziánskych 3D súradníc. Súradnice bodov pri laserovom skenovaní sú v súradnicovom systéme prístroja, jedná sa o karteziánske (x, y, z,), alebo polárne súradnice (r, θ, φ) [5].

Dôležitou súčasťou systémov laserového skenovania sú programové prostriedky, bez ktorých by nebolo možné pracovať s nameranými údajmi. Programy na spracovanie bodového mraku sú poskytované buď výrobcami systémov alebo v súčasnosti sú voľne prístupné na internetových stránkach ako príkazy použiteľné v príkazovom riadku. Spracovanie bodového mraku je najdôležitejšou súčasťou laserového skenovania a je potrebné ho vykonať pred interpretáciou a ďalšími analýzami.

3. Metodika a materiál

Záujmové územie (Obr.1) sa nachádzajú vo východnom Fínsku v provincií severnej Savo, pričom snímaná lokalita patrí spoločnosti UPM Kymmene Ltd., ktorá sa zaoberá lesníckou činnosťou. Skúmané porasty sú typickým predstaviteľom boreálnych lesov. Najväčšie zastúpenie majú ihličnaté dreviny, ako sú borovica lesná *(Pinus sylvestris)* až 59 % a smrek obyčajný *(Picea abies)* 34%. Listnaté dreviny majú 7% zastúpenie z čoho najviac sa vyskytuje breza bradavičnatá *(Betula pubescense Ehrh.)* a breza previsnutá (*Betula pendula* Roth), v menšom zastúpený sa tu nachádza topoľ osika *(Populus tremula)* a jelša lepkavá *(Alnus incana).* Na snímanej lokalite sa nachádzajú ako prirodzené lesy tak i monokultúry, ktoré sa na území striedajú.



Obr. 1 Záujmové územie

Použití laserový systém

Dáta ALS boli zbierané pomocou laserového systému Optech ALTM 2033 v roku 2004. Prelet nad skúmaním územím sa vykonalo vo výške 1500 m n. m so zorným polom 30°. Výsledkom bolo 800 m široký pás snímaného zemského povrchu a nominálnou hustotou 0.7 meraní na m^2. Laserový lúč využil vlnovú dĺžku 1064 nm, pričom vychýlenosť bola 0.3 mrad. Systém zaznamenal prvé aj posledné echo.

Použité softvérové prostriedky

Spracovanie údajov a získanie výsledkov prebieha počas kancelárskych prác, pričom sa použilo niekoľko softvérových produktov, ktoré sú podrobnejšie opísané spolu s metodickým postupom v kapitole 3 Výsledky.

- FUSION je softvérový produkt od Katedry poľnohospodárstva poskytujúca lesnícke služby v USA. Je voľne prístupný na internetovej stránke. Softvérový produkt sa skladá z dvoch častí: FUSION a LDV (LIDAR data viewer), a obsahuje súbor príkazov.
- Príkazy GNUWin 32 z internetovej adresy: http://gnuwin32.sourceforge.net/packages.html
- Príkazy LASTools od Martina Isenburga a Jonathana Shewchuka voľne prístupné na internetovej adresy: *www.cs.unc.edu/~isenburg/lastools/*

4. Výsledky

Tvorba správneho formátu

Základným súborom je výstupný súbor z LIDARu vo formát *.ykj. Tento formát obsahuje súradnice x, y, z oddelené tabulátorom, avšak pre použité príkazy a programy je to nevyhovujúce. Preto je potrebné všetky súbory vo formáte *.ykj zmeniť do formátu *.csv (comma – separated text file). Z dôvodu veľkého množstva dát (okolo 17 millionov) sa použije príkazový riadok s GnuWin 32 s príkazom gawk.exe.

```
Adresár >gawk –f DF.txt input.ykj > output.csv
```

Ako prvé v NotePade sa vytvorí textový DF.txt súbor prikazujúci ukladať čiary medzi jednotlivé stĺpce súradníc. Týmto postupom sa získajú súbory vo formáte *.csv.

Pre softvérový produkt Fusion a jeho príkazy je postačujúci formát *csv transformovať na *.las. Tento typ formátu sa získa zo súboru *.csv, pomocou príkazového riadka, kde sa použije voľne šíriteľný príkaz txt2las.exe stiahnutý z internetovej adresy. Príkaz priamo konvertuje LIDARové dáta v štandardnom ASCII textovom formáte do účinnejšieho binárneho formátu *.las. Skratka -parse ssxyz vyjadruje spôsob rozboru a načítania vstupných údajov v priebehu spracovania.

```
Adresár>> txt2las –input.txt -o output.las -parse ssxyz
```

Podľa požiadavok je možné viacero súborov *.las spojiť do jedného, cieľom je buď získať dostatočnú hustotu bodového mraku, alebo vytvoriť väčšie územie na ďalšie analýzy. V prípade fínskych dát išlo o dosiahnutie lepšej hustoty bodového mraku, kde sa spoja všetky 4 *.las súbory do jedného využitým príkazu lasmerge.exe.

Adresár>> lasmerge -i input1.las -i input2.las -o output.las

Výhodou týchto dvoch príkazov je, že automaticky sa zobrazia potrebné vstupy v príkazovom riadku, ktoré stačí doplniť a spustiť spracovanie. Výstupný súbor *.las je základným prvkom pre program FUSION, ktorý slúži viac-menej na vizualizáciu výsledkov. Spracovanie a analýzy LIDARových dát v rámci tohto programu sa vykonávajú pomocou príkazového riadka a skupinou príkazov.

Tvorba DTM

Pri tvorbe DTM sa používajú dva príkazy: groundfilter.exe a gridsurfacecreate.exe. GroundFilter.exe je navrhnutý na filtrovanie bodového mraku tak, aby identifikoval všetky body pravdepodobne ležiace na zemskom povrchu. Nevýhodou príkazu je, že nie je schopný kompletne odstrániť impulzy z veľkej a plochej plochy ako napr. strechy domov, v prípade vegetácie väčšina impulzov sa odstráni pri použití vhodných koeficientov filtrovacieho algoritmu. Algoritmus je založený na lineárnom odhade pre každé meranie a využíva váhy. Vzdialenosť a smer povrchu DTM slúži na výpočet váh všetkých bodov, pričom parametre funkcie a, b udávajú strmosť funkcie váh. Hodnota g definuje pridelenou váhou 1.0 k bodom (maximálna hodnota váhy) a parameter w udáva hornú limitu pre body, ktoré ovplyvňujú výsledný povrch.

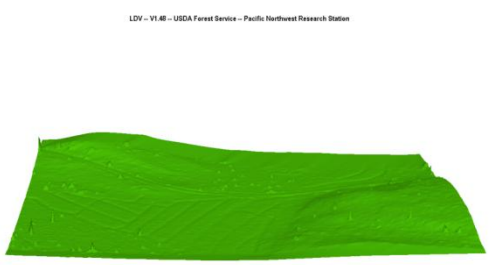
Pri zápise príkazu je potrebné dodržať požadované symboly, ktoré rozdeľujú jednotlivé parametre. Napr. *Adresár>>GroundFilter /aparm:1 /bparam:4 /gparam:0.5 /wparam:0.5 /tolerance:5 /iterations:5 output.lda input.las.* Výstupný súbor obsahuje klasifikované body pre povrch vo formáte *.lda. Výsledkom príkazu je súbor bodov vhodný na tvorbu povrchového modelu a následne slúži na odvodenie výšky pre vegetáciu.

Ďalší príkaz gridsurfacecreate.exe slúži na tvorbu gridu povrchového modelu vo formáte *.dtm. jednotlivé bunky (pixel) výšok sú vypočítané pomocou priemernej výšky všetkých bodov v rámci bunky.

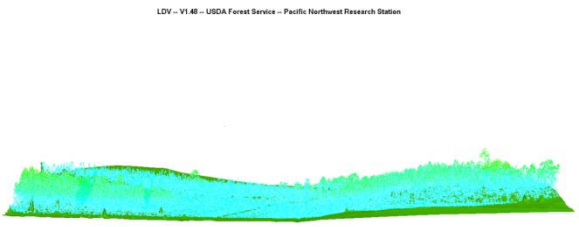
Adresár> GridSurfaceCreate /median:# or smooth:# /slope:# /spike:# /residuals outputfile.dtm cellsize xyunits zunits coordsys zone horizdatum vertdatum inputfile.lda

Príkaz umožňuje výber medzi dvoma typmi filtrovania a stanoviť ich veľkosť. Smooth filter nie je vhodný pri heterogénnych plochách, pretože môže spôsobiť stratu detailov jednotlivých objektov napr. cesty, rieky, striedanie rozdielnych krajinných prvkov, avšak vyhovuje pre rozsiahle homogénne lesné porasty. Parameter *spike* sa používa na odstránenie hrotov so súvisiacimi reziduálnymi odrazmi a parameter *slope* vyfiltruje plochy v stanovenom sklone. Tento príkaz umožňuje vypočítať štatistiku rezíduí všetkých bodov pomocou r*esiduals*. V rámci tohto príkazu je potrebné vložiť parametre výškového a polohového súradnicového systému. K jednotlivým súradnicovým systémom je priradená hodnota, ktorá sa samostatne vloží do príkazu.

Výsledkom príkazu je digitálny model reliéfu (Obr.2, Obr.3) vytvorený z bodového mraku posledného echa.



Obr. 2 3D Digitálny model reliéfu

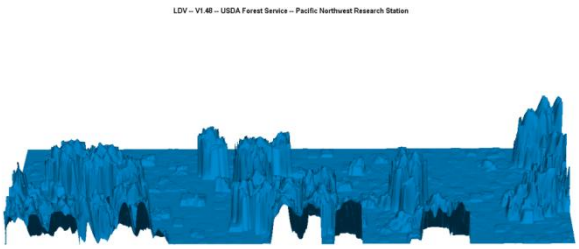


Obr. 3 3D Digitálny model reliéfu s bodovým mrakom vegetácie

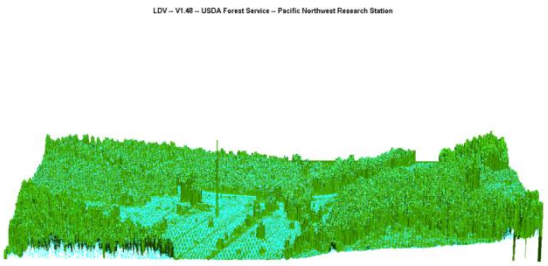
Tvorba modelu korunového povrchu

Na vytvorenie tohto typu modelu sa používa príkaz canopymodel.exe. Príkaz využíva algoritmus, ktorý priradí hodnotu najvyššie položeného bodu v rámci bunky ku stredu gridu. CanopyModel.exe si vyžaduje podobné vstupné parametre ako GridSurfaceCreate.exe, pričom je rozšírený o možnosti výpočtu textúry (variačný koeficient povrchu), sklon alebo expozíciu. Stanovenými parametrami *outlier* sa určí horná a spodná hranice výšok, ktoré sa použijú vo výpočtoch. Extrakciou DTM sa získa model korunových výšok (Obr.4, Obr.5).

Adresár> CanopyModel /median:# or smooth:# /texture:# /aspect /slope /outlier:low,high /ground:file output.dtm cellsize xyunits zunits coordsys zone horizdatum vertdatum input.las



Obr. 4 Model korunových výšok



Obr. 5 Model korunových výšok s bodovým mrakom

Výber skusných plôch a výpočet štatistických charakteristík pre bodový mrak

Program FUSION obsahuje príkazy na štatistické analýzy bodového mraku pre DTM, CHM, skusných plôch a drevín. Na výpočet rôznych štatistických parametrov LIDARových dát sa používa model CloudMetric.exe.

Tento príkaz je výhodný používať v kombinácií ClipData. exe najmä ak sa jedná o rozsiahly súbor bodov. Pomocou tohto príkazu sa získajú výberové súbory dát buď skusných plôch alebo jednotlivých stromov ešte pred ich štatistickým spracovaným.

ClipData /shape:# /dtm:file.dtm /zmin:# /zmax:# /height Input.las Output_plot.lda MinX MinY MaxX MaxY

Do príkazu je potrebné zadefinovať tvar výberovej plochy, kde 0 vyjadruje štvorec alebo obdĺžnik a hodnota 1 kruhovú výberovú plochu. Na odpočítanie výšok reliéfu od každej výšky bodu sa používa vytvorený DMR (vkladá sa adresár súboru.dtm), kde parameter *height* zabezpečí

proces konvertovania. Musí sa vždy použiť s DMR! Stanoveným parametrov *zmin* a *zmax* sa určí spodná a horná hranica bodov, čím sa odstránia prípadné chyby. Pre výberové súbory bodového mraku je potrebné mať určené súradnice polohy skusných plôch. Pre skusnú plochu sa stanovia súradnice hraníc plôch buď priamo s GPS alebo sa odvodia zo súradnice stredu plochy.

Ak sa má vybrať a spracovať veľké množstvo výberových plôch je výhodné vytvoriť *.bat formát pomocou programu Excel. Tento textový dokument v ANSI formáte musí obsahovať príkaz:

```
..\clipdata /shape:1 /dtm:adresár\input.dtm /zmin:0 /zmax:35 /height adresár\input.las
adresár\output_plot1.lda MinX MinY MaxX MaxY
```

pre všetky jednotlivé výberové plochy, ktoré sa majú spracovať (Mení sa identifikačné číslo výberovej plochy a jeho výstupu!). Excel umožňuje rýchlo vypočítať súradnice hraníc a pomocou funkcie Concatenate vytvoriť textový reťazec pre jednotlivé výberové plochy. Výhodou *.bat formátu je automatické spustenie procesu spracovania všetkých výberových plôch.

Po vytvorení výberových bodových mrakov výstupy sa štatisticky spracujú pomocou príkazu CloudMetrics.exe. Do výpočtov vstupuje súbor bodov s hodnotou výšok alebo intenzity z bodového mračna, pre ktoré sa vypočítajú charakteristiky ako minimálna, maximálna a priemerná hodnota bodov, medián, modus, odchýlka, variačný koeficient, koeficient asymetrie a zahrotenosti, percentily výšok a ďalšie.

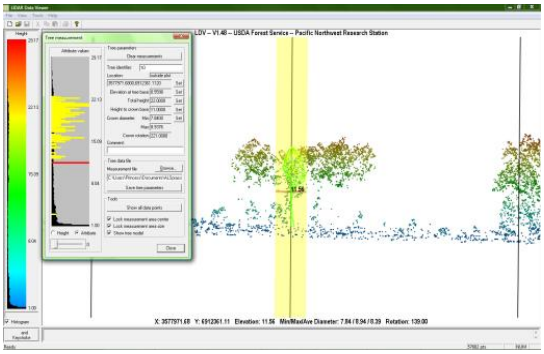
```
CloudMetrics /above:# /heightbreak /new /firstinpulse /firstreturn /id Input.txt Output.csv
```

Tento príkaz obsahuje nastavenia kde napr. vypočíta percento prvého echa nad stanovenou hranicou výšky, odhadne zápoj lesných porastov, priradí nový identifikátor ku každému súboru bodového mraku alebo vykoná výpočet len pre prvý odraz.

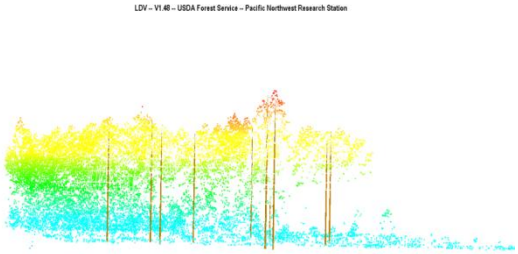
Vstupným údajom je textový formát obsahujúci adresár všetkých výberových súborov bodového mraku, ktoré majú byť štatisticky vyhodnotené. Po spracovaní týchto dát sa získa súbor vo formáte *.csv so všetkými štatistickými charakteristikami bodových mrakov, ktoré je možné ďalej vyhodnocovať programom Microsoft Excel alebo Statistica 8.0 Cz.

Modelovanie jednotlivých stromov a odvodenie ich charakteristík

Program FUSION umožňuje modelovanie jednotlivých stromov. Ľahkým a jednoduchým spôsobom počas spracovania je možné odvodiť dendrometrické charakteristiky ako sú výška, výška nasadenia koruny, výška päty stromu a rozmery koruny, okrem toho súradnice polohy stromov (Obr. 6). Základom celého spracovania je výberový valec pomocou, ktorého sa vyberie pravdepodobná (podľa vlastného posúdenia spracovateľa) korunová projekcia z bodového mraku. Veľkosť a tvar sa upravuje myšou a prispôsobuje tvaru a veľkosti bodového mraku stromu. Pri horizontálnej polohe je možné body stromu pospájať modulom, ktorý je založený na convex hull a TIN princípe. Jednotlivé výškové charakteristiky stromu sa určia pomocou pohybujúcej sa línie, pričom ostatné sa stanovia automaticky na základe polohy a tvaru výberového valca. Výstup výsledkov je vo formáte *.csv obsahujúce hore uvedené charakteristiky. Vymodelované stromy sa pripoja k projektu a vizualizujú sa vo formáte obrazov (Obr. 7, Obr. 8).



Obr. 6 Modelovanie stromu a stanovenie jeho charakteristík



Obr. 7 Súbor modelovaných stromov v bodovom mraku

Obr. 8 Súbor modelovaných stromov s korunovou projekciou

5. Záver

V priebehu predspracovania LIDARových údajov je potrebné si uvedomiť na čo, na aký zámer budú výsledky využité a podľa toho je potrebné voliť vhodné vstupné parametre. Od nich, významne závisí kvalita a presnosť následne odvodených informácií. Získané výstupné súbory slúžia ako zdroj pre ďalšie analýzy. Všetky predspracované dáta je možné importovať do softvérového produktu ArcGIS, kde je možné vykonávať rozdielne analýzy (napr. priestorové analýzy), čím sa získa kompletný projekt riešiaci skúmanú problematiku.

Prepojenie leteckého laserového skenovania s informačných systémov napr. geografickými informačnými systémami, alebo systémami rastových simulátorov poskytne komplexnejšie a presnejšie riešenia určitých problémov v lesnom hospodárstve. Okrem toho môže slúžiť, ako zdroj kvalitných informácií, pre naplnenie databáz a pre ďalšie aplikácie.

LIDARové údaje otvárajú nové možnosti pre lesníctvo a výskum. V súčasnosti na Slovensku LIDAR ako zdroj údajov pre lesníctvo je finančne náročný, ale pre výskumné účely bude čoskoro dosiahnuteľný. Významná časť zahraničných výskumov týkajúcich sa LIDARových dát je zameraná najmä na odvodenie stromových a porastových charakteristík.

Možnosti výskumu a využitia LIDARových dát v lesníctve:

- Odvodenie a predpoveď stromových charakteristík – inventarizácia lesa
- Odvodenie porastových zásob na základe jednotlivých korún získaných zo segmentácie

- Stanovenie zápoja porastov
- Zhodnotenie biomasy z LIDARových dát použitím regresných metód
- Ocenenie hustoty vegetácie v rozdielnych výškových stratách
- Zistenie vyťažených drevín použitím segmentácie
- Analýzy výškového prírastku v rámci sledovaného obdobia
- Vplyv nízkej vegetácie na tvorbu DTM
- Mapovanie štruktúry porastov pre analýzu habitátov živočíchov
- Ohodnotenie parametrov paliva z korún stromov
- Tvorba DTM pre analýzy povodia

6. Referencie

[1] DOLANSKÝ, T. *Lidary a letecké laserové skenovaní*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Acta Universitatis Purkynianae 99 Studia Geoinformatica, 2004. 100 s. ISBN 80-7044-575-0.

[2] LA-MA Land Management. *Metoda Laserové skenování* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Prahe, 2007-12-3. 2009 [cit. 2010-2-15]. Dostupné na internete: <http://www.la-ma.cz/?p=88>.

[3] KAŠPAR, M. - POSPÍŠIL, J. - ŠTRONER, M. - KŘEMEN, T. - TEJKAL, M. *Laserové skenovací systémy ve stavebnictví.* 1. vyd. Hradec Králové: Vega s.r.o., 2003b. ISBN: 80-900860-3-9. Zdroj: ZÁMEČNÍKOVÁ, M. Terestické laserové systémy. In *11. slovenské geodetické dni* [online]. Bratislava: Komora geodetov a kartografov, 2003 [cit. 2010-2-20]. Dostupné na internete: <http://www.google.sk/#hl=sk&q=zámečníková+TLS&meta=&aq=f&oq=zámeč níková+<TLS&fp=e3c8877c85dd6977>.

[4] MCGAUGHEY, R.J. *FUSION/LDV: Software for LIDAR Data Analysis and Visualization* [online] USA: USDA Forest Service. 2009. Dostupné na internete: http://www.fs.fed.us/eng/rsac/fusion/

[5] SMREČEK, R. *Využitie laserových a hyperspektrálnych údajov pre precízne lesníctvo.* Dizertačná práca, Technická univerzita vo Zvolene, Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie, 2009. 103 s.

Internetové adresy:

- http://gnuwin32.sourceforge.net/packages.html
- www.cs.unc.edu/~isenburg/lastools/
- http://www.fs.fed.us/eng/rsac/fusion/