

## INVENTARIZÁCIA MESTSKEJ ZELENE Z DÁT LETECKÉHO LASEROVÉHO SKENOVANIA

Róbert SMREČEK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T.G. Masaryka 24, 960 53, Zvolen, Slovenská republika  
*robert.smrecek@tuzvo.sk*

### Abstrakt

Z dát leteckého laserového skenovania je možné získať veľké množstvo informácií pre potreby samospráv. Okrem základných informácií ako sú napr. sklonové pomery v meste, výšky budov a pod., je možné využiť dáta leteckého laserového skenovania aj na inventarizáciu mestskej zelene. Na identifikáciu stromov a krov sa využila ich priepustnosť pre laserové impulzy. Mestská zeleň bola rozdelená do výškových tried.

### Abstract

The data from airborne laser scanning obtain a lot of information's for city government. Except basic information as slope, buildings height is possible to use the airborne laser data for inventory of city green. The penetration of laser impulses is used for tree and bushes identification. The vegetation is also possibly to classify into height classes.

**Kľúčové slová:** letecké laserové skenovanie, mestská zeleň.

**Keywords:** airborne laser scanning, urban green.

### ÚVOD

Mestská zeleň má neodmysliteľné postavenie v mestách. Pozitívne pôsobí na psychiku človeka, jeho životné prostredie. Svojím pôsobením zvyšuje kvalitu životného prostredia v mestách, znižuje množstvo škodlivých mikroorganizmov v ovzduší, znižuje prašnosť, tlmí hluk, vhodným umiestnením usmerňuje prúdenie vzduchu alebo môže pôsobiť ako vetrolam. Svojím objemom a biomasou zeleň ovplyvňuje klímu, teplotu vzduchu, vlhkosť, v mestách pôsobí ako ochladzovací činiteľ.

Na mapovanie mestskej zelene je možné použiť množstvo metód v závislosti od požadovaného výsledku a finančných možností. Môžu to byť metódy od terénneho prieskumu až po metódy diaľkového prieskumu Zeme (DPZ). Metódy DPZ poskytujú rýchle informácie o priestorovom rozdelení zelene v intraviláne ako aj o ich zdravotnom stave a druhovom zložení. Výstup sa môže použiť do existujúcich informačných systémov miest a doplniť existujúce informácie.

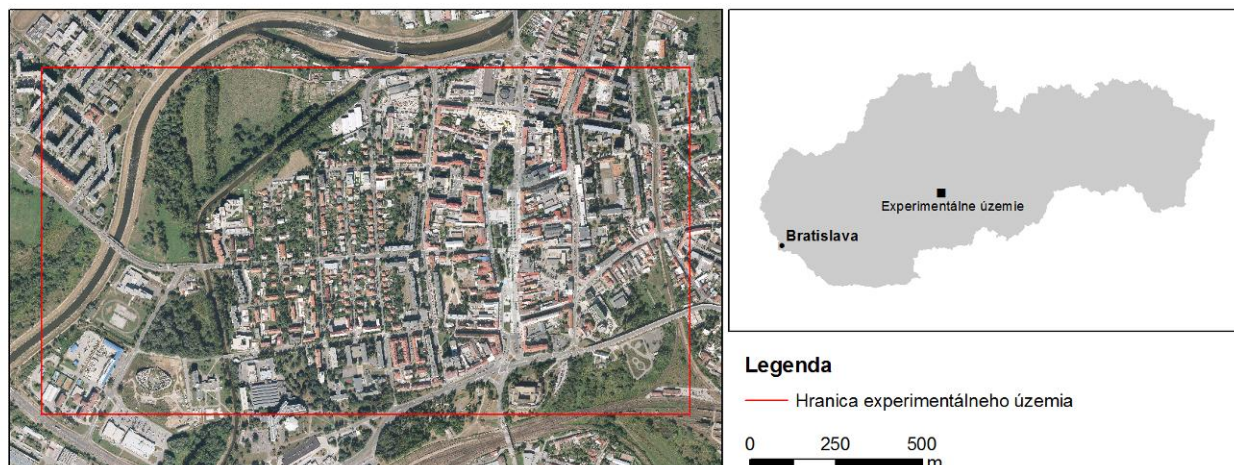
Letecké laserové skenovanie ako aktívna metóda DPZ, ktorá bola vyvinutá na získavanie topografických informácií o zemskom povrchu poskytuje množstvo informácií o intraviláne. Z týchto dát môžeme získať sklonové pomery v mestách, výšky, plochu a tvar objektov, identifikovať vegetáciu a rôzne povrchy. Informačnú hodnotu zvýši kombinácia s leteckými snímkami.

Cieľom príspevku je identifikácia mestskej zelene z dát a overiť správnosť jej identifikácie. Mestská zeleň sa rozriedi do výškových zón, následne sa vytvorí digitálna mapa priestorového rozdelenia zelene na experimentálnom území.

### MATERIÁL A EXPERIMENTÁLNE ÚZEMIE

Letecké laserové skenovanie prebehlo v apríli 2012. Na skenovanie bol použitý letecký laserový skener Riegl L-680i. Na spracovanie sa použili dve dátové sady laserového skenovania. Prvá dátová sada reprezentujúca povrch, t.j. vegetáciu, budovy a pod., mala priemernú hustotu bodov 6,06 bodov na m<sup>2</sup>. Druhá dátová sada reprezentujúca povrch, t.j. odfiltrované budovy a vegetácia, mala priemernú hustotu

bodov 11,05 bodov na m<sup>2</sup>. Na účely príspevku bolo ako experimentálne územie vybrané centrum Zvolena (Obr. 1).



**Obr. 1.** Umiestnenie experimentálneho územia

## METODIKA

Na identifikáciu vegetácie bol použitý softvér OPALS, ktorý bol vyvinutý na Technickej univerzite vo Viedni, Inštitúte fotogrametrie a diaľkového prieskumu Zeme.

### Identifikácia mestskej zelene

Pri plochách porastených vyššou vegetáciou sa laserové impulzy odrážajú v rôznych výškach, v závislosti od príchodu vegetáciou. Pri odraze od nepriepustných povrchov (strechy domov, zemský povrch a pod.) sa odrazy laserových impulzov nachádzajú v približne rovnakej výške. Táto skutočnosť bola využitá pri identifikácii vegetácie, stromov. V softvéri OPALS prebehlo meranie lokálnej priepustnosti a nerovnosti. Toto meranie, Počítanie odrazov (PO), prebehlo priamo v bodovom mraku, v 3D. PO je vypočítané pre každý odrazený laserový impulz v bodovom mraku podľa vzťahu (Höfle a kol. 2009):

$$\text{Počítanie odrazov [\%]} = n_{3D}/n_{2D} * 100 \quad (1)$$

kde:  $n_{3D} \leq n_{2D}$

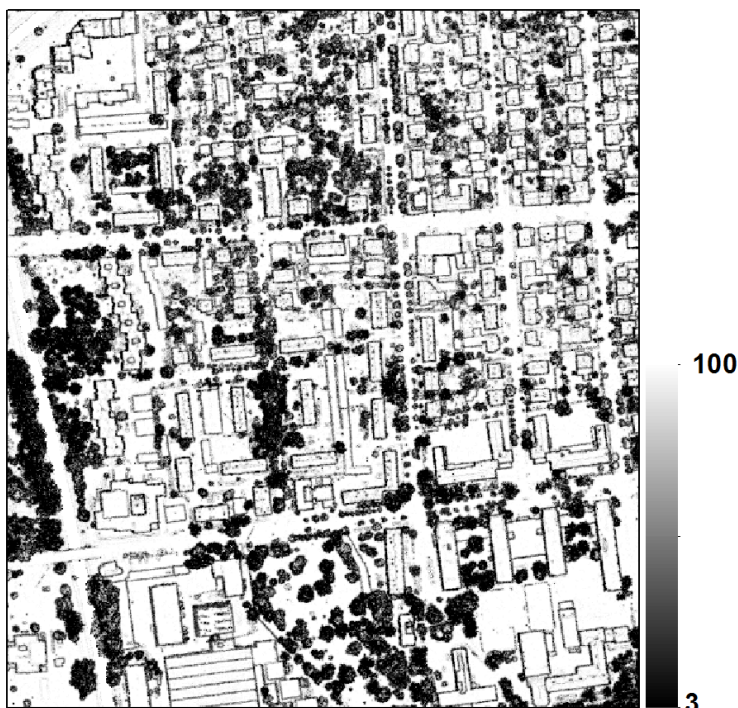
$n_{3D}$  – počet bodov, ktoré boli nájdené v definovanej vzdialenosti meranej v 3D (hľadanie v guli)

$n_{2D}$  – počet bodov nájdených v rovnakej vzdialenosti meranej v 2D (hľadanie vo vertikálnom valci s nekonečnou výškou)

Pre výpočet bola použitá vzdialenosť hľadania 1,2 m, ktorá zodpovedá dvojnásobku rozostupu bodov v bodovom mraku. Definovanie vzdialenosti ako dvojnásobok rozostupu bodov v bodovom mraku zabezpečí reprezentatívne množstvo bodov (Höfle a kol. 2009). V prípade šikmých nepriepustných povrchov, ako sú napr. strechy domov, sa hodnota PO znižuje v závislosti do veľkosti uhla zošikmenia. Dôvodom je hľadanie v 2D, vo vzdialenosti, ktorou je definovaný polomer vertikálneho valca. Na odstránenie tohto problému bolo použité hľadanie v 3D (guli), ktorej polomer sa prispôsobuje zošikmeniu plochy. Jej priemer je väčší ako vzdialenosť hľadania, t.j. priemer vertikálneho valca. Hodnota PO 100%, reprezentuje nepriepustné povrchy, ako sú strechy, cesty a pod. V prípade, že odrazené laserové impulzy sú rozmiestnené vo vertikálnom priestore, je hodnota PO < 100 (Hollaus a kol. 2010).

Obraz reprezentujúci PO na experimentálnom území (Obr. 2) bol prevedený do binárneho tvaru, kde územie pokryté vegetáciou dostalo hodnotu 0 a ostatné 1. Na tejto vrstve boli aplikované dva morfológické filtre. V prvom kroku bol aplikovaný morfológický filter dilate, pomocou ktorého sa odstránia budovy a elektrické vedenie. V druhom kroku bol aplikovaný morfológický filter erode, pomocou ktorého sa oblasti s vegetáciou,

ktoré boli zasiahnuté filtrom dilatacie vrátia do pôvodného stavu. Výsledná vrstva bola pomocou vektorizačných nástrojov softvéru OPALS konvertovaná do formátu shapefile.



**Obr. 2.** Hodnoty Počítania odrazov, na obrázku je možné rozlíšiť nepriepustné povrchy pre laserové impulzy (biele) a priepustné povrchy pre laserové impulzy (tmavé).

### Odvodenie výšky vegetácie

Na odvodenie výšky vegetácie bolo potrebné z dát leteckého laserového skenovania vytvoriť digitálny model terénu (DMT) a digitálny model povrchu (DMP). Hodnoty buniek predstavujú nadmorskú výšku v metroch nad morom. DMT a DMP boli vytvorené pomocou nástrojov softvéru OPALS. Na tvorbu sa použila metóda „movingPlanes“. Priestorové rozlíšenie DMT a DMP bolo 2 m.

Výška vegetácie sa odvodila z normalizovaného digitálneho modelu povrchu (nDMP). nDMP vznikne odčítaním DMT od DMP. Hodnoty buniek predstavujú výšku objektov v metroch.

Vegetácia bola rozdelená do výškových tried (Tab. 1)

**Tab. 1** Výškové triedy

Výšková trieda	Výška [m]
1	< 1
2	1 – 2
3	2 – 5
4	5 – 10
5	10 – 20
6	> 20

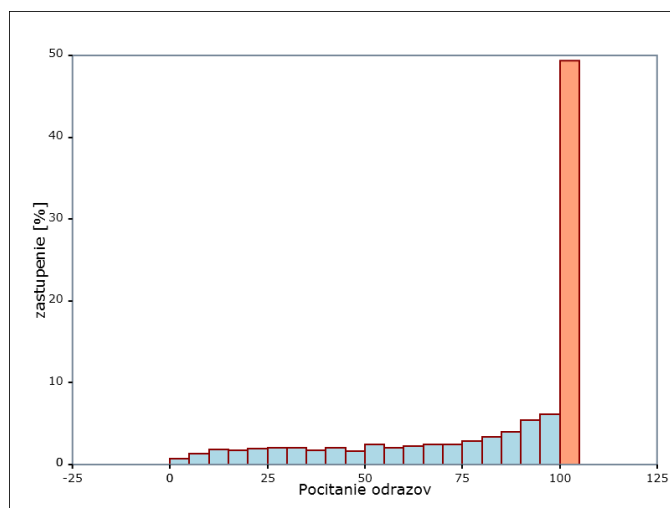
### Kontrola správnosti identifikácie mestskej zelene

Na kontrolu správnosti sa vybrali stromy, tzv. kontrolné stromy, ktoré boli náhodne rozmiestnené po celom experimentálnom území. Na základe veľkosti koruny boli kontrolné stromy rozdelené do dvoch kategórií. Kategória A mala koruny s priemerom koruny väčším ako 5 m. V kategórii B sa nachádzali kontrolné stromy s priemerom koruny menším ako 5 m. Väčšina stromov zahrnutých v kategórii B sa nachádzala na námestí v centre mesta Zvolen. Dôvodom je ich ľahká identifikácia z dát leteckého laserového skenovania a na ortofotosnímkach. Počet kontrolných stromov v kategórii A a B je uvedený v Tab. 2.

### VÝSLEDKY

Dátový súbor, z ktorého prebiehalo odvodenie DMP obsahoval takmer 9,4 miliónov bodov. Na spracovanie veľkých objemov dát sa využíva manažér dát softvéru OPALS (ODM), ktorý rozdelí dáta na dlaždice. Toto rozdelenie umožňuje lepšie a rýchlejšie spracovanie a spravovanie dát (Mandlbürger a kol. 2009). ODM rozdelil dáta z experimentálneho územia do 60 dlaždíc, s hranou 199 m. Priemerný počet bodov v dlaždici je 156 tisíc bodov. Dlaždica s minimálnym počtom bodov obsahuje 17 tisíc bodov a dlaždica s maximálnym počtom bodov obsahuje 212 tisíc bodov.

Dátový súbor, z ktorého prebiehalo odvodenie DMT obsahoval takmer 7,5 miliónov bodov. ODM rozdelil dáta z experimentálneho územia do 84 dlaždíc, s hranou 173 m. Priemerný počet bodov v dlaždici je 89 tisíc bodov. Dlaždica s minimálnym počtom bodov obsahuje 9 tisíc bodov a dlaždica s maximálnym počtom bodov obsahuje 159 tisíc bodov.



Obr. 3. Percentuálne zastúpenie hodnôt Počítania odrazov

Na grafe na Obr. 3 vidieť percentuálne zastúpenie hodnôt PO na experimentálnom území. Kvôli lepšej prehľadnosti boli hodnoty PO agregované do tried po 5, hodnota PO 100% je samostatná. Ako vidieť najzastúpenejšou hodnotou PO je hodnota 100%, ktorej zastúpenie je 49,4 %. Hodnotu PO 100% majú pre laserové impulzy nepriepustné povrchy, ako sú strechy budov, asfaltové cesty a pod. Vzhľadom, že experimentálne územie sa nachádza v intraviláne, bola vysoká hodnota očakávaná. Minimálna hodnota PO v dátovej sade je 1,7%. Na identifikáciu vegetácie sa ako prahová hodnota použila hodnota PO 80%.

Tab. 2 Správnosť identifikácie kontrolných stromov z dát leteckého laserového skenovania

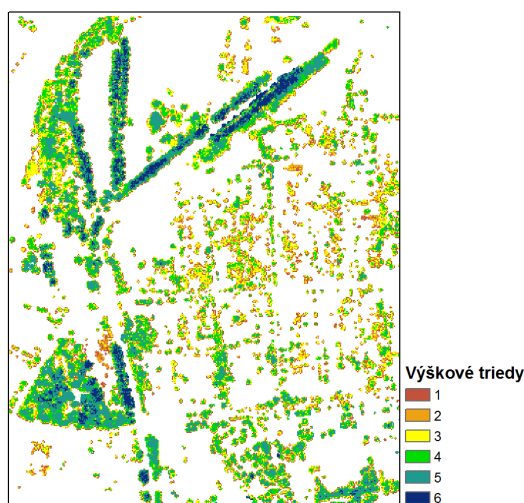
Kategória	Počet kontrolných stromov	Správnosť identifikácie [%]
A	60	97
B	60	62

Pomocou metódy založenej na meraní lokálnej priepustnosti a nerovnosti boli bez problémov identifikované väčšie skupiny stromov na území, napr. v parku Lanice, v parku akademika A. Priesola. Overenie prebehlo na základe vizuálneho porovnania výsledkov na podklade ortofosnímkov. Správnosť identifikácie kontrolných stromov je uvedená v Tab. 2. V kategórii A neboli z dát leteckého laserového skenovania identifikované 2 kontrolné stromy. Jedná sa o stromy, ktoré sú pravidelne strihané, majú guľovitú korunu s hustým olistením. Husté olistenie spôsobilo nepriechodnosť laserových impulzov cez korunu stromu, čo spôsobilo vysoké hodnoty PO. Táto skutočnosť bola overená aj na rastrovej vrstve hodnôt PO. V kategórii B bola správnosť identifikácie kontrolných stromov nižšia. Dôvodom je malý priemer a tvar koruny, vysoká hustota olistenia. Tieto skutočnosti spôsobujú vysoké hodnoty PO.

Pri identifikácii mestskej zelene došlo aj k chybnéj identifikácii na budovách. Je to spôsobené tvarom a konštrukciou strechy, priepustnosťou strechy – strešné okná (Obr. 4). V týchto prípadoch rozmiestnenie odrazov laserových impulzov spôsobuje nízke hodnoty PO, čo spôsobuje ich identifikáciu ako mestská zeleň. Chybné určené polygóny boli odstránené z výslednej vrstvy reprezentujúcej mestskú zeleň.



Obr. 4. Ukážka chýb identifikácie mestskej zelene



Obr. 5. Rozdelenie vegetácie do výškových tried

Výsledná rastrová vrstva reprezentujúca mestskú zeleň na experimentálnom území bola klasifikovaná do výškových tried podľa Tab. 1. Najviac zastúpenou je výšková trieda 4 s 27%. 25% je zastúpená výšková trieda 3. Najmenej zastúpenou je výšková trieda 6, je zastúpená vyše 3%. Výšková trieda 1 je zastúpená 17%, výšková trieda 2 je zastúpená vyše 10% a výšková trieda 5 je zastúpená necelými 18%. Priestorové rozdelenie mestskej zelene na časti experimentálneho územia, ktorá bola klasifikovaná do výškových tried je na Obr. 5.

## ZÁVER

V príspevku bola prezentovaná metóda merania lokálnej priepustnosti a nerovnosti na identifikáciu zelene v meste z dát leteckého laserového skenovania. Ako experimentálne územie bolo vybrané centrum mesta Zvolen. Na kontrolu správnosti identifikácie mestskej zelene, bolo vybraných 120 kontrolných stromov. Kontrolné stromy boli rozdelené do dvoch kategórií na základe priemeru koruny. V prípade kategórie A, kontrolné stromy so šírkou koruny väčšou ako 5 m, bola správnosť identifikácie 97%. V prípade kategórie B, kontrolné stromy so šírkou koruny menšou ako 5 m, bola správnosť identifikácie 62%. Na správnosť identifikácie mal vplyv tvar koruny a tiež hustota olistenia. Tieto vplyvy vytvárali vysokú hodnotu PO. Na strechách budov, ktoré mali strešné oknám vysokú členitosť, zložitú konštrukciu, veľmi šikmý sklon (kostolná veža) boli identifikované polygóny reprezentujúce mestskú zeleň. Dôvodom bolo rozmiestnenie odrazov laserových impulzov v priestore, čo spôsobilo hodnotu PO, ktorá bola pod prahovou hodnotou PO na identifikáciu zelene.

Na základe výsledkov môžeme konštatovať, že identifikácia mestskej zelene z dát leteckého laserového skenovania poskytuje rýchle informácie o rozmiestnení stromov v zastavaných územiach. Veľkou výhodou je automatizácia procesu. V kombinácii s leteckými snímkami je možné rýchle odstránenie zle klasifikovaných objektov a doplnenie neidentifikovaných stromov.

## POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt "Centrum excelentnosti pre podporu rozhodovania v lese a krajine", ITMS kód 26220120069, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## LITERATÚRA

Höfle, B., Mücke, W., Dutter, M., Rutzinger, M. a Dorninger, P. (2009) Detection of building regions using airborne LiDAR - A new combination of raster and point cloud based GIS methods. Proceedings of GI\_Forum 2009 - International Conference on Applied Geoinformatics, Salzburg, Rakúsko, 7. – 10. Júl, 2009, s. 66-75.

Hollaus, M., Wagner, W., Molnar, G., Mandlbürger, G., Nothegger, C., Otepka, J. (2010) Deliniation of vegetation and building polygons from full-waveform airborne lidar data using OPALS software. Geospatial Data and Geovisualization: Environment, Security, and Society, Special Joint Symposium of ISPRS Technical Commission IV and AutoCarto 2010 in conjunction with ASPRS/GaGIS Speciality Conference, Orlando, Florida, USA, 15. – 19. November, 2010, CDROM, 7 s.

Mandlbürger, G., Otepka, J., Karel, W., Wagner, W., Pfeifer, N. (2009) Orientation and Processing of Airborne Laser Scanning data (OPALS) - concept and first results of a comprehensive ALS software. ISPRS Workshop Laserscanning 2009, Paríž, Francúzsko, 1. – 2. September, 2009.