

VYUŽITIE DÁT LETECKÉHO LASEROVÉHO SKENOVANIA PRE ODVODENIE HRANÍC LESNÝCH KOMPLEXOV A VERTIKÁLNEJ ŠTRUKTÚRY LESNÝCH PORASTOV

Róbert SMREČEK¹, Ivan SAČKOV²

¹ 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

² Národné lesnícke centrum, Lesnícky výskumný ústav Zvolen, Odbor pestovania a inventarizácie lesa, T. G. Masaryka 22, 960 92, Zvolen, Slovenská republika
sackov@nlcsk.org

Abstrakt

Cieľom príspevku bolo určenie hraníc lesných komplexov na základe intenzity odrazu laserového impulzu od objektov na zemskom povrchu. Na odvodenie hranice lesných komplexov bol využitý fakt, že od objektov, ktoré sú priepustné pre laserové impulzy, napr. stromy, kry, sa pri odraze laserových impulzov vytvorí viacej ech. Od objektov, ktoré sú pre laserové impulzy nepriepustné, napr. budovy, zemský povrch, nízka trávnatá vegetácia, sa vytvorí len jedno echo, prípadne sú rozstupy medzi echami veľmi malé. Priepustnosť stromov pre laserové impulzy sa využila aj pri určovaní vertikálnej štruktúry porastov. Pre určenie vertikálnej štruktúry lesných porastov sa definovali štyri výškové triedy. Jednotlivé porastové etáže bolo možné určiť len v prípade, ak etáže boli jednoznačne oddelené medzerami. Výsledkom je vektorová vrstva reprezentujúca hranicu lesných porastov a rastrová vrstva s počtom etáží v jednotlivých lesných porastoch. Na ciele príspevku boli použité dáta získané leteckým laserovým skenerom Riegl LMS-Q680i. Skenovanie prebehlo v lete 2011 a zime 2012 na území Vysokoškolského lesníckeho podniku Technickej univerzity vo Zvolene.

Abstract

The purpose of this article is the forest border delineation based of the intensity of backscattered laser impulse. The forest border delineation is based on the fact, that backscattered laser impulse from penetrable objects (tree, bush) is created from more echoes. On the other hand, the laser impulse backscattered from impenetrable objects (building, earth surface, low grass vegetation) has only one echo, or the distance between echoes is very short. The laser impulse penetration through the trees was also used for the vertical forest structure derivation. Four height classes were defined. Only if is space between single tree layers is possible to derive number of tree layers in the forest stand vertical structure. The outcome is vector layer which define the forest borders and raster layer representing number of tree layers in the forest stands. The scanning was done with airborne laser scanner Riegl LMS-Q680i. In summer 2011 and winter 2012, there was performed airborne laser scanning on University Forest Enterprise of the Technical University in Zvolen area.

Kľúčové slová: letecké laserové skenovanie; lesníctvo; hranica lesa; vertikálna štruktúra porastu.

Keywords: airborne laser scanning; forestry; forest border; forest stand vertical structure.

ÚVOD

Odlíšenie oblastí porastených lesom od poľnohospodárskych pozemkov, lúk a urbanizovaných plôch patrí medzi prvé a základné úlohy pri množstve analýz prírodného prostredia, monitoringu životného prostredia a pod. Tiež pre potreby lesníckeho mapovania je dôležité správne odvodenie hraníc lesných komplexov. Vhodným nástrojom na identifikáciu lesných komplexov ako aj zisťovanie ďalších informácií o lese sú metódy diaľkového prieskumu Zeme.

Letecké laserové skenovanie je aktívna metóda diaľkového prieskumu Zeme, ktorá zaznamenáva trojdimenzionálnu (3D) pozíciu bodu meraním z jedného miesta. Výsledkom skenovania je bodový mrak,

ktorý je tvorený bodmi so známou pozíciou. Dáta z leteckého laserového skenovania majú vysoký potenciál na popisanie 3D, vertikálnej štruktúry lesa a odvodenie množstva informácií o lese. Výška stromu môže byť odvodená z normalizovaného digitálneho modelu povrchu (nDMP), ktorý vznikne odčítaním digitálneho modelu terénu (DMT) od digitálneho modelu povrchu (DMP) (Hollaus et al. 2006, Smreček 2012). Z takto odvodenej výšky môže byť pomocou modelov určená hrúbka stromu vo výške 1,3 m (Anderson et al. 2008, Dean et al. 2009, Salas et al. 2010). Z dát leteckého laserového skenovania je možné odvodiť aj ďalšie porastové a stromové charakteristiky ako napr. objem (Næsset et al. 2005, Clementel et al. 2012), index listovej plochy (Kwak et al. 2007, Dean et al. 2009) a pod.

V súčasnosti prebieha identifikácia hraníc lesa najmä z leteckých snímok alebo satelitných snímok s použitím rôznych prístupov. Limitujúcim faktorom v tomto prípade je napríklad ale tieň. Manuálna identifikácia hraníc je pritom pomerne subjektívna záležitosť a najmä v prípade veľkých území môže viesť k nepresným výsledkom. Letecké laserové skenovanie je vhodným nástrojom na identifikáciu lesných komplexov. Možnosť vysokého stupňa automatizácie vylučuje subjektívne chyby a umožňuje aplikáciu prístupov aj na rozsiahle homogénne oblasti. Identifikácii hraníc lesných komplexov z dát leteckého laserového skenovania sa venovali Straub et al. (2008) a Eysn et al. (2012).

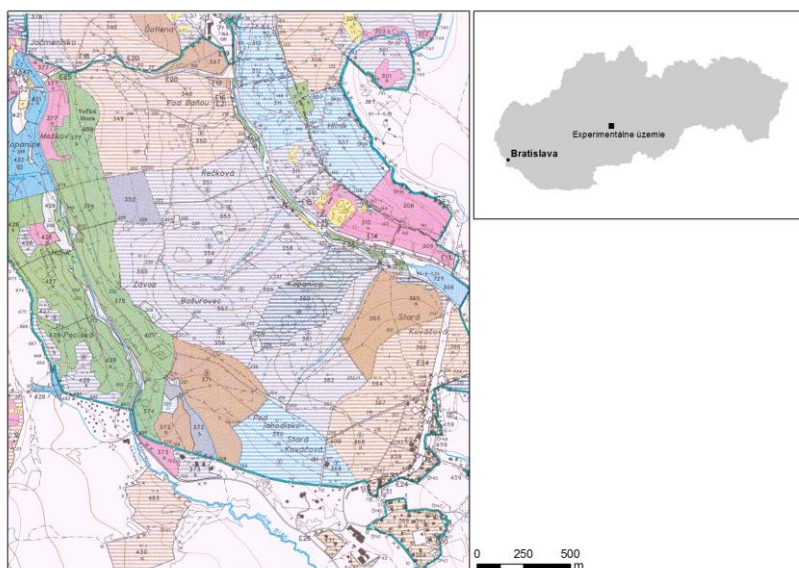
Vertikálna štruktúra porastu, počet etáží, je dôležitou popisnou charakteristikou lesných porastov. Repräsentuje množstvo vertikálnych vrstiev krovitej a stromovej vegetácie. Na základe rozmiestnenia bodov v bodovom mraku je možné popísať vertikálnu štruktúru porastov. Dôležité je rozmiestnenie bodov v bodovom mraku. Identifikácii vertikálnej štruktúry porastu sa venoval Hollaus et al. (2011).

V príspevku je prezentované automatizované určenie hranice lesného komplexu a vertikálnej štruktúry porastu z dát leteckého laserového skenovania.

EXPERIMENTÁLNY MATERIÁL

V septembri 2011 a v apríli 2012 prebehlo letecké laserové skenovanie na území Vysokoškolského lesníckeho podniku Technickej univerzity vo Zvolene (VŠLP). Na skenovanie bol použitý letecký laserový skener Riegl L-680i. Priemerná hustota bodov dát skenovaných v septembri 2011 je 6,8 bodov na m^2 . Priemerná hustota bodov dát skenovaných v apríli 2012 je 14,7 bodov na m^2 .

Na účely príspevku bolo vybrané experimentálne územie, v ktorom sa nachádzajú lesné porasty, lúčne spoločenstvá, polia a tiež budovy. Experimentálne územie sa nachádza na území VŠLP, severo-západne od obce Kováčová (Obr. 1). Výmera experimentálneho územia je cca 750 ha. Väčšina lesných porastov sa nachádza v diviačej zvernici, v ktorej sa nachádzajú aj políčka a lúky. Južne od diviačej zvernice sa nachádza chatová a rekreačná oblasť.



Obr. 1. Umiestnenie experimentálneho územia

METODIKA

Na identifikáciu hraníc lesných komplexov a vertikálnej štruktúry lesa bol použitý softvér OPALS, ktorý bol vyvinutý na Technickej univerzite vo Viedni, Inštitúte fotogrametrie a diaľkového prieskumu Zeme.

Identifikácia hranice lesných komplexov

Pri plochách porastených vyššou vegetáciou sa laserové impulzy odrážajú v rôznych výškach, v závislosti od priechodu vegetáciou. Pri odraze od nepriepustných povrchov (strechy domov, zemský povrch a pod.) sa odrazené laserové impulzy 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 et al. 2010).



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

Obraz reprezentujúci PO na experimentálnom území (Obr. 2) bol prevedený do binárneho tvaru, kde územie pokryté stromovou 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 „dilate“ vrátia do pôvodného stavu.

Z výslednej vrstvy boli vylúčené plochy menšie ako 0,5 ha. Táto hraničná hodnota je najmenšia veľkosť jednotky priestorového rozdelenia lesa (dielca), ktorú povoľuje zákon č. 326/2005 Z.z. o lesoch. Výsledná vrstva bola pomocou vektorizačných nástrojov softvéru OPALS konvertovaná do formátu shapefile.

Vertikálna štruktúra porastov

Na určenie vertikálnej štruktúry porastu je potrebné rozdelenie bodového mraku do vrstiev. Na definovanie vertikálnej štruktúry boli definované tri rôzne výšky vrstiev, kvôli prehľadnosti sa nazvali sada A, B a C. V sade A boli vytvorené štyri vrstvy (Tab. 1). V sade B bola výška vrstiev 1 m, prvá vrstva mala výšku 0,25 – 1 m, posledná vrstva bola > 30 m. V sade C bola výška vrstiev 2 m, prvá vrstva mala výšku 0,25 – 2 m, posledná vrstva bola > 30 m. Digitálny model terénu (DMT) je potrebný na určenie výšky odrazu laserových impulzov nad terénom. Bol vytvorený z dát leteckého laserového skenovania uskutočneného v apríli 2012 v nástrojmi softvéru OPALS. Na tvorbu DTM bola použitá metóda „movingPlanes“. Priestorové rozlíšenie vytvoreného DMT je 2 m.

Tab. 1 Výšky vrstiev v sade A

Vrstva	Výška [m]
V1	0,25 – 2
V2	2 - 10
V3	10 - 20
V4	> 20

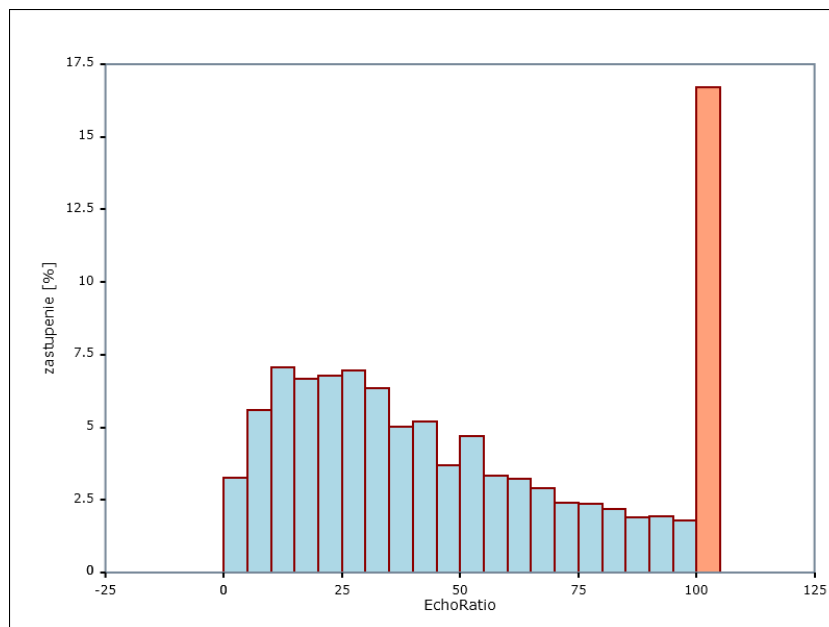
Nástrojmi softvéru OPALS boli všetky body v bodovom mraku pridelené do jednej z vytvorených vrstiev (napr. Tab. 1). Pomocou nástrojov mapovej algebry softvéru OPALS, sa pre každú vrstvu vypočítal index penetrácie laserových impulzov z celkového počtu laserových impulzov bodov v bodovom mraku. Vrstvy indexu penetrácie laserových impulzov sa previedli do binárneho tvaru. Ak sa v danej vrstve nachádzal bod, bola bunke pridelená hodnota 1, ak nie, bola bunke pridelená hodnota 0. Následne prebehlo počítanie jednotlivých vrstiev, v ktorých sa nachádzala hodnota 1, t.j. bod, reprezentujúci odraz laserového impulzu. Na započítanie etáže je potrebné aby sa vo vrstve nachádzali body. Ak sa aj v nasledujúcej vrstve nachádzali body, nebola pripočítaná ďalšia etáž. Na pripočítanie ďalšej etáže je potrebné, aby medzi vrstvami s bodmi, bola vrstva, v ktorej sa nenachádzali body. Výsledná vrstva reprezentuje počet etáží v lesných porastoch.

VÝSLEDKY

Na odvodenie hraníc lesných komplexov a vertikálnej štruktúry lesa boli využité dáta z leteckého laserového skenovania uskutočneného v septembri 2011. Dátový súbor, z ktorého prebiehalo odvodenie hraníc lesných komplexov a vertikálnej štruktúry porastov obsahoval takmer 40 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 270 dlaždíc, s hranou 177 m. Priemerný počet bodov v dlaždici je 146 tisíc bodov. Dlaždica s minimálnym počtom bodov obsahuje 9 tisíc bodov a dlaždica s maximálnym počtom bodov obsahuje 183 tisíc bodov.

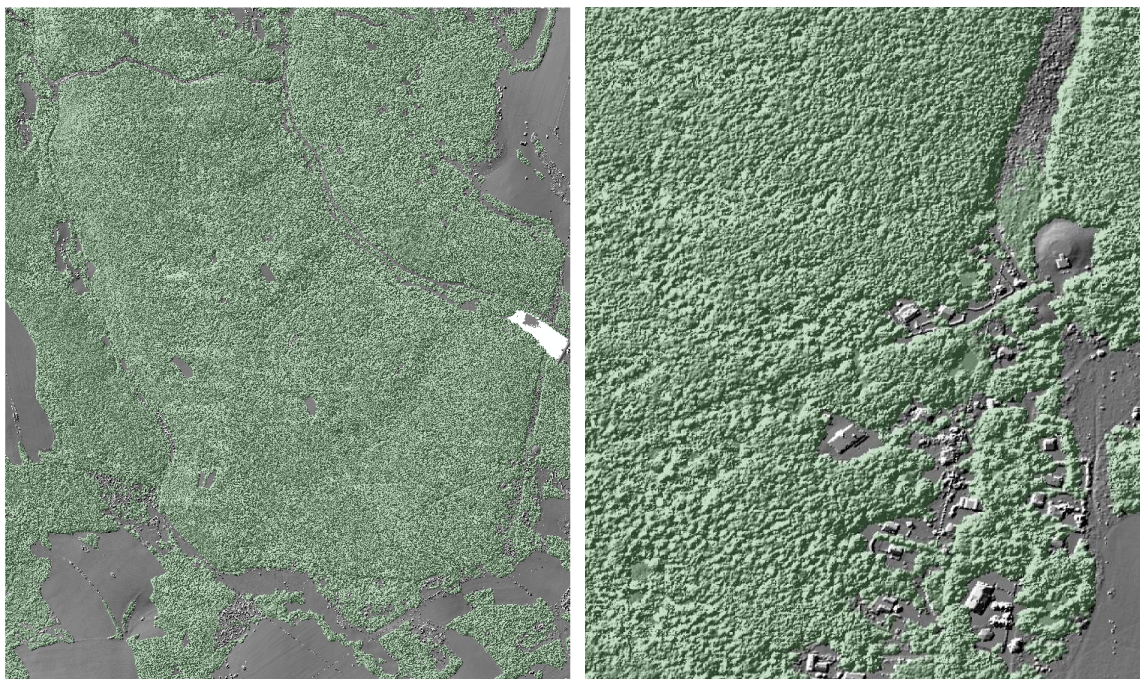
Odvodenie hraníc lesných komplexov

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 16,7 %. Hodnotu PO 100% majú pre laserové impulzy nepriepustné povrchy, ako sú strechy budov, asfaltové cesty a pod. Minimálna hodnota PO v dátovej sade je 1,3%. Na identifikáciu vegetácie sa ako prahová hodnota použila hodnota PO 85%.



Obr. 3. Percentuálne zastúpenie hodnôt Počítania odrazov

Odvodenie hraníc lesných komplexov prebehlo na základe definovanej prahovej hodnoty PO. Bola použitá minimálna výmera 0,5 ha pre polygón. Na Obr. 4 vidieť výsledok odvodenia hraníc lesných komplexov z dát leteckého laserového skenovania. Výmera lesného komplexu, ktorý bol odvodený z dát leteckého laserového skenovania je 596 ha. Odvodená hranica kopíruje porastovú stenu. Ako vidieť na Obr. 2, boli jednoznačne identifikovateľné aj budovy a sieť vysokého napätia. V prípade, malých budov (chatiek), čiastočne zakrytých stromami, nebola identifikácia jednoznačná. Je to spôsobené hodnotami PO.



Obr. 4. Identifikácia hranice lesa na záujmovom území (vľavo); detail (vpravo)

Pri vektorizácii polygónu, reprezentujúceho les boli malé medzery v korunách a menšie plochy obklopené lesom priradené do polygónu definujúceho les. Tento fakt je spôsobený algoritmom vektorizácie rastového obrazu v softvéri OPALS. Ako podklad vektorizácie sa použil binárny obraz reprezentujúci vegetáciu, ktorý je výsledkom použitia morfológického filtra „erode“. Na Obr. 5 je vidieť zahrnutie medzier medzi korunami a malých voľných plôch do polygónu reprezentujúceho les.



Obr. 5. Diery vo vegetácii po aplikácii morfológického filtra „erode“, ktoré boli zahrnuté do polygónu reprezentujúceho les

Vertikálna štruktúra porastov

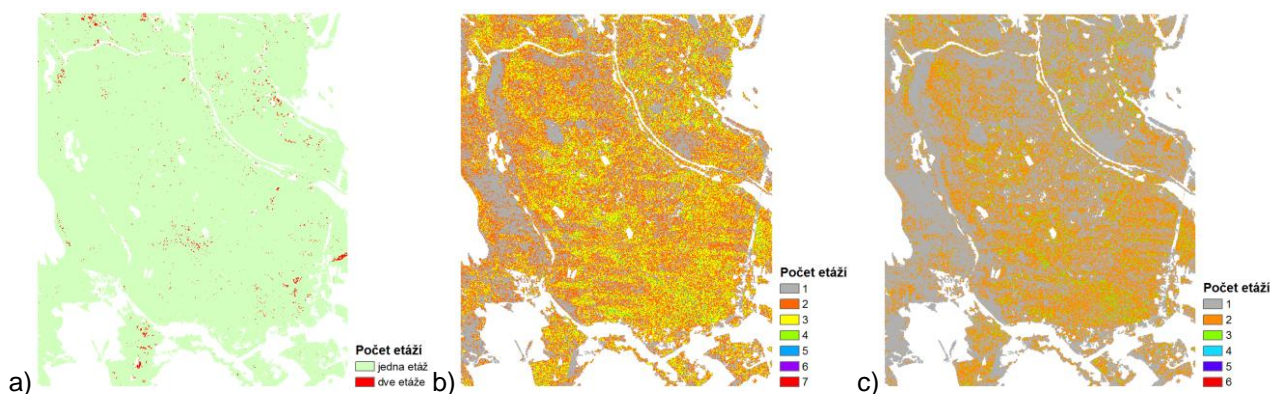
Na tvorbu DMT boli využité dáta z leteckého laserového skenovania uskutočneného v apríli 2012. Dátový súbor, ktorý bol použitý na tvorbu DMT obsahoval 53 miliónov bodov. ODM rozdelil dáta z experimentálneho územia do 195 dlaždíc s hranou 204,5 m. Priemerný počet bodov v dlaždici je 274 tisíc bodov. Dlaždica s minimálnym počtom bodov obsahuje 56 tisíc bodov a dlaždica s maximálnym počtom bodov obsahuje 274 tisíc bodov.

Tab. 2 Výmera jednotlivých etáží v ha

Počet etáží	sada A	sada B	sada C
1	590,4	190,01	358,07
2	6,08	232,63	207,42
3		131,97	29,73
4		36,1	1,24
5		5,25	0,02
6		0,5	0,0008
7		0,02	

Ako vidieť z Tab. 2, v sade A, boli evidované dve etáže, v sade B bolo evidovaných 7 etáží a v sade C 6 etáží. V sade A tvoria väčšinu lesnatého územia jednoetážové porasty. V sade B vyše 70% lesa tvoria jedno a dvojetážové porasty, ďalších 22% lesa sa nachádza v trojetážových porastoch. Zvyšných 8% lesa má 4

a viac etáží. V prípade sady C sa 60% lesa nachádza v jednoetážových porastoch, takmer 35% v dvojetážových porastoch, 4% v trojetážových porastoch. Zvyšné 2% lesa majú 4 a viac etáží. Rozloženie jednotlivých etáží na záujmovom území je na Obr. 6.



Obr. 6. Počet etáží v lesných porastoch: a) v sade A; b) v sade B; c) v sade C

Na základe výsledkov môžeme konštatovať, že na záujmovom území sa nachádzajú najmä jednoetážové a dvojetážové porasty, s občasným výskytom trojetážových porastov. Ako kritické sa javí definovanie výšky vrstiev pre zisťovanie počtu etáží v porastoch. Nerovnomerné rozmiestnenie bodov v bodovom mraku vo vertikálnej štruktúre, môže viesť k evidovaniu etáží, ktoré sa v poraste nenachádzajú. Dôvodom sú chýbajúce body v jednotlivých vrstvách, aj keď sa v danom priestore nachádza koruna.

ZÁVER

V príspevku je prezentovaný automatizovaný spôsob identifikácie hraníc zalesnených území a vertikálnej štruktúry porastov z dát leteckého laserového skenovania. Ako záujmové územie bola vybraná oblasť okolo diviacej zvernice na území Vysokoškolského lesníckeho podniku Technickej univerzity vo Zvolene. Na záujmom území sa nachádza široké spektrum povrchov a objektov. Nachádzajú sa tu poľnohospodárske plochy, nekosené lúky, cestná sieť, budovy a lesné porasty.

Odvodenie hraníc lesných komplexov z dát leteckého laserového skenovania prebehlo na základe merania priepustnosti a nerovnosti. Na základe priepustnosti laserových impulzov vegetáciou, boli odlíšené územia s vegetáciou a bez vegetácie. Pri vektorizácii hranice lesných komplexov bol použitý filter minimálnej veľkosti polygónu 0,5 ha. Minimálna veľkosť bola definovaná ako najmenšia veľkosť jednotky priestorového rozdelenia lesa, ktorú povoľuje zákon č. 326/2005 Z.z. o lesoch. Presnosť identifikácie hraníc lesných komplexov bola kontrovaná vizuálne na podklade ortofotosnímkov, porastovej mapy a digitálneho modelu povrchu (DMP) vytvoreného z dát leteckého laserového skenovania. Identifikácia vegetácie prebehla s vysokou mierou presnosti. Hranica kopírovala koruny stromov v porastových stenách. Identifikované boli lúky, ktoré sa nachádzali vo zvernici, ako aj medzery medzi korunami. Všetky lúky označené v porastovej mape zo záujmového územia boli identifikované aj z dát leteckého laserového skenovania. Pri vektorizácii hranice bola väčšina menších medzier medzi korunami zahrnutá do lesného komplexu, čo je v prípade niektorých aplikácií, ako je napr. tvorba máp, žiaduce.

Pri určovaní vertikálnej štruktúry porastov sa ako kritické ukázalo definovanie výšok vrstiev na identifikáciu etáží. Boli použité tri sady. V prvej sade (A) sa definovali 4 vrstvy, v druhej sade (B), boli definované vrstvy s výškou 1 m a v tretej sade (C), boli definované vrstvy s výškou 2 m. Na záujmovom území boli identifikované 2 etáže v prípade sady A, 7 etáží v prípade sady B a 6 etáží v prípade sady C. Na základe výsledkov v sade A, sa takmer 99% porastov na záujmovom území nachádza v jednoetážových porastoch. 70% lesnatého územia pri aplikácii sady B sa nachádza v jedno a dvojetážových porastoch. V prípade sady C takmer 95% lesnatého územia sa nachádza v jedno a dvojetážových porastoch. Na základe výsledkov vidieť vplyv definovania vrstiev na konečný počet etáží.

Z dát leteckého laserového skenovania je možné získať množstvo informácií o lesnom prostredí. Výhodou tejto alternatívy diaľkového priekumu Zeme je pritom pomerne vysoká miera automatizácie tejto činnosti.

Identifikácia hraníc lesných komplexov ako aj vertikálnej štruktúry porastov z dát leteckého laserového skenovania s vysokým stupňom automatizácie nájde uplatnenie najmä v lesníckom mapovaní. Na základe výsledkov je potrebné sa venovať ale ďalšiemu vývoju určenia vertikálnej štruktúry porastov.

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

Anderson, J., E., Plourde, L., C., Martin, M., E., Braswell, B., H., Smith, M., L., Dubayah, R., O., Hofton, M., A., Blair, J., B. (2008). Integrating waveform lidar with hyperspectral imagery for inventory of a northern temperate forest. *Remote Sensing of Environment* 112 (4): 1856-1870.

Clementel, F., Colle, G., Farruggia, C., Floris, A., Scrinzi, G., Torresan, Ch. (2012). Estimating forest timber volume by means of "low-cost" LiDAR data. *Italian Journal of Forest Sensing* 44: 125 – 140.

Dean, T., J., Cao, Q., V., Roberts, S., D., Evans, D., L. (2009). Measuring heights to crown base and crown median with LiDAR in mature, even-aged loblolly pine stand. *Forest Ecology and Management* 257 (1): 126-133.

Eysn, L., Hollaus, M., Schadauer, K., Pfeifer, N. (2012). Forest Delineation Based on Airborne LIDAR Data. *Remote Sensing* 4: 762 – 783.

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., Eysn, L., Mücke, W., Pfeifer, N., Mandlbürger, G. (2011): Forest Delineation and Structure Assessment Based on Airborne Laserscanning Data. *ELMF - European LiDAR Mapping Forum, Salzburg, Rakúsko, 29. - 30. November, 2011, s. 9.*

Hollaus, M., Wagner, W., Eberhöfer, C. and Karel, W. (2006) Accuracy of large-scale canopy heights derived from LiDAR data under operational constraints in a complex alpine environment. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 60 (5): 323-338.

Hollaus, M., Wagner, W., Molnar, G., Mandlbürger, G., Nothegger, C., Otepka, J. (2010) Delineation 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.*

Kwak, D.-A., Lee, W.-K., Cho, H.-K. (2007). Estimation of LAI using Lidar Remote Sensing in Forest. *ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007, Espoo, Fínsko, 12. – 14. September, 2007, s. 248 – 252.*

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.*

Næsset, E., Bollandsås, O., M., Gobakken, T. (2005). Comparing regression methods in estimation of biophysical properties of forest stands from two different inventories using laser scanner data. *Remote Sensing of Environment* 94(4): 541-553

Salas, Ch., Ene, L., Gregoire, T., G., Næsset, E., Gobakken, T. (2010). Modelling tree diameter from airborne laser scanning derived variables: A comparison of spatial statistical models. *Remote Sensing of Environment*, 114 (6): 1277-1285.

Smreček, R. (2012). Utilization of ALS Data for Forestry Purposes. In: Jekel T., Car A, Strobl J, Griesebner G (Eds.) (2012) *GI_Forum 2012: Geovisualization, Society and Learning*. Herbert Wichmann Verlag, VDE Verlag GMBH, Berlin and Offenbach, s. 365-376.

Straub, C., Weinacker, H., Koch, B. (2008). A Fully Automated Procedure for Delineation and Classification of Forest and Non-Forest Vegetation Based on Full Waveform Laser Scanner Data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences; ISPRS: Beijing, China*, 3. – 11. Júl, 2008, s. 1013-1019.

Zákon 326/2005 Z.z. o lesoch, v znení neskorších predpisov