

POSÚDENIE PRESNOSTI MERANIA CHARAKTERISTÍK STROMU POMOCOU POZEMNÉHO LASEROVÉHO SKENOVANIA

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Hubert Hasenauer¹, Ing. Róbert Smreček²

¹ Institute of Silviculture, Department of Forest- and Soil Sciences, BOKU – University of Natural Resources and Applied Life Sciences Vienna, Peter Jordanstr. 82, A-1190 Wien, Austria, E-mail: hubert.hasenauer@boku.ac.at

² Department of Forest Management and Geodesy, Faculty of Forestry, Technical University in Zvolen, T.G. Masaryka 24, 960 53, Zvolen, Slovak Republic, E-mail: smrecek@vsld.tuzvo.sk

Abstract

The goal was to consider the measurement of terrestrial laser scanner in forest stand. The measurement was made on 25 sample plots, where angle-count sampling, the trees were measured with classical methods. On the sample plots were 235 trees. We wanted to find out, if is the terrestrial laser scanner useful for angle-count sampling. We analyzed all measured characteristics of trees; it includes tree distance from standpoint, azimuth and breast high diameter. In forestry is breast high diameter very important parameter, because it is used for many calculations about the tree and forest stand characteristics. That was the reason, why we analyzed the breast high diameter in detail. If it was possible, we tried to describe the reason of divergence between terrestrial laser data and data measured by the classical methods.

Kľúčové slová

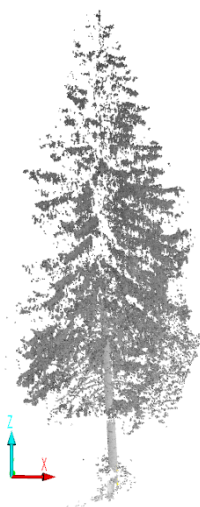
Terrestrial laser scanner, angle- count sampling, breast hight diemeter, basal area

1 Úvod

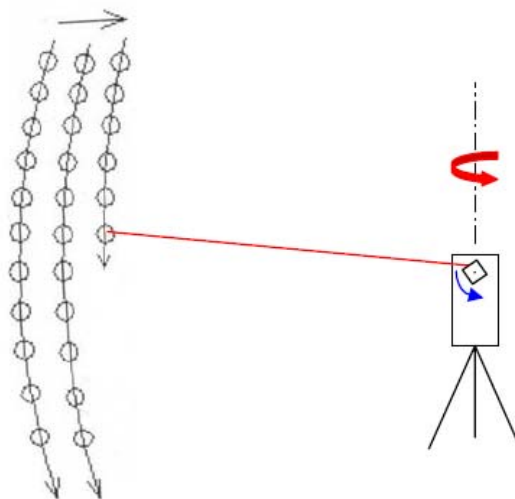
Na začiatku 90. rokov sa vyvinulo letecké laserové skenovanie ako alternatíva k leteckej fotografii. Pár rokov na to sa vyvinulo pozemné laserové skenovanie, ako zaujímavá metóda k zaznamenaniu objektov v blízkom okolí. Pozemné laserové skenovanie je alternatívou k fotogrametrii. Obidve metódy majú slabé a silné stránky, ktoré ich predurčujú k rozdielnemu využívaniu.

Pozemné laserové skenovanie sa využíva v architektúre, stavebníctve, archeológii a v ostatných oblastiach ľudskej činnosti. S laserovým skenerom sa možno stretnúť pomerne často, napr. v obchode ako snímač čiarových kódov. Pozemný laserový skener súži na snímanie objektov v blízkom okolí, najčastejšie v 3D priestore. Výsledkom snímania je bodový mrak (obr. 1). Pre každý bod snímaného povrchu sú známe jeho 3D polárne súradnice. Tie sú získané tak, že je známa vzdialenosť k snímanému povrchu ako horizontálny a vertikálny uhol pre každý lúč. Ďalej môžu byť obsiahnuté aj prídavné informácie, ako napr. intenzita odrazeného lúča. Pri spracovaní dát môžu byť použité tri základné súradnicové systémy, vlastný súradnicový systém prístroja SOSC (Scanner Own Coordinate System), ten môže byť prevedený do súradnicového systému projektu PRCS (PrRojekt Coordinate System) a globálneho súradnicového systému GLCS (GLobal Coordinate System).

Využitie pozemného laserového skenovania sa hľadá aj v lesníctve. Thies a Spiecker (2004), ako aj iní autori vidia využitie pozemných laserových skenerov pri lesníckych inventúrach a predpokladajú, že postupom času nahradia pozemné laserové skenery klasické metódy zisťovania charakteristík stromov. Títo dvaja spomínaní autori vidia využitie aj pri dokumentácii miesta v čase, takže sa môžu porovnávať zmeny v prírodnom prostredí. Veľmi dôležitá je automatická identifikácia stromov, tak aby táto metóda bola efektívna. Aj s touto problematikou sa zaoberajú mnohí autori ako napr. Aschoff a Spiecker, Bienert. Neustále prebieha výskum možností nasadenia pozemných laserových skenerov v lesníctve.



Obr. 1: Bodový mrak stromu



Obr. 2: Princíp snímania pozemného laserového skenera

Pod skenovaním rozumieme automatický proces, pri ktorom sa objekt bezkontaktné sníma a získavajú sa informácie, ktoré môžu byť ďalej spracované pomocou počítača. Snímanie prebieha v dvoch fázach. Najskôr sa situácia sníma vo vertikálnom smere, kde je lúč smerovaný pomocou zrkadla pri opticko-mechanickom princípe. Po dokončení sa horizontálny uhol zvýši o konštantu a uskutoční sa ďalší vertikálny sken (obr. 2). Surové dáta z laserového skenovania musia byť spracované. Spracovanie sa vykonáva pomocou rôznych programov, ktoré majú na spracovanie týchto dát rôzne nástroje. Tieto programy sa navzájom odlišujú v možnosti spracovania bodového mraku. Existujú algoritmy a metódy na identifikáciu objektov v bodovom mraku. Touto problematikou sa zaoberali napr. Vosselman, Jiang, Buke, Sithole, Hoover a iní. Identifikáciu stromov v bodovom mraku sa Gorte a Winterhalder (2004) a Aschoff a Spiecker (2004).

Laserové skenery môžu byť delené podľa rôznych kritérií. Môžu byť delené podľa systému merania vzdialenosti, na základe toho na laserové skenery vhodné do interiérov, exteriérov, krátke a veľké vzdialenosti. Potom podľa systému odchyľovania lúču. Podľa zorného poľa môžu byť laserové skenery delené na skenery s kamerovým zorným polom a panoramatickým zorným polom. Podrobným členením pozemných laserových skenerov sa zaoberali Fröhlich a Mettesleiter (2004) vo svojej práci. Podľa týchto autorov členenie systémov podľa napr. rýchlosti skenovania, presnosti systému, zorného poľa, možnosti kombinácie s inými zariadeniami (kamera, GPS atď.) apod. je užitočnejšie ako delenie podľa konštrukčných vlastností.

Podľa Bienert a kol. (2006) by mal byť maximálny dosah skenera použitého pri inventarizácii lesa 20 až 100 m, počet zaznamenaných bodov aspoň 10 000 za sekundu, presnosť merania vzdialeností by mala byť lepšia ako 10 mm. Použitý laserový skener by mal mať panoramatické zorné pole.

2 Experimentálny materiál

Na 25 meračských stanoviskách bolo vykonané uhlové sčítavanie stromov. Celkovo bolo zistených vo vnútri relaskopických skusných plôch 235 stromov. Meračské stanoviská sa nachádzali na území Rakúska. Firma TreeMetrix spracovala dáta, ktoré boli merané na tých istých meračských stanoviskách pomocou pozemného laserového skenera. Pri spracovaní dát pomocou programu firmy TreeMetrix boli aplikované princípy uhlového sčítania stromov. Program, s ktorým boli dáta z laserového skenovania vyhodnotené nedokázal identifikovať 14 stromov, to znamená, že identifikoval 221 stromov. Dôvody, prečo neboli stromy identifikované sú rôzne, 9 stromov nedokázal program identifikovať kvôli malému počtu bodov, v štyroch prípadoch boli zakryté a v jednom prípade je dôvod neznámy. Na plochách sa merala vzdialenosť a azimut stromov od stanoviska prístroja a priemer stromu vo výške 1,3 m. Merania sa vykonali pomocou laserového skenovania a klasických metód. Výsledky týchto meraní sme analyzovali.

3 Analýzy a výsledky

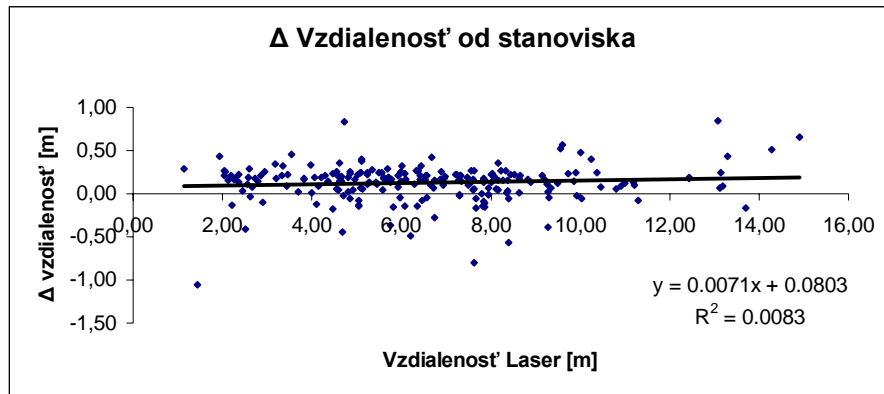
Merania ako už bolo spomenuté sa vykonali dvoma spôsobmi, pomocou klasických metód a pozemného laserového skenovania. V tejto časti bude vysvetlené ako boli merané jednotlivé charakteristiky pomocou klasických metód merania. Pri meraní vzdialenosti stromu od meračského stanoviska sa použilo klasické pásmo, kde sa merala vzdialenosť po okraj stromu. Pri meraní azimutu sa použila buzola. Meranie hrúbky $d_{1,3}$ sa vykonalo pomocou priemerky a boli zachované zásady merania hrúbky stromu. Uhlového sčítanie stromov, alebo tiež zisťovanie kruhovej základne porastu bolo vykonané zrkadlovým relaskopom. Presnosti merania jednotlivých charakteristík sú popísané pri analýzach.

3.1 Vzdialenosť a azimut

V oboch prípadoch sme pracovali so súborom 221 stromov, čiže len so stromami, ktoré program identifikoval.

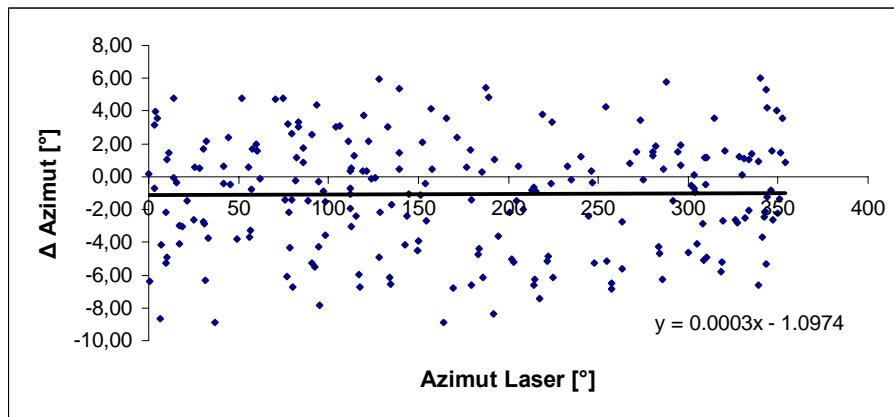
Pri manuálnom meraní ako pri meraní laserovým skenerom bola vzdialenosť meraná s presnosťou na dve desatinné miesta. Korelácia medzi obidvoma meraniami je veľmi vysoká, korelačný koeficient je $r = 0,997$. Rozdiely v jednotlivých meraniach sú v rozmedzí od -1,05 m do 0,85 m, aritmetický priemer je 0,13 m a smerodajná odchýlka je 0,21 m. Aj z grafu č. 1 možno vidieť, že laserový skener pri meraní vzdialenosti nadhodnocuje hodnoty. Zo spracovaných dát nie sme schopní uviesť dôvod pre tak veľké odchýlky. Najväčšiu odchýlku -1,05 m spôsobilo zavetvenie, v ostatných prípadoch je dôvod neznámy alebo nejasný. Pri delení odchýlok je 41 hodnôt v negatívnom rozsahu, čo je 19% zo všetkých dát. Iba pri jednej hodnote je rozdiel 0 cm. V rozsahu od 0 do ± 5 cm sa nachádza 30 hodnôt. V negatívnom a aj v pozitívnom rozsahu je

najviac dát v intervale do 20 cm. Môžeme povedať, že 96% všetkých dát má menšiu odchýlku ako $\pm 0,50$ m.



Graf č. 1: Rozdiely v metroch medzi dátami, ktoré boli merané klasickými metódami a pozemným laserovým skenerom.

Aj pri meraní azimutu je korelácia veľmi vysoká, jedná sa takmer o lineárnu funkciu. Korelačný faktor je $r = 0,999$. Rozmedzie pre rozdiely je od $-14,19^\circ$ do $6,01^\circ$, stred je $-1,1^\circ$ a smerodajná odchýlka je $3,55^\circ$. Nemôžeme povedať čo spôsobilo tieto rozdiely. Odchýlka $-14,19^\circ$ je veľký extrém, pretože ako vidieť z grafu č. 2, odchýlky v negatívnej oblasti sú všetky okrem jednej v intervale do -9° . Odchýlky pod $\pm 1^\circ$ má 50 hodnôt. V 58% zo všetkých dát laserový skener podhodnocoval pri meraní azimutu.



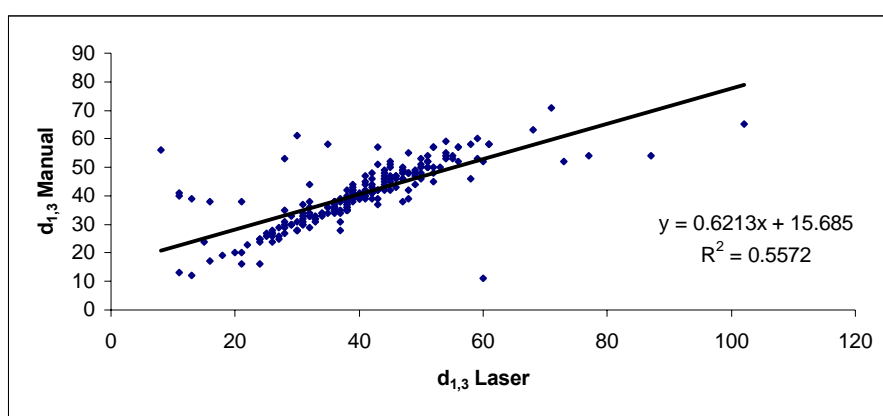
Graf č. 2: Rozdiely v stupňoch medzi dátami, ktoré boli merané klasickou metódou a pozemným laserovým skenerom

3.2 Priemer stromu $d_{1,3}$

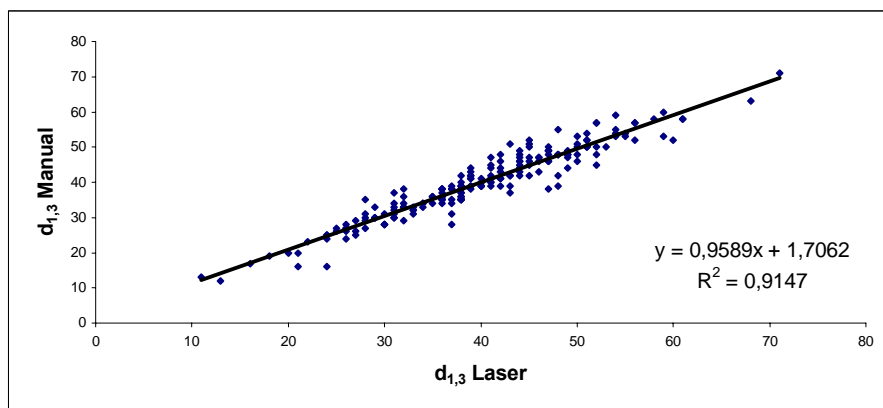
Pracovali sme so súborom 221 stromov. Priemer, ktorý bol získaný programom bol zaokrúhlený na celé číslo, pretože hrúbka bola meraná s presnosťou na dve desatinné miesta.

Stredná hrúbka, ktorá bola meraná klasickou metódou je 40,5 cm a stredná hrúbka, ktorá bola zmeraná pomocou pozemného laserového skenovania je 39,9 cm. Tu vidieť, že stredná hrúbka meraná pomocou pozemného laserového skenovania bola podhodnotená.

V grafe 3 sú zobrazené všetky dáta, jedná sa o 221 stromov. Z grafu č. 3 vidieť, že v súbore sa nachádzajú extrémne hodnoty. Tieto extrémne hodnoty majú za následok menšiu koreláciu. Po vynechaní týchto extrémnych hodnôt môžeme vidieť silnú koreláciu medzi priemerom meraným manuálne a pomocou programu, zobrazené v grafe č. 4. Korelačný koeficient v súbore s extrémnymi hodnotami je $r = 0,7465$ a v druhom prípade je $r = 0,9564$. Za existenciu týchto extrémnych hodnôt sú zodpovedné rôzne faktory. Najčastejšie sa jedná o tienenie iným stromom, podrast, hubové ochorenia, zavetvenie, nedostatok bodov v obraze laserového skenovania pre meranie hrúbky a iné faktory.

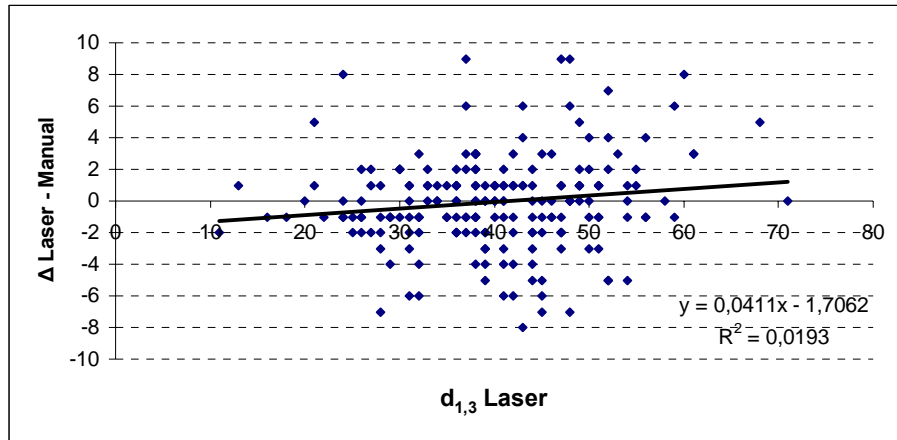


Graf č. 3: d_{1,3} s extrémnymi hodnotami



Graf č. 4: d_{1,3} bez extrémnych hodnôt

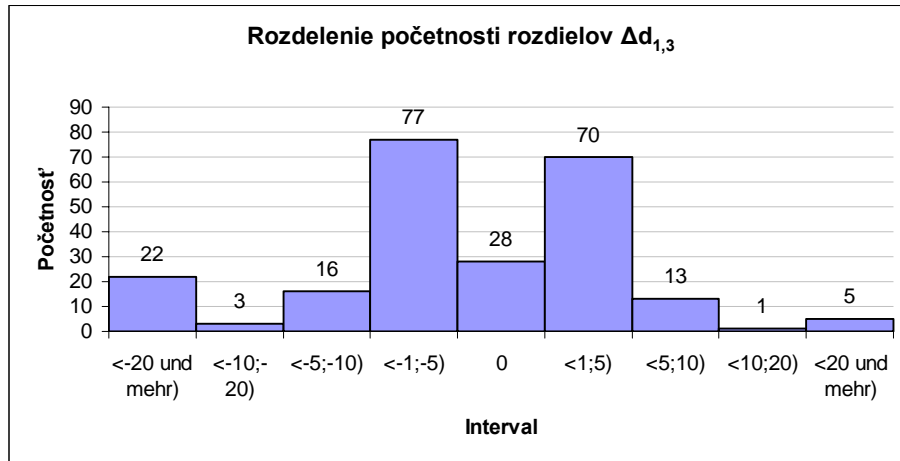
Po vynechaní dát s extrémnymi hodnotami spolu s dátami, ktoré neboli identifikované programom sme pôvodný súbor zmenšili o 32 hodnôt. Takto sme takmer 14% zo všetkých dát z rôznych dôvodov vynechali.



Graf č. 5: Rozdiely $d_{1,3}$ merané klasickou metódou a pozemným laserovým skenerom

Z grafu č. 5 vidieť, že rozdiely nie sú väčšie ako ± 9 cm. Najviac rozdielov je v intervale $<-5; +5>$, jedná sa o 186 hodnôt. Najviac dát má rozdiel ± 1 cm, je to 77 hodnôt. Rozdiel ± 2 cm má 37 hodnôt, ± 3 cm má 22 hodnôt a rozdiel ± 4 cm má 11 hodnôt. Rozdiel 0 cm má 28 hodnôt. Vo všetkých prípadoch, okrem rozdielu ± 3 cm, je väčšina rozdielov v negatívnom rozsahu, nejedná sa ale o veľkú prevahu, najviac je to v rozdiel ± 1 cm o 4%. Tento negatívny trend v rozdieloch možno vidieť aj z grafu č. 6, kde je zobrazené rozdelenie početnosti rozdielov všetkých 235 hodnôt. V intervale <-20 a viac $>$ sa nachádza 14 stromov, ktoré program nedokázal identifikovať.

Aritmetický priemer pre rozdiely zo súboru 235 stromov je $-2,88$ cm, keď vynecháme stromy, ktoré program nedokázal identifikovať bude aritmetický priemer $-0,56$ cm. Aritmetický priemer pre súbor stromov, kde boli vynechané extrémne hodnoty je $-0,06$ cm. Táto hodnota je zanedbateľná, ale v ostatných prípadoch vidieť podhodnocovanie pozemného laserového skenera pri meraní hrúbky $d_{1,3}$. Pri všetkých 235 hodnotách je smerodajná odchýlka $s_x = 12,6335$ cm, v druhom prípade je $s_x = 8,4319$ cm a v treťom prípade je smerodajná odchýlka $s_x = 2,9596$ cm. V prvom prípade sú za výsledok zodpovedné stromy, ktoré nedokázal program identifikovať, ich hrúbka $d_{1,3}$ je v intervale 20 až 55 cm, merané klasickou metódou. Stredná hrúbka pre týchto 14 stromov je 39 cm. Samozrejme, rozdiel v tomto prípade bude v intervale od -20 do -55 cm, pretože nie sú hodnoty pre hrúbku, ktorá bola nameraná programom. V prípade, kde sme vynechali neidentifikované stromy máme interval hrúbky 18 stromov, ktoré mali extrémne hodnoty rozdielov od 11 do 64 cm, merané klasickými metódami a ich stredná hrúbka je 46 cm. Hrúbka $d_{1,3}$, ktorá bola meraná programom má interval od 8 do 102 cm a stredná hrúbka je 40 cm. Rozdiely sú v intervale od -48 do 49 cm a aritmetický priemer je $-6,17$ cm. Takmer 67% z týchto hodnôt je v negatívnom rozsahu a všetky rozdiely sú väčšie ako 9 cm. Rozdiel hornej hranici 38 cm je spôsobený v tomto prípade zväčšením prízemku v dôsledku hubového ochorenia. Ale v tomto súbore s počtom stromov 221 sa nachádza aj väčší rozdiel spôsobený zavetvením, jedná sa o 49 cm. Hrúbka $d_{1,3}$ meraná klasickou metódou je 11 cm a hrúbka $d_{1,3}$ nameraná pozemným laserovým skenerom je 60 cm. V negatívnom rozsahu je najväčší rozdiel -48 cm, je spôsobený prekrytím stromov. Hrúbka nameraná klasickou metódou je 56 cm.



Graf č. 6: Rozdelenie početnosti rozdielov $d_{1,3}$ meraných klasickou metódou a pozemným laserovým skenerom zo všetkých 235 hodnôt

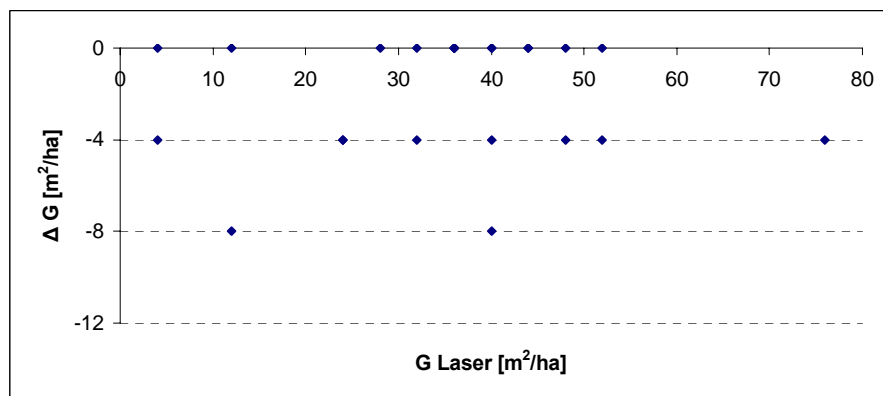
3.3 Kruhovú základňu porastu

Pri analýze kruhovej základne porastu sme pracovali so všetkými 25 skusnými plochami. Pri výpočte kruhovej základne porastu sme počítali s čítací faktor $k = 4$. Kruhovú základňu porastu bola počítaná podľa vzorca:

$$G = n * k \quad \text{Vzorec č. 1}$$

kde G je kruhovú základne porastu v m^2/ha , n je počet stromov na jednotlivých plochách a k je čítací faktor.

V tabuľke č. 1 je vidieť koľko stromov je na jednotlivých skusných plochách. Ďalej vypočítaná kruhovú základne porastu podľa vzorca č. 1 z obidvoch zistených početností stromov a rozdiel kruhovej základne porastu medzi obidvomi metódami merania.



Graf č. 7: Rozdiely v kruhovej základni porastu v m^2/ha medzi meraniami klasickou metódou a pozemným laserovým skenerom

Chýbajúce stromy v tabuľke č. 1 sú tie stromy, ktoré nedokázal program identifikovať, jedná sa o 14 stromov. Na desiatich plochách nedokázal program identifikovať stromy, na dvoch plochách neboli identifikované 2 stromy a na zvyšných ôsmich plochách 1 strom. Inak povedaná na 40%

plôch neboli identifikované stromy. Z tabuľky č. 1 ako aj z grafu č. 7 vidieť, že pri laserovom skenovaní je kruhová základňa porastu buď rovnaká, alebo výrazne podhodnotená oproti výsledku získaného klasickou metódou.

Plocha	N Manual	N Lasser	ΔN	G (m ² /ha) Manual	G (m ² /ha) Lasser	ΔG (m ² /ha)
1 LR	9	9	0	36	36	0
1 HR	9	9	0	36	36	0
2	10	10	0	40	40	0
3	2	1	1	8	4	-4
4	3	3	0	12	12	0
5	20	19	1	80	76	-4
6	9	8	1	36	32	-4
7	11	11	0	44	44	0
8	13	13	0	52	52	0
9	1	1	0	4	4	0
10	10	10	0	40	40	0
11	14	13	1	56	52	-4
12	13	12	1	52	48	-4
13	8	8	0	32	32	0
14	11	11	0	44	44	0
15	7	7	0	28	28	0
16	12	10	2	48	40	-8
17	9	9	0	36	36	0
18	13	13	0	52	52	0
19	5	3	2	20	12	-8
20	7	6	1	28	24	-4
21	12	12	0	48	48	0
22	7	6	1	28	24	-4
24	11	10	1	44	40	-4
25	9	9	0	36	36	0

Tabuľka č. 1: Hodnoty kruhovej základne porastu pre klasické metódy merania a pozemný laserový skener

4 Záver

V tomto článku sme chceli ukázať presnosť merania pozemného laserového skenera a výsledky, ktoré dosiahne v takých ťažkých podmienkach, ako je meranie v lese. Pri identifikácii stromov nedokázal program identifikovať takmer 6% stromov. Tento výsledok je podobný výsledku, ktorý dosiahol BIENART a kol. (2006), kde program nedokázal identifikovať 4% stromov v dôsledku zatienenia stromu alebo chyby klasifikačného kritéria. Ich súbor dát bol ale 3 krát menší ako náš. Pri identifikácii stromov podľa tohto výsledku dochádza pri laserovom skenovaní k podhodnocovaniu. Najčastejším dôvodom je zatienenie stromu a chyba klasifikačného kritéria.

Pri meraní vzdialenosti nadhodnocuje laserový skener v priemere o 13 cm. Aj keď môžeme tvrdiť, že meranie vzdialenosti pomocou lasera je veľmi presné, môžu dôvody pre nadhodnotenie rôzne, napr. identifikácia stromov. Na druhej strane sa tu môžu vyskytnúť podstatné podhodnotenia, napr. kvôli zavetveniu, podrastu atď., kde sa laserový lúč odrazí a tak sa neodmeria správna vzdialenosť. Najväčšie podhodnotenie v našom prípade je 1 m a je spôsobené zavetvením. Na druhej strane pri meraní azimutu podhodnocuje v priemere o 1,1°. Čím je spôsobené toto podhodnotenie nedokážeme povedať. Tieto dva faktory sú využívané pri modelovaní rozmiestnenia stromov v poraste. Tieto stredné chyby môžu byť tolerované pri zobrazení rozmiestnenia stromov v poraste. Treba dávať pozor na veľké podhodnotenia pri zakrytí kmeňov stromov rôznymi prekážkami, čo sa v lesných porastoch môže vyskytnúť.

Stredná hrúbka stromov, ktoré boli merané klasickou metódou je 40,5 cm, pri meraní pomocou pozemného laserového skenera je stredná hrúbka 39,9 cm. Pri laserovom skenovaní je hrúbka o 1,5% podhodnotená. Tento výsledok je podobný výsledkom, ktoré dosiahli Theis a Spiecker (2004), ktorým rozdiel medzi dátami meranými pásmom a laserovým skenerom vyšiel od -4,1% pri použití len jediného skenu po 1,3% pri použití piatich skenov s automatickým procesom určenia hrúbky. Naš výsledok je podobný aj s výsledkom Bienert a kol. (2006), ktorým aritmetický priemer vyšiel -0,92 cm. Pri hrúbke možno vidieť v priemerných rozdieloch medzi laserovým skenovaním a klasickými metódami malé podhodnotenie, 2,88 cm pri všetkých dátach, 0,56 cm pri všetkých stromoch, ktoré dokázal program identifikovať. Významný je výskyt extrémnych hodnôt. Tieto sú spôsobené rôznymi príčinami, napr. zatienenie stromu, malý počet bodov pre meranie, zavetvenie a pod. Takmer v 70% prípadoch týchto extrémnych hodnôt pozemný laserový skener podhodnocoval. Po vylúčení týchto extrémnych hodnôt nebudú rozdiely výrazné a tu je podhodnocovanie laserového skenera zanedbateľné. V našom prípade boli rozdiely pod ± 9 cm. Skutočnosť, aby sa takéto extrémne hodnoty nevyskytovali v súbore, môže nastať len v ideálnych podmienkach. Najväčší rozdiel 49 cm bol spôsobený zavetvením.

Kruhovú základne porastu je pozemným laserovým skenerom podhodnotená. Závisí to od toho, či bol program schopný identifikovať stromy. Potom bude kruhová základne porastu rovnaká alebo menšia ako pri uhlovom sčítavaní stromov. Podhodnotenie na 40% plôch je výrazné a tieto hodnoty sa nemôžu ďalej použiť. V súčasnosti je problematické vykonať uhlové sčítavanie stromov len pomocou laserového skenera. Otázka je, či budú tieto výsledky použiteľné, ak nebudú vyriešené problémy s identifikáciou stromov.

Tým, že laserový skener meria veľmi presne vzdialenosť bodov a laserový lúč sa odrazí od prvej prekážky, je v niektorých situáciách nepoužiteľný. Treba si uvedomiť, v ktorých podmienkach je nasadenie pozemného laserového skenera efektívne. Na druhej strane dokumentácia miesta v čase môže byť veľmi nápomocná pri analýzach zmien v prírodnom prostredí, pri viacnásobných meraniach na skusných plochách bez potreby ísť do terénu.

Schopnosť pozemného laserového skenera zachytiť 3D obraz snímaného objektu, prípadne objektov, sa môže využiť pri meraní charakteristík stromov ako je napr. hrúbka v rôznych výškach, nasadenie koruny, tvar kmeňa a koruny apod. Nakoľko z tohto 3D obrazu sme schopní merať tieto vlastnosti pomerne s vysokou presnosťou, budú aj ďalšie odvodené charakteristiky stromov a porastov presnejšie ako pri klasických metódach, kde sú výsledky veľmi často zaťažené chybami spôsobenými meračmi. To, že využívanie pozemných laserových skenerov sa môže využiť pri lesníckych inventúrach svedčia práce a výsledky z publikovaných štúdií a prác. Ako už bolo spomenuté vyššie, jedná sa o optický prístroj, ktorého nasadenie v prirodzených

a etážových lesoch s cieľom merať napr. hrúbky stromov môže veľmi problematické, nakoľko laserový lúč sa odrazí od prvej prekážky a objekty za touto prekážkou nebudú zaznamenané. Takto vznikajú diery bez dát (obr. 3). Vhodným rozmiestnením meračských stanovísk sa môže tento problém s viac alebo menším úspechom eliminovať. Pozemné laserové skenovanie perspektívna metóda, ktorá môže nájsť svoje uplatnenie v lesníctve. V dôsledku vysokej finančnej náročnosti prístroja nepredpokladáme masové nasadenie v blízkej budúcnosti. Výhody tejto technológie môžu byť využité v lesníckom výskume.



Obr. 3: Miesta bez dát, ktoré vznikajú za objektmi

5 Referencie

Aschoff, T., Spiecker, H.: *Algorithms for the Automatic Detection of Trees in Laser Scanner Data*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVI, Part 8/W2, 2004, str. 71 – 75, ISSN 1682-1750.

Bienert, A., Maas, H.-G., Scheller, S.: *Analysis of the Information Content of Terrestrial Laserscanner Point Clouds for the Automatic Determination of Forest Inventory Parameters*. Workshop on 3D Remote Sensing in Forestry, Vienna14 – 15 February 2006, str. 44 – 49.

Bienert A., Scheller, S., Keane, E., Mullooly, G., Mohan, F.: *Application of Terrestrial Laser Scanners for the Determination of Forest Inventory Parameters*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVI, Part 5, 2006, ISSN 1682-1750, Internetový zdroj: <http://www.isprs.org/commission5/proceedings06>

Fröhlich, C., Mettenleiter, M.: *Terrestrial Laser Scanning – New Perspectives in 3D Surveying*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVI, Part 8/W2, 2004, str. 7 – 13, ISSN 1682-1750.

Gorte, B., Winterhalder, D.: *Reconstruction of Laser-Scanned Trees using Filter Operations in the 3D Raster Domain*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVI, Part 8/W2, 2004, str. 39 – 44, ISSN 1682-1750.

Harig, A.: *Modellierung terrestrischer Laserscanner-Daten*. Diplomarbeit, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Wien, 2003.

Kienast, J.: *Untersuchung einer relativ zum terrestrischen Laserscanner Riegl LMS-Z420i kalibrierten Kamera hinsichtlich Stabilität dieser Kalibrierung*. Diplomarbeit, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Wien, 2006.

Niemeier, W., Thomsen, S., Schäfer, M.: *3-D Geometrieerfassung mit terrestrischen Laserscannern*. Luhman T. (Hrsg.), Photogrammetrie und Laserscanning, Anwendung für As-Built-Dokumentation und facility Managment, 2002, str. 15 – 26. ISBN 3-879707-390-2.

Šmelko, Š.: *Dendrometria*. Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen, 2000, 399s., ISBN 80-228-0962-4

Thies, M., Spiecker, H.: *Evaluation and Future Prospects of Terrestrial Laser Scanning for Standardized Forest Inventories*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVI, Part 8/W2, 2004, str. 192 – 197, ISSN 1682-1750.

Recenzoval: Ing. Andrea Majlingová, PhD.