

ZISŤOVANIE STROMOVÝCH CHARAKTERISTÍK POMOCOU ÚDAJOV Z MOBILNÉHO MAPOVACIEHO SYSTÉMU

Juraj Čerňava¹

¹Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T.G. Masaryka 24, 960 53, Zvolen, Slovenská republika
jurajcernava@gmail.com

Abstrakt. Práca sa zaoberá problematikou využitia údajov z mobilného mapovacieho systému na zisťovanie dendrometrických veličín. Výskum je zameraný najmä na získavanie informácií o hrúbke kmeňa z mračna bodov produkovaného mobilným mapovacím systémom. Úvodná časť sa venuje hypotézam využitia takýchto dát v oblasti lesníctva. Práca je zameraná taktiež na analýzu problémov vznikajúcich pri jednotlivých fázach spracovania. Od transformácie súradnicového systému cez klasifikáciu bodového mračna a výškovú normalizáciu až po samotné merania priemerov na mračne bodov vyúsťuje práca do štatistického vyhodnotenia získaných hodnôt hrúbok vo výške 1,3 metra. Na vekovo a drevinovo variabilnom výberovom súbore boli porovnané hrúbky namerané na mračne bodov s hrúbkami získanými použitím konvenčných postupov. Použitím hodnôt nameraných konvenčnými postupmi ako porovnávacjej roviny sú v rámci štatistického spracovania uvedené chyby merania hrúbok na mračne bodov. V rámci diskusie sú spomenuté niektoré práce využívajúce identické údaje na zisťovanie dendrometrických veličín. Táto časť opisuje viacero prístupov použitých pri spracovaní dát z laserového skenovania s presnosťami, ktoré autori jednotlivých výskumov dosiahli. V závere sa práca venuje získaným výsledkom a ich dopadu na výskum v oblasti aplikácie technológie mobilného mapovania na hospodársku úpravu lesa, ako aj smerovaniu vývoja mobilizácie zberu priestorových údajov.

Kľúčové slová: meranie hrúbky stromu, mobilný mapovací systém, pozemné laserové skenovanie

Abstract. Thesis deals with issue of feasibility of data produced by mobile mapping system for tree characteristics estimation. Research is focused mainly on retrieval of tree diameter information based on point cloud produced by mobile mapping system. Introduction is devoted to hypotheses of application of such a data in forestry domain. Thesis is also focused on analysis of problems arising during individual stages of data processing. From transformation of coordinate system through point cloud classification and height normalization to measurement of diameter on point cloud itself thesis eventuate in statistical analysis of obtained values of diameter at the breast height. Based on sample containing trees of variable age and species were compared values of diameter at the breast height measured using point cloud data and values measured using conventional methods. Statistical analysis shows errors in diameter measurements based on the values measured using conventional methods as a datum plane. Within the discussion part are mentioned some of the studies that are using identical data for tree characteristics estimation. This part describes different approaches used for laser scanning data processing together with precision which authors of individual researches achieved. Conclusion is

devoted to achieved results and its impact on the application of mobile mapping technology in forest management research, as well as direction of spatial data acquisition mobilization development.

Keywords: measurement of tree diameter, mobile mapping system, terrestrial laser scanning

1 Úvod

Laserové skenovanie je revolučná technológia, ktorá spôsobila prevrat nielen v lesníctve ale aj mnohých príbuzných oblastiach. Laserové skenery pripevnené na leteckých nosičoch dokázali produkovať digitálne modely terénu aj pod povrchom súvislého zápoja korun stromov, ktorý bežne používané metódy fotogrametrie nedokázali poskytnúť. Táto skutočnosť následne vyústila do získavania výšok stromov z normalizovaného digitálneho modelu reliéfu resp. výškové modelu zápoja korun, čo významne prispelo k precíznejšiemu stanoveniu zásob porastov. Týmto sa z veľkej časti vyriešil problém zisťovania výšky porastu.

Následným zvyšovaním hustoty bodov leteckých laserových skenerov sa začal výskum v oblasti aplikácie Lidar-u sústreďovať na automatizáciu zisťovania zásob porastov, pre ktorú bola technológia akousi hybnou silou. Spočiatku sa údaje z leteckých laserových skenerov začali kombinovať s konvenčnými meraniami hrúbok a následne boli odvodené rady algoritmov pre výpočet zásob porastov. Konvenčné merania hrúbok a výšok ale aj dlhodobu sledovaná hrúbková štruktúra na trvalých monitorovacích plochách slúžili na zistenie vzťahov medzi výškou a hrúbkou pre jednotlivé štruktúrne identické časti porastu. Na výpočet zásob takýmto algoritmi bolo potrebné z empirických meraní odvodiť koeficienty závislé najmä od kvality stanovišť resp. bonity ale aj konštanty reprezentujúce drevinové zloženie porastu. Takéto zisťovanie zásob bolo navrhnuté za účelom prevádzkového zisťovania zásob najmä rozsiahlych lesných komplexov, kde boli nepriaznivé podmienky pre bežné merania, avšak presnosť výpočtu zásob takýmto spôsobom bola pomerne nízka.

V poslednej dobe začínajú do oblasti hospodárskej úpravy lesov prenikať mobilné mapovacie systémy. Tieto systémy sa skladajú z viacerých komponentov slúžiacich na zber geopriestorových údajov. Vo veľkej väčšine sa jedná o mobilný laserový skener, panoramatickú kameru, fotogrametrické kamery prípadne fotografické kamery s vysokým rozlíšením ale aj hyperspektrálne kamery. Výstup mobilného laserového skenera je závislý od nosiča zariadenia. Pri pozemných mobilných skenovaníach sa tento podobá výstupu získanému pomocou jednoskenovej ale aj multiskenovej metódy. Na fúziu viacerých skenov nie je potrebné umiestnenie referenčných bodov, nakoľko táto je zabezpečená pomocou kooperácie GNSS a inerciálnej meracej jednotky.

Rovnako ako už v spomínanej práci Hollaus et al. [9], aj mobilné mapovacie systémy vykazujú potenciál dopĺňania informácií o štruktúre porastov na ich kombinovanie s výškovými modelmi produkovanými leteckým laserovým skenovaním a potenciál tvorby veľmi presných algoritmov na získavanie informácie o zásobách porastov s vysokým stupňom automatizácie.

2 Materiál a metódy

2.1 Záujmové územie

Zber dát prostredníctvom mobilného mapovacieho systému prebiehal v marci 2014 v oblasti Včelien, patriacej pod lesnú správu Budča v rámci LHC ŠLP TU Zvolen. Porasty v danej oblasti tvoria najmä svieže bučiny, živné a svieže dubové bučiny ale aj iné. Mapovací systém nasadený na osobnom automobile zozbieral údaje z celej oblasti v okolí cesty. Konvenčné merania boli vykonané v rámci niektorých vybratých dielcov, najmä na prvom rade stromov od cesty, o ktorých sa dalo predpokladať, že budú identifikovateľné aj na mračnách bodov. Skenovanie prebehlo ešte v čase vegetačného pokoja, kedy je veľmi výhodne skenovať najmä listnaté porasty. Plocha je z veľkej časti tvorená genetickou základňou. Z tejto boli do výberového súboru začlenené najmä buky v dielci 518. O takýchto jedincoch sa dá predpokladať, že budú symetrické, čo nepriamo zvyšuje presnosť výsledkov meraní na dátach zozbieraných jednoskenovou metódou.

2.2 Mobilný mapovací systém

Mobilný mapovací systém (ďalej len MMS) sa obvykle skladá z viacerých zariadení umiestnených na nosiči. Niektoré z nich slúžia na určovanie polohy a orientácie vozidla, iné na samotné mapovanie. Všetky zariadenia sú prepojené pomocou tzv. riadiacej jednotky. Pomocou nej sa do počítača zbierajú priestorové údaje z GNSS prijímača udávajúceho priestorovú polohu MMS, z inerciálnej meracej jednotky zaznamenávajúcej orientáciu MMS a prípadne aj z odometrov merajúcich rýchlosť a vzdialenosť, ktorú vozidlo prekonalo. Kombinácia týchto troch rôznych druhov meraní je veľkou výhodou MMS. V porovnaní s klasickým meraním totiž zaisťuje stabilnú presnosť v určení polohy vozidla, a to najmä v miestach, kde býva príjem GNSS signálu blokovaný vysokými budovami, stromami alebo inými konštrukciami, a kde teda môže dôjsť k výpadku GNSS riešenia.

Z nameraných údajov je možné v ktoromkoľvek okamihu určiť polohu a orientáciu vozidla, a to rovnako ako v reálnom čase tak i s väčšou presnosťou po ukončení merania, pomocou tzv. post-processingu. Vypočítaná trajektória je následne transformovaná do vybraného súradnicového systému tak, aby bola jednoducho začleniteľná do dostupných geografických informačných systémov a bolo ju možné priamo zobrazit' spolu s ďalšími rastrovými údajmi, ako napríklad ortofotomapy.

Riadiaca jednotka zabezpečuje taktiež zber dát zo zariadenia, ktoré slúžia na mapovanie záujmového územia. Tu patria rôzne typy digitálnych kamier, ale aj mobilný laserový skener.

Mobilný mapovací systém spoločnosti GEODIS Brno spol. s r.o. použitý pri mapovaní záujmového územia sa skladá z panoramatickej kamery, dvoch fotografických kamier po stranách MMS pre zjednodušenie identifikácie meraných objektov. Okrem kamerového systému zahŕňa MMS aj mobilný laserový skener.

2.3 Spracovanie údajov z mobilného laserového skenera

V prvej fáze spracovania bolo potrebné dáta dostať do takého stavu, ktorý by čo najviac podporil rýchlosť spracovania a taktiež poskytol čo najväčší manévrovací priestor na spracovanie údajov. Takúto formu bodové mračno nadobudlo prostredníctvom viacerých krokov spracovania v prostredí softvérového balíka Las Tools.

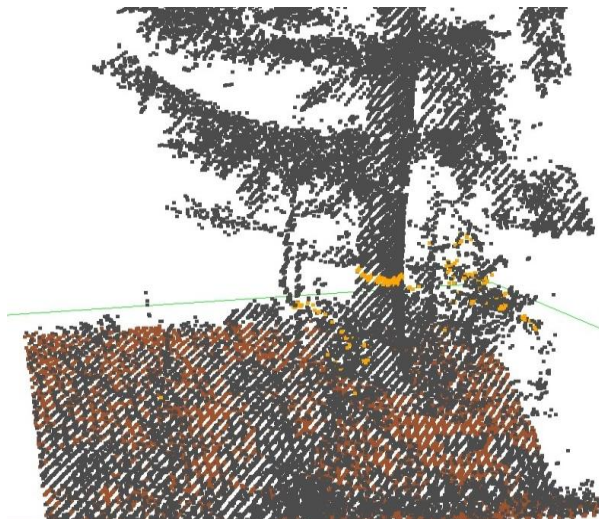
Prvým krokom bolo pridelenie priestorových indexov mračnu bodov v pôvodnom laserovom formáte. Následne sa mračno priestorovo rozčlenilo podľa štvorcovej siete na spracovateľné celky a konvertovalo do formátu natívneho pre softvérové prostredie, v ktorom celé spracovanie prebiehalo. Po tomto pripravení údajov sa následne vybralo z celkového mračna bodov záujmové územie. Pri ďalšom spracovaní sa tak použilo redukované mračno bodov a zabránilo sa tak redundancii údajov.

Ďalším krokom spracovania bolo potrebné definovať body terénu. Tieto algoritmus klasifikuje na základe minimálnej nadmorskej výšky po krokoch voliteľného rozmeru. Terén môže charakterizovať jeden alebo viacero bodov. Počet bodov tvoriacich terén je závislý od užívateľom nastaviteľnej tolerancie. Táto tolerancia bola variabilne nastavená tak, aby séria bodov priradených triede bodov terénu čo najviac reprezentovala povrch terénu skúmaného celku.

Po klasifikovaní bodov terénu je potrebné v mračne bodov klasifikovať body vo výškovom intervale, ktorého stred sa nachádza vo výške 1,3 m, v ktorej sa bežne meria hrúbka kmeňa. Tento krok samotný producent softvéru nazýva výškovou normalizáciou. Pre tento účel vyberieme segment bodov tak, aby obsahoval dostatočný počet bodov opisujúcich priebeh kmeňa. Výška tohto segmentu je závislá od použitého laserového skenera charakterizovaného najmä určitou hustotou bodov, ale aj hustoty podrastu pred kmeňom a použitej metódy skenovania. V našom prípade výstup laserového skenera závisel od tvaru cesty, po ktorej osobný automobil prechádzal. V oblasti zákrut, kde dochádzalo k viacnásobnému skenovaniu určitých oblastí, môžeme výstup stotožniť s výstupom poskytovaným pozemnými laserovými skenovacími systémami pri použití multiskenovej metódy. Vo väčšine prípadov sa však výstup podobal skôr výstupu laserového skenera s použitím jednoskenovej metódy. Vybraný segment bol klasifikovaný do novej triedy bodov.

V poslednom kroku spracovania bolo potrebné extrahovať klasifikovaný segment z mračna bodov. Tento proces bol prevedený pomocou aplikácie na odstraňovanie bodov šumu. Algoritmus, ktorý softvér využíva, prechádza mračno bodov priestorovou maskou v tvare kocky resp. kvádra voliteľného rozmeru. Prostredníctvom tejto masky vyhľadáva algoritmus miesta mračna s nižšou hustotou bodov. Tolerancia hustoty bodov bola nastavená na vysokú hodnotu tak, že algoritmus klasifikoval a odstránil všetky body mračna, pričom do výpočtu nezahrnul body triedy, v ktorej bol klasifikovaný segment vo výške 1,3 metra.

Napokon bolo mračno spätne prevedené do štandardného laserového formátu a jednotlivé listy ,vytvorené priestorovým rozčlenením podľa štvorcovej siete, spojené do komplexného mračna bodov pre ďalšie spracovanie.



Obr. 2: Oranžovou farbou označený klasifikovaný 10 cm segment vo výške 1,3 m po výškovej normalizácii.

2.4 Meranie na mračne bodov

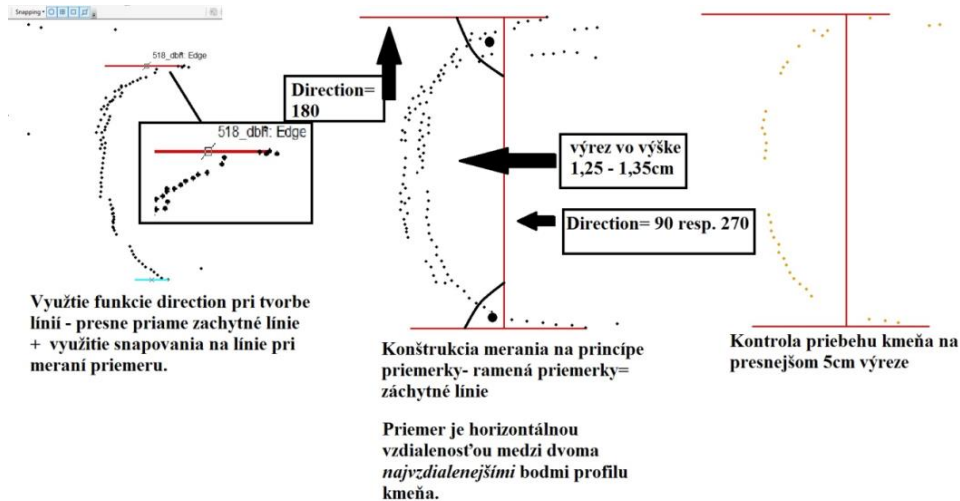
Po získaní výškových segmentov je potrebné tieto segmenty zobrazíť ako horizontálny rez. Na tento účel nám posluží geoinformačný systém ArcGIS.

Geoinformačný systém ArcGIS s laserovým formátom dát pracovať nevie, avšak vie ho konvertovať do takej podoby, aby sa dali body mračna zobrazovať a aby sa na nich dalo efektívne merať.

Skutočná konverzia nastáva až po získaní informácie o rozostupe bodov resp. vytvorení las datasetu. Na meranie vzťahov medzi bodmi mračna je najvhodnejším formátom ESRI shapefile. Tento dovoľuje, na rozdiel od las datasetu slúžiaceho len ako vizualizačný formát, aj možnosť pripájania meraní na body mračna. Konverzný modul prevedie pôvodný súbor v laserovom formáte priamo do shapefile formátu typu multipoint. Multipoint je tvorený zhlukmi bodov s konštantnou početnosťou. Celý zhluk tvorí jeden neoddeliteľný celok a je možné vypočítať len súradnice centroidu tohto zhluku.

Meranie priemeru kmeňa prebiehalo prostredníctvom tvorby línie dvoch najvzdialenejších bodov opisujúcich priebeh kmeňa. Meranie, ktoré bolo použité v našom prípade funguje na rovnakom princípe ako bežná priemerka. Z dvoch bodov boli vynesené prostredníctvom funkcie direction rovnobežky- ramená priemerky a rovnako ako pri prvom kroku bola na tieto rovnobežky prichytená funkciou snapping kolmice charakterizujúca priemer kmeňa, a teda odčítací stupnicu resp. pravítko priemerky. Samotný výpočet priemeru kmeňa prebieha v databáze nami vytvorených línií, kde sa vypočíta ich dĺžka v rámci výpočtu geometrie tvaru. Takto získame databázu priemerov kmeňov vo výške 1,3 metra s ich zobrazením pri príslušnom

kmeni. Túto databázu môžeme následne vyexportovať do iných formátov čitateľných softvéromi vykonávajúcimi štatistické spracovanie.



Obr. 3: Schéma postupu merania priemerov kmeňov vo výške 1,3 m na segmentoch extrahovaných z bodového mrača.

2.5 Tvorba nepravých výtvarníc z údajov produkovaných mobilným mapovacím systémom

Výtvarnica predstavuje hodnotu opisujúcu tvar kmeňa. Nepravá výtvarnica dosahuje hodnoty od 0,33, kedy sa tvar kmeňa približuje kužeľu po hodnotu 1,00 reprezentujúcu valec. Takáto hodnota slúži na spresnenie výpočtu objemu stojaceho kmeňa. Na tvorbu nepravé výtvarnice stiahnutej na výšku 1,3 m je potrebné získať informáciu o hrúbke kmeňa vo výške 0,15 m, 1,3 m a z každého 1 resp. 2 nasledujúcich metrov v závislosti od maximálnej výšky, z ktorej informáciu o hrúbke dokážeme získať. Informáciu o hrúbke v rozličných výškach sme získali rovnakým spôsobom ako pri meraní hrúbok vo výške 1,3 m.

Vzhľadom nato, že pozícia skenera sa nachádza blízko zemského povrchu, informáciu o hrúbke je možné získať len v obmedzenej výške. Prechodu laserových lúčov na povrch kmeňa vo väčšej výške prekážajú konáre, ale aj obmedzené pole, v rámci ktorého laserový skener dokáže získavať priestorové dáta.

Okrem informácie o hrúbke v rozličných výškach je potrebné na získanie informácie o výtvarnici zistiť aj výšku stromu. Túto je tiež možné odvodiť z údajov, z ktorých sme získali ostatné informácie. Na toto spracovanie sme použili postup, ktorý sa bežne používa na zistenie výšky porastu a následnú identifikáciu korún. Tento postup sa opiera o vyhladený raster lokálnych maxim normalizovaného digitálneho modelu reliéfu. Normalizovaný digitálny model reliéfu získame odčítaním digitálneho modelu

terénu od digitálneho modelu povrchu. Po získaní informácií o výške a hrúbke v rozličných výškach môžeme pristúpiť k samotnej tvorbe výtvarníc.

3 Výsledky a vyhodnotenie

Základné štatistické informácie boli vypočítané v softvéri STATISTICA. Merania a ich rozdiely boli spracované pomocou Microsoft Office Excel, do ktorého bola aj importovaná databáza z pôvodného shape súboru. Za presnú hodnotu pri výpočte chyby merania sme stanovili meranie milimetrovou priemerkou.

Meranie bolo vykonané konvenčným postupom, teda kolmo na spádnicu vo výške 1,3 metra a výpočtom aritmetického priemeru dvoch na seba kolmých hrúbok v prípade, že bol kmeň príliš asymetrický.

Celkový výberový súbor, v rámci ktorého bolo uskutočnené porovnanie činil 103 stromov.

Prvým krokom štatistického vyhodnotenia bolo testovanie štatistických hypotéz. Toto prebehlo v programe STATISTICA prostredníctvom testu hypotézy pre strednú hodnotu, pri ktorom nepoznáme rozptyl chýb merania hrúbok. Softvérom vypočítané testovacie kritérium bolo porovnané s tabuľkovou kritickou hodnotou Studentovho rozdelenia s hladinou významnosti rovnou $\alpha=0,05$. Po porovnaní týchto dvoch hodnôt prijímame nulovú hypotézu a môžeme tvrdiť, že meranie priemerov kmeňov vo výške 1,3 m na bodových mračnách s 95% pravdepodobnosťou nevykazuje systematickú chybu.

Priemery namerané na bodových mračnách boli z veľkej väčšiny podhodnotené v priemere o -0,314 cm, čo v relatívnom vyjadrení predstavuje 1,05 % z priemerného kmeňa. Absolútne chyby meraní sa pohybovali v intervale od -8,2 cm po 5,35 cm.

Hodnota celkovej chyby vyjadrenej strednou kvadratickou chybou bola 2,39 cm, a teda 8,03% z hrúbky priemerného kmeňa nameraného konvenčným postupom.

Maximálna absolútna chyba merania 8,2 cm vznikla podhodnotením z dôvodu nedostatku bodov na povrchu kmeňa. Minimálna absolútna chyba činila 0,01 cm.

Relatívne chyby vzťahujúce sa na priemer kmeňov nameraných milimetrovou priemerkou sa pohybovali v intervale od -19,39 % do 17,27 %.

Hodnoty výtvarníc boli všeobecne signifikatne podhodnotené. Toto podhodnotenie bolo spôsobené najmä tým, že objem veľkej časti kmeňa bol vypočítaný prostredníctvom objemu kužeľa. Najlepšie výsledky boli dosiahnuté pri buku. Táto priaznivá situácia bola zapríčinená obdobím, v ktorom zber údajov prebiehal. Počas vegetačného pokoja neprekážajú prechodu laserových lúčov na povrch kmeňa v oblasti koruny asimilačné orgány.

4 Diskusia

Liang [13] porovnáva výsledky merania dendrometrických veličín na bodových mračnách vyprodukovanými použitím všetkých troch metód skenovania, jednoskenovej, multiskenovej i multijednoskenovej metódy, ktorú vo svojej práci

predstavil. Pri jednoskenovom prístupe dosiahol autor hodnotu strednej kvadratickej chyby na úrovni stromu rovnú 1,29 cm s biasom rovným 0,16 cm.

Jaakkola et al. [10] použili pri svojom výskume mobilný mapovací systém ROAMER, ktorý bol pripevnený na bezpilotnú helikoptéru (UAV) Align T-Rex 600E umožňujúcu meranie z rôznych výšok nad terénom. Výška letu sa pohybovala v intervale od 10 do 40 m. Toto meranie vykazovalo strednú kvadratickú chybu merania priemerov vo výške 1,3 m rovnú 2,1 cm. Tento výsledok sa približuje presnosti, ktorú sa podarilo získať pri našom výskume.

Výberový súbor použitý v práci Lindberg et al. [14] sa skladal z 2276-tich stromov rozložených na 6 skusných plochách. 93% súboru tvoril smrek obyčajný, 5% listnaté stromy zložené z viacerých druhov rodu Breza a 2% tvorila borovica lesná. Priemerná hrúbka kmeňa vo výške 1,3 m dosahovala hodnotu 26,8 cm, ktorá je porovnateľná s našim stredným kmeňom s hrúbkou 29,79 cm. Pri skenovaní bola použitá jednoskenová metóda, ktorej výstup je podobný prevažnej väčšine dát získaných mobilným mapovacím systémom pri našom výskume. V tomto prípade autori dosiahli Bias 1,6 mm, čo tvorilo 0,5% z priemerného kmeňa a strednú chybu 38 mm tvoriacu 13,1% zo stredného kmeňa použitím dát z pozemného laserového skenera.

Srinivasan et al. [20] merali pri svojom výskume hrúbky pomocou priemeru valca priloženého na segmenty variabilnej výšky extrahované z kmeňa získaného jednoskenovou metódou prostredníctvom pozemného laserového skenera. Na tomto valci boli zamerané dva na seba kolmé priemery. Prvý zo S na J a ďalší z V na Z. Autor porovnáva tieto segmenty a hodnotí pri akej výške segmentu pripadol na valec najväčší počet bodov. Na dvoch skusných plochách zložených z stromov borovice kadidlovej (*Pinus taeda* L.), dubu (*Quercus* sp.) a ambrovníka styraxového (*Liquidambar styraciflua* L.). Použitím jednoskenovej metódy získal strednú chybu pohybujúcu sa v intervale od 1,39 cm do 2,43 cm. V práci porovnáva viacero stromov zväčša okolo hrúbky 20 až 25 cm. Vzhľadom nato, že veľká časť výberového súboru spadá pod borovicovú plantáž, môžeme očakávať, že priemerná hrúbka sa bude pohybovať v tomto intervale, prípadne s ním bude porovnateľná. Autor dosiahol presnosť podobnú výsledku nášho výskumu.

5 Záver

Ako bolo spomenuté už v úvode, mobilné mapovacie systémy vykazujú potenciál na zúčastnenie sa pri tvorbe veľmi presných algoritmov na výpočet zásob porastov. Presnosti získané pomocou takéhoto jednoduchého a ľahko dostupného spracovania môžeme považovať za uspokojivé. Napokon kombináciou takýchto meraní v pravidelných intervaloch môžeme získať informáciu o výtvarniciach kmeňov, ktorú považujeme za veľmi hodnotnú najmä preto, že v bežnej praxi sú na získanie takejto informácie potrebné deštrukčné merania. Je predpokladateľné, že jej integrovaním do algoritmov na výpočet zásob sa presnosť výpočtu zásob týmito algoritmami signifikatne zvýši.

Za asi jeden z najväčších prínosov takéhoto výskumu pokladám naznačenie princípov merania priemerov kmeňa bez informácie o jeho celkovom priebehu. Napriek tomu, že dnes je už dostupná ďaleko presnejšia metóda laserového skenovania-multiskenovú nato, aby sme dosiahli vysokú presnosť aj touto metódou, potrebujeme

aplikovať zložitejšie a časovo náročnejšie postupy. Tieto je možné do veľkej miery zautomatizovať, avšak čas potrebný na viacnásobné premiestnenie skenera a referenčných bodov na zber údajov z jednej skusnej plochy je neporovnateľný s časom potrebným na prechod automobilu resp. iného takéhoto nosiča vôkol skusnej plochy, ktorý postačuje na zber dát technológiou mobilného mapovania. Ďalšou výhodou takýchto systémov je zber údajov pripojenými kamerami, ktorý výrazne uľahčuje identifikáciu stromov ako objektov záujmu na skene. V konečnom dôsledku je pokus obsiahnutý v práci len pilotný a slúži na oboznámenie sa s dátami z laserového skenovania a na stanovenie hypotéz o úspešnosti aplikácie mobilných mapovacích systémom s použitím zložitejších postupov.

Už po absolvovaní tohoto výskumu sa dá predpokladať použitie takého nosiča zariadenia, ktorý dovolí v lesnom prostredí použitie multiskenovej metódy, zároveň však je potrebné dbať nato, aby sa zachovala myšlienka mobilizácie takéhoto zberu dát. Pre účel získania takých dát, ktoré by mohli slúžiť ako empirický materiál na vylepšovanie rastových simulátorov, je takýto vývoj nevyhnutný.

Ak by sa však jednalo o homogénny porast, plantáž rýchlo rastúcich drevín môžeme zautomatizovaním spomenutých princípov dosiahnuť dobré výsledky pri minimálnej časovej náročnosti.

PodĎakovanie

Na tomto mieste by som chcel poďakovať prof. Ing. Jánovi Tučekovi, Csc. za sprostredkovanie veľmi aktuálnych dát a spoločnosti Geodis Brno, spol. s r.o. za poskytnutie dát z mobilného mapovacieho systému a následnú spoluprácu pri spracovaní týchto dát.

6 Použitá literatúra

1. BALTSAVIAS, E. A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, vol. 54. no. 2. Zurich, Switzerland 1999.
2. BIENERT, A. et al. Application of terrestrial laser scanners for the determination of forest inventory parameters. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*. Dresden, Germany 2006
3. CÉDRIC, V. - DURRIEUA, S. Multi-level filtering segmentation to measure individual tree parameters based on Lidar data: Application to a mountainous forest with heterogeneous stands. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 13. Pondicherry, India 2011.
4. ESRI. <http://esri.com/>
5. ESRI. <http://resources.arcgis.com/>
6. FABRIKA, M. - PRETZSCH, H. *Analýza a modelovanie lesných ekosystémov*. Technická univerzita vo Zvolene, 2011 Zvolen. ISBN 978-80-228-21810
7. Geodis Brno, spol. s r.o. <http://www.geodis.cz/cz/index.php>

8. Geodis Brno, spol. s r.o. *PanoramaGIS Software pro práci s daty pořízenými mobilním mapovacím systémem, Manuál k aplikaci*. Geodis Brno, spol. s r.o., 2011 Brno.
9. HOLLAUS, M. et al. Airborne Laser Scanning of Forest Stem Volume in a Mountainous Environment. *Sensors*, vol. 7. Vienna, Austria 2007. ISSN 1424-8220.
10. JAAKOLA, A. et al. A low-cost multi-sensoral mobile mapping system and its feasibility for treemeasurements. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 65. Masala, Finland 2010.
11. KANKARE, V. et al. Individual tree biomass estimation using terrestrial laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 75. Helsinki, Finland 2012.
12. KOREŇ, M. - SMREČEK, R. *Prevádzka GIS. Návody na cvičenia so systémom ArcEditor*. Technická univerzita vo Zvolene, 2011 Zvolen. ISBN 978-80-228-2310-4.
13. LIANG, X. Feasibility of Terrestrial Laser Scanning for Plotwise Forest Inventories. Dizertačná práca. Aalto University, Tampere 2013.
14. LINDBERG, E. et al. Estimation of stem attributes using a combination of terrestrial and airborne laser scanning. *European Journal of Forest Research*, vol. 131, no. 6. Umeå, Sweden 2012.
15. rapidlasso GmbH. <http://rapidlasso.com>
16. RIEGL Laser Measurement Systems GmbH. <http://www.riegl.com/>
17. SCHEER, E. - SEDMÁK, R. *Biometria. 2. vydanie*. Technická univerzita vo Zvolene, 2010 Zvolen. ISBN 978-80-228-2103-2.
18. SOTÁK, M. *Inerciálny navigačný systém v simulinku*. Akadémia ozbrojených síl gen. M. R. Štefánika. Liptovský Mikuláš, Slovenská republika 2009.
19. SMREČEK, R. Určenie výšky porastu pomocou leteckého laserového skenovania. *GIS Ostrava 2012- Současné výzvy geoinformatiky*. VŠB - Technická univerzita Ostrava 2012.
20. SRINIVASAN, S. et al. Terrestrial Laser Scanning as an Effective Tool to Retrieve Tree Level Height, Crown Width, and Stem Diameter. *Remote Sensing*. vol. 7. College Station, USA 2015.
21. SUMNAL, M. J. - HILL, R. A. - HINSLEY, S. A. The estimation of forest inventory parameters from small-footprint waveform and discrete return airborne LiDAR data. *SilviaLaser*. School of Applied Science, Bournemouth University, Talbot Campus, Poole, Dorset 2012. SL2012-020.
22. ŠMELKO, Š. *Dendrometria. 2. vydanie*. Technická univerzita vo Zvolene, 2007 Zvolen. ISBN 978-80-228-1828-5.
23. Technická univerzita vo Zvolene. <http://gis.tuzvo.sk>
24. Trimble Navigation, Ltd. <http://www.trimble.com/imaging/inpho.aspx>
25. TUČEK, J. *Geografické informační systémy. Principy a praxe*. Computer Press, 1998 Praha. ISBN 80-7226-091-X.
26. TUČEK, J. et al. *Základy GIS- Návody na cvičenia so systémom IDRISI*. Technická univerzita vo Zvolene, 2011 Zvolen. ISBN 978-80-228-2244-2.