

ANALÝZA PRIESTOROVÝCH DÁT ZÍSKANÝCH ELEKTRONICKÝM TACHYMETROM SO ZABUDOVANOU FOTOKAMEROU

František CHUDÝ, Šimon SALOŇ, Daniel TUNÁK, Benjamín VASKO

Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie, Lesnícka fakulta, TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE,
T. G. Masaryka 24, 960 53, Zvolen, Slovensko
chudy@is.tuzvo.sk, xsalons@is.tuzvo.sk, tunak@is.tuzvo.sk

ABSTRAKT

V súčasnosti sa čoraz rýchlejšie dostávajú moderné technológie ku svojmu koncovému užívateľovi. Je dôležité hľadať modifikácie ich využitia nie len pre prioritnú skupinu užívateľov konkrétnej technológie (geodézia, mapovanie lesa ...), ale aj pre iné skupiny odborníkov (dendrometria, hospodárska úprava lesa, ...) schopných ich využitia pre zber priestorových dát za pomoci špecialistu (geodeta, merača), alebo bez neho. Napriek súčasnej prevahe fotogrametrických metód je v lesnom prostredí stále potrebné využívať klasické geodetické metódy mapovania (elektronické tachymetre, systémy GNSS a ich kombinácie - zameriavanie vlíčovacích a kontrolných bodov, meranie pod clonou porastov, a pod.). Okrem terestrických geodetických metód mapovania zažíva veľký rozmach pri zbere priestorových dát, nie len v lesníctve, pozemná (terestriálna) fotogrametria.

Kombináciu terestrického a družicového geodetického merania s pozemnou fotogrametriou umožňuje aj univerzálna meračská stanica Leica TS 15. Výsledok takéhoto zberu dát možno efektívne spracovať v špeciálnom programe Elcovision 10. V príspevku je posudzovaná presnosť určenia polohy a výšky bodov meraných na snímkach získaných pomocou meračskej stanice so zabudovanou kamerou. Za porovnávací etalón boli použité súradnice kontrolných bodov, ktoré boli zamerané elektronickým tachymetrom. Zhustenie bodového poľa bolo vykonané pomocou prijímača GNSS. Zároveň bola technológia pozemnej fotogrametrie využitá na zber priestorových dát pre dendrometriu, alebo hospodársku úpravu lesov (prsná hrúbka stromov). Pomocou bezkontaktného postupu bola dosiahnutá stredná polohová chyba určenia bodu m_{xy} od 0,0132 m po 0,0448 m v závislosti od vzdialenosti od centra. Prsná hrúbka kmeňa (meranie hrúbok stromov v štandardnej výške 1.3 m od povrchu zeme) vykazovala väčšie odchýlky od referenčných hodnôt v závislosti od deformácie kmeňa a postavenia centra fotografovania ($m_d = 0,026$ m).

Môžeme konštatovať, že dopĺňanie a meranie podrobných bodov a špeciálnych lesníckych veličín možno pomocou tejto technológie vykonávať veľmi efektívne a presne aj po ukončení vonkajších prác priamo v kancelárii.

ABSTRACT

Nowadays, the modern technologies gets to their end user faster and faster. It is important to seek for the modification of their use not only for priority group of the concrete technology's user (forest mensuration, forest management), which are capable to use them to collect the spatial data with or without specialist's help. Despite of current predominance of photogrammetric methods in the environment of forest, it is still needed to use traditional geodetic methods of mapping (electronic tachymeter, GNSS systems and their combinations – targeting ground control points and reference points, measuring under vegetation, etc.). Besides terrestrial geodetic methods of mapping, terrestrial photogrammetry is experiencing a huge boom in collecting spatial data and not only in forestry. The combination of terrestrial and satellite geodetic measurements with ground photogrammetry allows also the versatile surveying station Leica TS 15. The result of this data collection can be effectively processed in special program Elcovision. In the issue we assess the accuracy of identification of the position and height of points, measured in pictures, which are obtained by measuring station with built-in camera. As a porovnávací etalón, the coordinate of reference points were used. They were targeted by electronic tachymeter. At the same time, technology of the terrestrial photogrammetry was used to collect spatial data for dendrometry or the forest management. Using non-contact procedure the mean coordinate error of identification of destination point got m_{xy} from 0,0132 to

0,0448 m, depending on the distance of the shooting. Mammary trunk thickness (measuring trunk thickness in standard height of 1,3 m from the ground surface) showed a larger deviation from the reference values depending on the trunk deformation and position of the centre of shooting ($m_d = 0,026$ m). We can say that supplementing and measuring of detailed points and special forestry values can be done very effectively and accurately by using this technology directly in the office, even after external work.

Kľúčové slová: elektronický tachymeter, pozemná fotogrametria, presnosť určenia bodu, mapovanie lesa

Keywords: electronic tachymeter, terrestrial photogrammetry, the accuracy of identification of point, forest mapping

ÚVOD

Aj do mapovania sa zavádzajú nové výkonné a presné technológie merania. Tento trend sa stále zrýchľuje. Za pomoci elektroniky a výpočtovej techniky vieme mapovať zemský povrch s vysokou presnosťou a efektívnosťou. Búrlivý rozvoj technológií neobišiel ani tachymetriu. Pomocou tachymetrie dokážeme zmerať z jedného stanoviska súčasne polohopis aj výškopis. Aj táto metóda mapovania prešla razantným technologickým vývojom. Výsledkom je „elektronická tachymetria“. Elektronické tachymetre sú v súčasnosti vybavené presnými diaľkometermi, vysoko kvalitnými mikročipmi, vnútornou pamäťou a dokonalým pomocným príslušenstvom, preto umožňujú výraznú racionalizáciu mapovacích prác, zabezpečujú vysokú presnosť určenia výškopisu a polohopisu a získané dáta v elektronickej podobe sú pripravené na ďalšie efektívne spracovanie a vyhodnotenie. Využitím moderných tachymetrov a posudzovaním ich presnosti sa v súčasnosti zaoberá viacero autorov u nás napríklad OROS 2014.

Náplňou lesníckeho mapovania je okrem vykonávania základných úloh meračských prác a tvorby tematického mapového diela so zameraním na lesné prostredie aj zachytenie (zmapovanie) špeciálneho lesníckeho detailu na mapách, alebo ortofotomapách. Výsledkom je teda štátne mapové dielo s témou les. Kvalita a presnosť mapovania lesa je chápaná z dvoch pohľadov na presnosť a to presnosť tematického mapovania a katastrálneho mapovania.

Geodetické univerzálne meračské stanice umožňujú jednoduchú a hospodárnu prácu v teréne. Ide o skombinovanie elektronického diaľkometra s optickým teodolitom. Meračské veličiny a iné doplňujúce údaje sa zaznamenávajú na disk uložený priamo v meračskej stanici, poprípade odnímateľným pamäťovým modulom. Vytvára sa prepojený systém zostavený z univerzálneho prístroja s registráciou počítača, plotra, tlačiarne a prípadne ďalších zariadení. Zvláštnosťou nie sú meračské stanice kompatibilné a spriahnuté s GNSS prijímačom. Merania pri ktorých je kombinovaný teodolit a kamera sú známe viac než 40 rokov. Prepojenie týchto dvoch zariadení zlepšilo určenie snímkovej orientácie a lepšie vyhodnotenie fotogrametrického spracovania. Zachytené snímky spracúva softvérový modul, ktorý pracuje väčšinou na základoch CAD-ovských systémov.

Pri terénnych mapovacích prácach sa čoraz častejšie používa kombinácia tachymetrického merania s fotografickou dokumentáciou meraných bodov a objektov. Zároveň je prístupná aj možnosť využitia získaných snímok (pri správnom postupe fotografovania) na odmeriavanie bodov do terénneho merania v kancelárii na základe využitia princípov pozemnej fotogrametrie. Takúto možnosť dnes poskytuje viacero elektronických tachymetrov a softvérových produktov. Jedným z nich je aj Leica Viva TS 15 so špeciálnym softvérom Elcovision 10.

Cieľom práce je overiť presnosť určenia polohy a výšky bodov zo snímok vyhotovených kamerou spriahnutou s elektronickým tachymetrom (učiť strednú polohovú a výškovú chybu novo určovaného bodu) a strednú hrúbkovú chybu jednotlivo meraných stromov, ako špeciálnu aplikačnú možnosť na overenie možného využitia technológie pri určovaní niektorých taxačných veličín. Na základe skúseností pri riešení vybranej úlohy natypovať použitie technológie v rôznych aplikáciách pre lesníctvo (v hospodárskej úprave lesov, lesné stavby, ...).

EXPERIMENTÁLNY MATERIÁL

Terénne merania boli vykonané v areály Technickej univerzity vo Zvolene na rozľahlom voľnom priestranstve a v miestnom parku meračskou stanicou Leica Viva TS 15 obr. 1. Presnosť merania uhlov uvádza výrobca 1" - 5" (podľa modelu), meranie dĺžok s použitím odrazového hranola – dosah do 3500 m s presnosťou 1 mm + 1.5 ppm, pri bezhranolovom meraní – dosah do 1000 m s presnosťou 2 mm + 2 ppm. Je vybavená operačným systémom Windows CE 6.0. Má zabudovanú širokouhlú digitálnu kameru s 5 megapixelovým rozlíšením. Ostrosť snímky je približne z dvoch metrov až do nekonečna. Vysoká kvalita kalibrácie kamery umožňuje dosiahnuť presnosť 3D obrazu až na 1 milimeter pri vzdialenosti 1 meter. Koaxiálny systém používa na meranie uhlov infračervený laser. Umožňuje zachytenie panoramatických fotografií, ktoré nám pomáhajú pri fotogrametrickom spracovaní (www.geotech.sk).



Obr. 1. Kódový terčik a elektronický tachymeter TS15.

Referenčné bodové pole bolo vytvorené pomocou špeciálnych kódových terčikov, ktorých poloha bola zameraná tachymetrom TS15 v súradnicovom systéme JTSK a výškovom systéme Bpv.

Na spracovanie snímok bol použitý softvér Elcovision 10. Je to univerzálny vyhodnocovací softvér s modulárnou štruktúrou, umožňujúci 3D meranie z akéhokoľvek typu snímok. Umožňuje efektívne meranie a jednoduché získavanie 3D zo snímok. K dispozícii sú nástroje na riešenie rôznych úloh, od rektifikácie pomocou jednoduchej digitálnej snímky až po profesionálnu 3D fotogrametriu. Pracuje na základoch systémov AutoCAD, Bricscad a IntelliCAD.

METODIKA PRÁCE

Prepojenie tachymetra a kamery zlepšuje určenie snímkovej orientácie a umožňuje kvalitnejšie fotogrametrické spracovanie a vyhodnotenie. Ak je známa poloha prístroja a orientácia, tak je hneď známe postavenie statickej kamery a jej zobrazovanie a následne sú známe všetky prvky vnútornej a vonkajšej orientácie a iné parametre, ktoré sú potrebné pre fotogrametrické spracovanie a vyhodnotenie snímok priamo v kancelárií.

Zisťovanie polohovej a výškovej presnosti podrobných bodov

Pre zistenie skutočnej presnosti určenia polohy bodov bola vytvorená sieť pomocou 30 kódových terčikov, ktoré boli zamerané presným terestrickým meraním z dvoch stanovísk v polohovom súradnicovom systéme S-JTSK a výškovom systéme Bpv. Jednotlivé línie siete boli vytvorené vo vzdialenosti 10, 15, 20, 25, 35 a 45 m od centier fotografovania. Po zameraní referenčného bodového poľa bolo vykonané snímkovanie záujmového územia z identických stanovísk a z nasnímaných čiastkových fotografií (obr. 2) boli vytvorené panoramatické snímky pre každé stanovisko (obr. 3.).

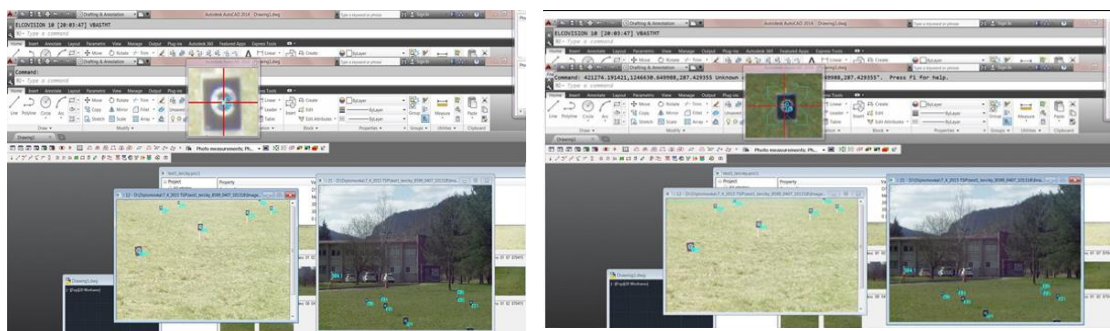


obr. 2. Čiastkové snímky z ktorých je zložená panoráma.

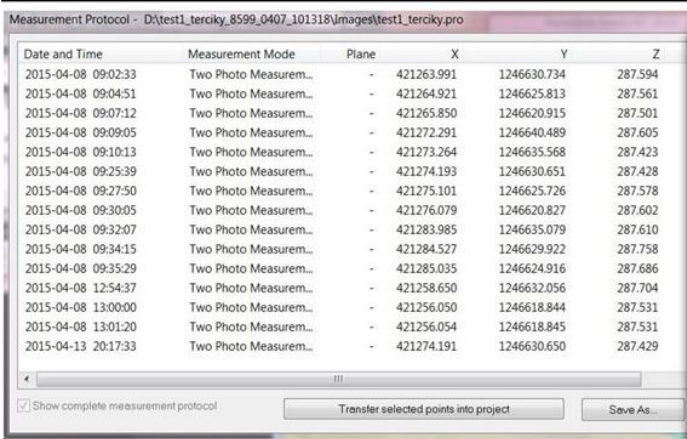


obr. 3. Panoramatická snímka bodového poľa vytvorená z prvého a druhého stanoviska.

Súradnice identických bodov boli následne určené fotogrametrickým vyhodnotením v pogramovom produkte Elcovision 10 dvojsnímkovým vyhodnotením (obr. 4). Po akceptovaní zistenej polohy konkrétneho bodu sa tento automaticky zakresli do AUTOCAD-u.



obr. 4. Zameranie identických bodov na snímke z prvého a druhého stanoviska



Date and Time	Measurement Mode	Plane	X	Y	Z
2015-04-08 09:02:33	Two Photo Measurem...	-	421263.991	1246630.734	287.594
2015-04-08 09:04:51	Two Photo Measurem...	-	421264.921	1246625.813	287.561
2015-04-08 09:07:12	Two Photo Measurem...	-	421265.850	1246620.915	287.501
2015-04-08 09:09:05	Two Photo Measurem...	-	421272.291	1246640.489	287.605
2015-04-08 09:10:13	Two Photo Measurem...	-	421273.264	1246635.568	287.423
2015-04-08 09:25:39	Two Photo Measurem...	-	421274.193	1246630.651	287.428
2015-04-08 09:27:50	Two Photo Measurem...	-	421275.101	1246625.726	287.578
2015-04-08 09:30:05	Two Photo Measurem...	-	421276.079	1246620.827	287.602
2015-04-08 09:32:07	Two Photo Measurem...	-	421283.985	1246635.079	287.610
2015-04-08 09:34:15	Two Photo Measurem...	-	421284.527	1246629.922	287.758
2015-04-08 09:35:29	Two Photo Measurem...	-	421285.035	1246624.916	287.686
2015-04-08 12:54:37	Two Photo Measurem...	-	421258.650	1246632.056	287.704
2015-04-08 13:00:00	Two Photo Measurem...	-	421256.050	1246618.844	287.531
2015-04-08 13:01:20	Two Photo Measurem...	-	421256.054	1246618.845	287.531
2015-04-13 20:17:33	Two Photo Measurem...	-	421274.191	1246630.650	287.429

obr. 5 Protokol nameraných bodov.

MERANIE HRÚBKY STROMOV

Pri meraní a vyhodnocovaní hrúbky stromov (v prsnej výške d1,3), ako príkladu jednej z možností zisťovania špeciálnych priestorových dát v lesníctve (napr. niektorých taxačných veličín) boli porovnávané referenčné dáta merané klasickým postupom pomocou priemerky a hrúbky jednotlivých stromov, ktoré boli získané skúmanou technológiou.



obr. 6. 360° panorámy z viacerých stanovísk

Pred meraním referenčných hrúbok boli určené približné polohy stanovísk fotografovania a páskou boli označené stromy vo výške d1,3. Na určenie súradníc stanovísk fotografovania bol použitý geodetický prijímač GNSS. Po zhutnení bodového poľa bolo vykonané snímokovanie záujmového územia (časť miestneho parku) a vytvorené 360° panorámy (obr. 6).

Po načítaní panorám v spracovateľskom programe Elcovision 10 boli vybrané identické kmene na susedných panorámach tak, aby ten istý kmeň bolo vidieť minimálne na dvoch. (napr. 15 identických kmeňov na panoráme jeden a dva) a boli jasne viditeľné pásky označujúce hrúbku stromu (referenčná čiara) vo výške 1,3 m. V označenej výške boli odmerané súradnice pravého a ľavého konca úsečky, predstavujúcej hrúbku kmeňa (obr. 7., 8.). Vzďialenosť medzi týmito bodmi predstavuje hľadanú hrúbku. Na určenie vzdialenosti medzi dvomi krajnými bodmi úsečky predstavujúcej hrúbku bolo možné použiť viacero postupov. Jedným z nich je využitie priameho prepojenia programu Elcovision 10 s AutoCad-om. Program Elcovision 10 prekresľuje namerané body priamo do AutoCAD-u, kde sa následne dajú tieto dĺžky odmerať. Ďalšou možnosťou je naimportovať zamerané súradnice do iného programu napr. Kokeš a následne z týchto údajov vypočítať vzdialenosť (úloha – vzťah bod – bod, vypočíta dĺžku strany a smerník), ktorá predstavuje hrúbky vybraných stromov.

ŠTATISTICKÉ VYHODNOTENIE

Metódy na štatistické vyhodnotenie pre určenie polohovej, výškovej odchýlky a hrúbkovej odchýlky (stredná súradnicová chyba m_{xy} , ...) pre zhodnotenie presnosti a správnosti sa uskutočnilo podľa metodiky použitej v prácach BÖHM 1990, ŽÍHLAVNÍK-CHUDÝ 1995, ŠMELKO 1995, ŽÍHLAVNÍK,Š.-CHUDÝ-KARDOŠ 2005.

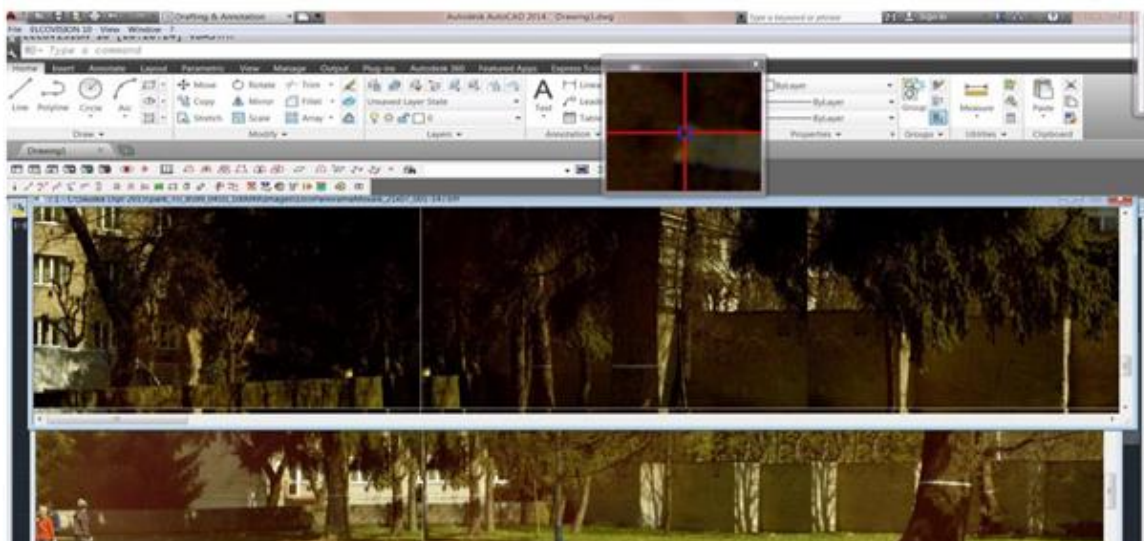
ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV

Po porovnaní súradníc referenčných bodov s identickými bodmi získanými z fotogrametrického vyhodnotenia v softvérovom produkte Elcovision 10 boli vypočítané stredné polohové a výškové chyby (tab. 1.) podľa vzdialenosti bodu od stanoviska fotografovania (rady vo vzdialenosti 10, 15, 20, 25, 35, 45 m) ako aj z celého bodového poľa spoločne (30 bodov).

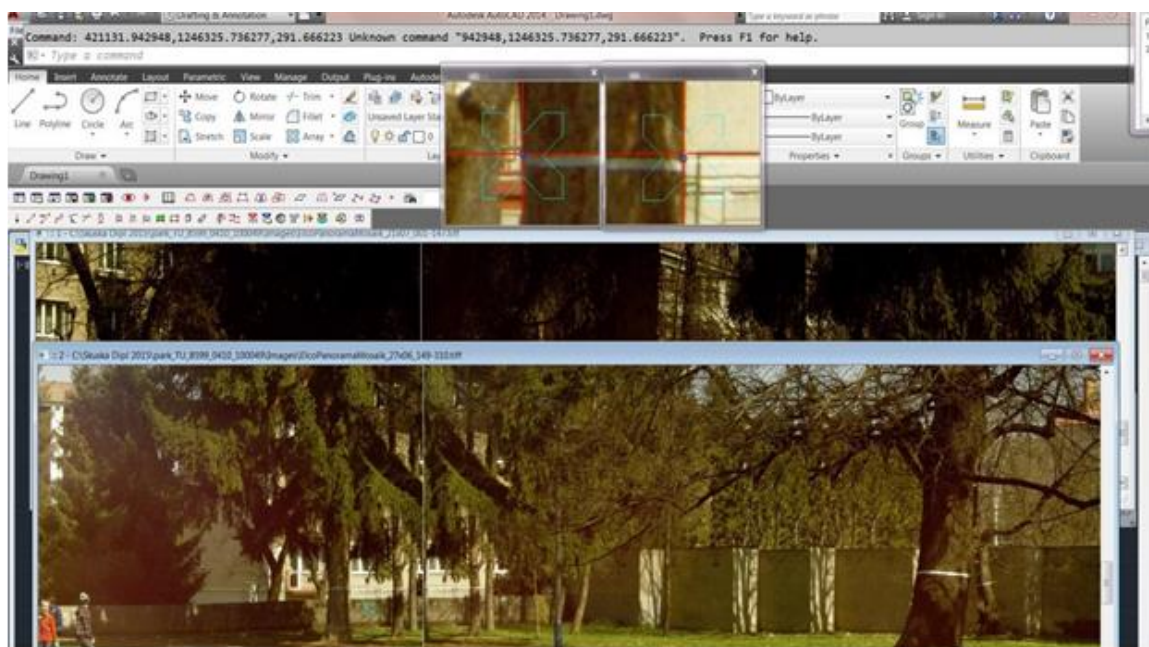
Tab. 1. Výsledné stredné súradnicové chyby určenia podrobných bodov pozemným fotogrametrickým mapovaním za pomoci tachymetra TS 15 a softvérového balíka Elcovision 10.

Vzdialenosť (m)	m_x (m)	m_y (m)	m_{xy} (m)	m_H (m)
10	0,0133	0,0131	0,0132	0,0055
15	0,0233	0,0091	0,0177	0,0056
20	0,0252	0,0117	0,0196	0,0042
25	0,0330	0,0119	0,0248	0,0085
35	0,0453	0,0113	0,0330	0,0051
45	0,0624	0,0113	0,0448	0,0088
45 (8 bodov)	0,0523	0,0113	0,0379	0,0067
30 bodov	0,0336	0,0119	0,0252	0,0061

Z tabuľky č. 1 vyplýva, že polohová chyba so zvyšujúcou sa vzdialenosťou narastá od 0,0132 m po 0,0448 m, no narastanie výškovej chyby sa neprejavilo ($m_H = 0,0061$ m), kde rozpätie predstavuje od 0,0042 m po 0,0088 m. Zvyšovanie strednej súradnicovej chyby je ovplyvnené (vychádza už z princípu pozemnej fotogrametrie) najmä strednou súradnicovou chybou v smere osi x ($m_x = 0,0336$ m). Môžeme konštatovať, že na menšie vzdialenosti (do 50 m) táto metóda zberu priestorových dát vyhovuje aj požiadavkám katastrálneho mapovania, keď pre 3. triedu presnosti určenia PGB (Pevné geodetické body) je povolená odchýlka $m_{yx} = 0.06$ m a výšková odchýlka $m_H = 0.05$ m. Stredná výšková chyba v našom prípade dosahuje dokonca presnosť 1. triedy určenia PGB. Aj napriek zvyšujúcej sa polohovej chybe so vzdialenosťou vidíme vysoké uplatnenie skúmanej metódy v lesníctve aj preto, že pri mnohých mapovacích činnostiach (netýka sa mapovania vlastníckych hraníc) je požadovaná nižšia polohová presnosť, ako pri katastrálnom mapovaní.



Obr. 7 Meranie kmeňov stromov na panoráme z dvoch rôznych stanovísk.



Obr. 8. Zacielenie na kmeň stromu v programe Elcovision 10

Tab. 2. Štatistické charakteristiky určenia hrúbok

Charakteristika odchýlok	
arit. priemer	1,714
smer. odchylnka	2,015
test. kritérium	3,067
krit. hodnota	2,160
početnosť	14
m_d (cm)	2,646*¹
	2,015*²

*1 – stredná chyba hrúbky zaťažená systematickou chybou;

*2 – po odstránení systematickej chyby

Pri meraní jednotlivých hrúbok stromov zo snímok niektoré body nebolo možné presne identifikovať na druhej snímke na tom istom mieste kmeňa ako na prvej snímke. Spôsobené to bolo tým, že kmeň stromu je oválny a hľadaný bod nebolo možné na dvoch snímkach správne identifikovať. Spôsobené to môže byť aj nesprávnym rozložením stanovísk pri fotografovaní. Preto príprava rozloženia stanovísk je veľmi dôležitá. Po určení súradníc krajných bodov účecky predstavujúcej hrúbku stromu boli tieto importované do programu Kokeš, kde boli pre každý jeden strom vypočítané hrúbky a tieto porovnané s referenčnými hrúbkami. Stredná hrúbková chyba $m_d = 0,026$ m a po odstránení systematickej chyby 0,020 (Tab. 2.). Na veľkosť strednej hrúbkovej chyby malo vplyv rozloženie stanovísk fotografovania, nepresné určenie bodov na povrchu kmeňa na dvojici snímok. Nekonvenčným meraním hrúbok stromov rôznymi technológiami sa venuje viaceru autorov napr. ČERŇAVA 2015. Po zhodnotení výsledkov možno konštatovať, že použitý postup je vhodný na zber niektorých špeciálnych geopriestorových údajov (hrúbky stromov, zameriavanie profilov, ...) využiteľných v rôznych oblastiach lesníctva (lesnícke stavby, meliorácie, ťažbe, hospodárskej úpravy lesov a iných).

ZÁVER

Na príklade využitia Leica Viva TS 15 a softvérového balíka Elcovision 10 môžeme konštatovať, že nové technológie v mapovaní umožňujú rýchle a efektívne meranie v teréne a následné kancelárske spracovanie. Modernizácia meracích elektronických prístrojov, ich integrácia s meračskými kamerami dovoľuje vytvárať digitálne snímky vo vysokej kvalite so známymi prvkami orientácie, čím sa znižuje časová a technologická náročnosť následného spracovania. Praktické skúsenosti poukazujú na vysokú efektívnosť a racionalizáciu terénnych a kancelárskych prac, nie len pre geodetické a kartografické mapovanie, ale aj pre mapovanie lesa a na výhodnú možnosť domerovania detailu objektov zo snímok v kancelárskom prostredí. Nezanedbateľná sa javí aj možnosť získavania, z takto získaných materiálov, špeciálnych priestorových dát o lese. Toto zvýšilo možnosti užívateľov a rozšírilo možnosti implementácie výsledkov merania modernými elektronickými tachymetrami so zabodovanou kamerou do iných odborov, ktoré sa zaoberajú mapovaním, prípadne zberom priestorových dát pre iné špecifické účely.

Príspevok vznikol vďaka projektu VEGA MŠ SR a SAV č. 1/0804/14 „Aktualizácia mapovania, usporiadania vlastníctva k lesným pozemkom a určenie stavu krajiny modernými prostriedkami družicovej geodézie a leteckého prieskumu“.

LITERATÚRA

- [1] Böhm, J., Radouch, V., Hampacher, M., 1990: Teória chýb a vyrovnávací počet. GKP Praha, 416 s. ISBN 80-7011-056-2
- [2] Čerňava J. 2015: Zisťovanie dendrometrických veličín pomocou údajov z mobilného mapovacieho systému. In ACTA FACULTATIS FORESTALIS ZVOLEN 57 Suppl. 1, TU Zvolen, ISSN 0231-5785, str.161-173
- [3] Oros M., 2014: Analýza zberu 3D údajov s využitím technológie VISION, Slovenská technická univerzita v Bratislave. Stavebná fakulta, Bratislava, 64 s.
- [4] Šmelko, Š. 1995: Štatistické metódy v lesníctve. ES TU vo Zvolene. ISBN 80-228-0389-8. 276 s.
- [5] Žihlavník, Š. – Chudý, F. 1995: Letecké multispektrálne snímky a ich využitie v lesníctve. Vedecké a pedagogické aktuality – 4/1995. TU Zvolen, 50 s. ISBN 80-228-0437-1
- [6] Žihlavník, Š. – Chudý, F. – Kardoš, M. 2005: Digitálna fotogrametria v lesníckom mapovaní. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 80 s. ISBN 80-228-1545-4
- [7] www.geotech.sk