

PRESNOSŤ BUZOLOVÉHO MERANIA S VYUŽITÍM PRÍSTROJOV POUŽÍVANÝCH V ZOSTAVÁCH FIELD-MAP

ACCURACY OF COMPASS MEASUREMENT WITH THE USE OF DEVICES APPLIED IN FIELD-MAP SETS

JULIÁN TOMAŠTIK ml. ✉

Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, T. G. Masaryka 24, SK - 960 53 Zvolen

✉ e-mail: julian.tomastik@tuzvo.sk

ABSTRACT

The paper contains the output of research aimed on applicability of compass measurement with the use of laser range-finder Impulse LR 200, electronic compass LTI MapStar Compass Module II and Trupulse 360B range-finder, which are a part of the Field-Map set. The research was aimed on the impact of measured azimuths and lengths precision and the measurement and computation methods on the final accuracy of the position evaluation. Lengths and azimuth measurement analyses showed that the main problem is the azimuth accuracy. In dependence on used equipment, and measurement and computation methods, there is a quite wide interval of mean coordinate error m_{xy} values (0.23–2.95 m). The knowledge of these values framework can help to choose the optimal variant of the solution for the tasks where compass measurement can be applied. The best of the results show the possibility of use in tasks with higher accuracy demands, especially in combination with other measurement methods. In general it can be stated that compass measurement in areas without negative effects on the natural magnetism is the applicable method for the under-canopy forestry mapping and research.

Kľúčové slová: buzolové meranie, presnosť, lesnícke mapovanie, Field-Map

Key words: compass measurement, accuracy, forestry mapping, Field-Map

ÚVOD

V súčasnom období je zber priestorových údajov jedným z výrazne sa rozvíjajúcich odvetví. Umožňuje poznávanie, plánovanie, riadenie a kontrolu procesov prebiehajúcich v krajine. Vo vzťahu k lesnému prostrediu sa hovorí o takzvanom „precíznom lesníctve“, ktoré využíva high-tech snímacie a analytické nástroje na podporu stanovištné závislých ekonomických, environmentálnych a trvale udržateľných rozhodnutí pre lesnícky sektor a podporu celého reťazca od stromov až po výrobok. Zároveň poskytuje hodnotné informácie pre producentov dreva, ochranárov, spracovateľov dreva aj laickú verejnosť (BARE 2003; WARKOTSCH 2006). Na Slovensku je väčšina údajov pri lesníckom mapovaní (až 90 %) získavaná pomocou fotogrametrických metód. Fotogrametria je v porovnaní s terestrickými metódami veľmi efektívna a pri použití vhodných materiálov a postupov je možné dosiahnuť požadovanú presnosť mapovania (PROKEŠOVÁ et al. 2010; HALVOŇ 2011). Podobne progresívnou metódou zberu údajov je meranie pomocou globálnych navigačných satelitných systémov (GNSS), ktoré je najmä v oblastiach s bezproblémovým príjmom signálu veľkým prínosom z hľadiska prácnosti a presnosti mapovacích prác. Pri meraniach pod clonou lesného porastu nie je zatiaľ možné tieto metódy bez komplikácií použiť, nakoľko na leteckej snímke nie sú objekty pod clonou porastu identifikovateľné a pri použití GNSS dochádza vplyvom biomasy a členitého terénu k skresleniu signálu, čoho následkom je výrazné zníženie presnosti. V takomto prípade je nutné použiť „klasické“ geodetické metódy, založené na meraní pravouhlých súradníc, prípadne polárnych súradníc pomocou teodolitov alebo prístrojov pre buzolové meranie. Buzolové meranie je v praxi geodetického polohopisného merania jednou z klasických metód určovania polohy bodov, používaných už

v prvopočiatoch tvorby nielen lesníckych máp (TURČAN 2010). Poloha bodov je určená polárnymi súradnicami, čiže vodorovným uhlom a vodorovnou dĺžkou. Pri buzolovom meraní vodorovný uhol predstavuje tzv. azimut, čo je uhol počítaný od severnej vetvy magnetického meridiánu (magnetického severu) v smere pohybu hodinových ručičiek po stranu spájajúcu stanovisko uhlomerneho prístroja a meraného bodu. Vodorovné dĺžky sú určené rôznymi typmi dĺžkometerov. Postupom času bolo buzolové meranie vytlačené viac-menej do extraviánov, nakoľko v urbanizovanom prostredí vysoko vzrástla prítomnosť prvkov nepriaznivo ovplyvňujúcich prirodzený zemský magnetizmus (objekty z feromagnetických kovov, vedenia indukujúce elektromagnetické pole a pod.). Z tohto dôvodu sa buzolové meranie postupne v špecifikovalo ako typická meračská metóda využívaná v lesníckom mapovaní, čoho dôsledkom je, že oproti metódam častejšie používaným v klasickej geodézii je v súčasnosti menej zdokumentované. Napriek tomu, že v súčasnosti je dominantnou a veľmi efektívnou metódou lesníckeho mapovania fotogrametrické vyhodnotenie v kombinácii s meraním pomocou globálnych navigačných satelitných systémov (GNSS) a použitím univerzálnych meračských staníc (ŽIHLAVNÍK et al. 2005), je z hľadiska racionalizácie meračských prác potrebné stále brať do úvahy všetky dostupné metódy, vrátane buzolového merania. Buzolové meranie je v súčasnosti vo väčšej miere používané pri negeodetických úlohách, ako sú napr. národné inventarizácie lesa (O'DONOVAN 2007; BUKSHA et al. 2010), výskum pralesov (KUCBEL et al. 2010) a podobne. Do budúcnosti by doplnkom, prípadne aj náhradou buzolového merania pre tento typ meraní mohla byť technológia leteckého alebo pozemného laserového skenovania, avšak je potrebné ešte vyriešiť viacero technologických a metodologických problémov (napr. MIKITA et al. 2013; SMREČEK, DANIHELOVÁ 2013; HACKENBERG et al. 2014).

Vznikom technológie Field-Map nastala určitá renesancia buzolového merania ako charakteristickej metódy používanej pri lesníckom mapovaní. Pri skúmaní presnosti buzolového merania je potrebné sa primárne zamerať na merané veličiny, t. j. dĺžky a azimuty. Tie predstavujú polárne súradnice jednotlivých lomových bodov a ich chyby spôsobujú polohový posun. Višňovský, ČIHAL (1985) odvodili pre polohový posun posledného bodu buzolového ťahu nasledujúci vzťah:

$$q = 0,004\sqrt{d \cdot s} \quad (1)$$

kde d je celková dĺžka buzolového ťahu a s je priemerná dĺžka strany. Koeficient 0,004 zohľadňuje stredné chyby azimutov a dĺžok pri použití vtedy dostupných pomôcok. Pri dĺžkach sa jednalo o chybu ± 25 cm na 100 m pri použití nitkového diaľkomera, ktorá spôsobuje pozdĺžny posun. Pri azimutoch sa jednalo o chybu $10'$, ktorá spôsobuje priečny posun 29 cm na 100 m.

Primárnym cieľom práce bolo posúdiť presnosť a použiteľnosť buzolového merania s použitím elektronických pomôcok, ktoré sú súčasťou zostavy Field-Map. Čiastkovými úlohami bolo určiť presnosť meraných azimutov a dĺžok a následne určiť celkovú polohovú presnosť na základe hodnôt polohového posunu posledného bodu buzolového ťahu a strednej súradnicovej chyby. Porovnaním týchto hodnôt s predpísanými kritériami presnosti posúdiť použiteľnosť skúmaného merania v oblasti lesníckeho mapovania a výskumu.

MATERIÁL A METODIKA

Zostava Field-Map je modulárna a jej súčasti sa môžu meniť podľa potrieb užívateľa. V princípe pozostáva z meračských pomôcok pre meranie uhla a vzdialenosti, podpery (statívu) a terénneho počítača so softvérom Field-Map. Voliteľnou súčasťou môže byť aj prijímač GNSS. Z pomôcok pre buzolové meranie sa jedná o laserový dĺžkomer TruPulse 360B, ktorý umožňuje aj meranie azimutov alebo zostavu laserového dĺžkomera Impulse LR200 a elektronického kompasu MapStar Compass Module II. Tieto pomôcky v kombinácii s jednoduchou podperou (monopodom) boli použité pri predmetnom výskume. Terénny počítač použitý nebol, nakoľko neumožňoval záznam nameraných údajov vo formáte, ktorý by dovoľoval ich analýzu.

Pri použití skúmaných elektronických pomôcok pre buzolové meranie je už z údajov uvádzaných výrobcom jasné, že z hľadiska presnosti meraných azimutov a dĺžok došlo k zmenám. Pri použití dĺžkomera Impulse LR200 výrobca udáva chyby 3 cm na 50 m a 5 cm na 150 m, ktorá sa mení aj podľa kvality cieľa. Jedná sa teda o pozitívny posun oproti použitiu nitkového dĺžkomera. Pri použití kompasu MapStar Compass Module II je výrobcom udávaná chyba $\pm 0,3$ stupňa, čiže cca $20'$. Je to hodnota 2krát horšia ako pri starších prístrojoch a pri 100 m dĺžky spôsobí priečny posun 0,52 m. Po dosadení týchto výrobcom udávaných hodnôt sa vzorec pre výpočet polohového posunu zmení na:

$$q_{impulse} = 0,006\sqrt{d \cdot s} \quad (2)$$

Pri prístroji TruPulse 360B sú hodnoty udávaných chýb ešte vyššie. Pre meranie dĺžok výrobca udáva hodnotu ± 30 cm pre cieľ výrobcom označené ako „typické“. Jedná sa zrejme o cieľe s dobrou odraznosťou, avšak nie je uvedené, k akej meranej dĺžke sa táto chyba vzťahuje. Pre „veľmi vzdialené“ cieľe so slabšou odraznosťou výrobca udáva hodnotu ± 1 m. Pre účely úpravy vzorca na výpočet polohového posunu bola použitá hodnota ± 30 cm na 100 m. Pre meranie azimutov výrobca udáva strednú chybu ± 1 stupeň. Toto je hodnota, kde už je veľmi ťažké hovoriť o využití v geodézii, nakoľko pri 100metrovej meranej dĺžke spôsobuje priečny posun 1,75 m. Avšak aj takáto hodnota by mohla byť použiteľná pre iné aplikácie, najmä v kombinácii s menšou dĺžkou meraných strán. Použitím týchto hodnôt stredných chýb pre výpočet koeficienta vo vzorci na výpočet polohového posunu je možné tento upraviť nasledovne:

$$q_{trupulse} = 0,018\sqrt{d \cdot s} \quad (3)$$

Z uvedených vzorcov je jasné, že presnosť buzolového merania novými elektronickými pomôckami je už podľa údajov daných výrobcom nižšia oproti klasickým prístrojom pre buzolové meranie. Je to spôsobené najmä nižšou presnosťou merania azimutov.

Vyššie uvedené vzorce predstavujú teoreticky dosiahnuteľnú presnosť pri použití uvedených typov prístrojov. Je otázne, v akých podmienkach boli dosiahnuté hodnoty udávané výrobcom, preto je veľmi dôležité ich overiť praktickým meraním. Pre splnenie tohto cieľa boli v prvej fáze experimentu navrhnuté bodové polia, samostatne pre meranie dĺžok a samostatne pre meranie azimutov. Pre meranie dĺžok bolo použité bodové pole na rovnom úseku asfaltovej cesty v areáli Technickej univerzity vo Zvolene. Pozostávalo zo stanoviska prístroja a 11 bodov, pričom tieto boli vo vzdialenostiach 5 m, 10 m a následne v 10metrových odstupoch až po 100 m. Maximálna dĺžka bola zvolená kvôli použitiu uvedených pomôcok v lesnom prostredí, kde je dlhšia zámera možná iba ojedinele a zároveň kvôli použitiu pomôcok na monopode, prípadne bez podpery, kde nestabilita prístroja komplikuje zámeru na dlhšie vzdialenosti. Zároveň Technická príručka hospodárskej úpravy lesov (1984) hovorí o maximálnej dĺžke strany buzolového ťahu 70 m, čo však bolo požadované pri použití klasických prístrojov pre buzolové meranie. Body boli vytýčené kombináciou priameho merania meračským pásmom a meraním univerzálnou meračskou stanicou TOPCON GPT3002. Napriek niekoľkonásobnému meraniu, najmä pri vzdialenejších bodoch, nemožno dĺžky považovať za absolútne presné a treba uvažovať s chybou cca 1–2 cm. Body boli vytýčené v dvoch líniiach, aby bolo možné striedavé meranie dvoch dĺžok. Tento postup bol zvolený preto, aby sme predišli prípadnému pamäťovému efektu dĺžkomera pri meraní tej istej dĺžky. Prístroj aj odrazové zrkadlá boli postavené na statívoch.

Meranie exaktných hodnôt azimutov je pomerne zložité, pretože tieto sa menia s miestom a časom. Všetky systematické posuny pri ich meraní sa však dajú odstrániť zohľadnením hodnoty orientačnej odchýlky, ktorá v podstate predstavuje rozdiel medzi azimutmi a smerníkmi určenými na pevných meračských bodoch. Určenie orientačnej odchýlky, ktorá v sebe zahŕňa magnetickú deklináciu a meridiánovú konvergenciu, by malo byť súčasťou každého vyhodnotenia pripojeného buzolového merania (ŽIHLAVNÍK 2009). Pre účely zistenia presnosti meraných azimutov bolo navrhnuté jednoduché bodové pole, pozostávajúce zo stanoviska prístroja a 4 bodov. Tieto body boli oproti stanovisku situované približne v smere svetových strán. Prvý bol stabilizovaný bod v smere približne na sever a od tohto základného smeru boli s odstupom 100 g (90°) univerzálnou meračskou stanicou vytýčené ostatné smery. Body boli stabilizované vo vzdialenosti cca 10 m od stanoviska, aby sa v čo najväčšej miere predišlo nejednoznačnosti pri cieleňí. Prístroj bol postavený na statíve, aby bol obmedzený vplyv nedokonalých centrácie, horizontácie a iných chýb, ktoré sa pri meraní s jednoduchou podperou (monopodom), resp. voľne z ruky vyskytujú. Základom buzolového merania je buzolový ťah, ktorý predstavuje lomenú čiaru, pri ktorej sa nemerajú vrcholové uhly medzi susednými stranami, ale merajú sa navzájom nezávislé magnetické azimuty strán ťahu.

Pri buzolovom meraní sa používajú dva spôsoby merania:

- meranie na každom vrchole ťahu,
- meranie na každom druhov vrchole ťahu, tzv. meranie „s preskáčkou“.

Pri meraní prvým spôsobom na každom bode ťahu sa pri zacielení z prvého bodu na nasledujúci bod určí priamy azimut a na predchádzajúci bod obrátený azimut. Takisto sa dvakrát meria dĺžka strany. Vzhľadom na vyššiu prácnosť a nutnosť dodržania krajnej odchýlky medzi priamym a obráteným azimutom je táto metóda v praxi málo využívaná. Pri rýchlejšom a hospodárnejšom spôsobe merania na každom druhom vrchole ťahu sa buzolový prístroj stavia na každý dru-

hý vrchol tahu. Meria sa obrátený azimut predchádzajúcej a priamy azimut nasledujúcej strany a raz dĺžka strany. Obrátené azimuty sa prepočítavajú na priame azimuty pripočítaním alebo odpočítaním hodnoty $2R$. Nevýhodou tohto spôsobu merania je to, že sa nedá overiť správnosť odmerania azimutu a dĺžky strany.

V druhej fáze experimentu bolo použité bodové pole, ktoré bolo založené pre účely overovania presnosti rôznych geodetických meračských metód v lesnom prostredí. Pozostáva zo 73 bodov, pričom je tvorené štyrmi buzolovými ťahmi o dĺžke 772,0 m; 587,88 m; 426,33 m a 166,66 m, počet vrcholov je 26, 17, 20 a 8. Bodové pole bolo založené v blízkosti obce Sielnica, najmä na hraniciach dielcov na lesnom celku Školský lesnícky podnik TU Zvolen, ktorých užívateľom je urbár Sliach-Hájniky. Jednotlivé body boli stabilizované drevenými alebo železnými kolíkmi, prípadne na ceste farebným krížikom a meračským klincom. Zároveň bolo toto bodové pole zamerané kombináciou viacerých metód (polygónový ťah, rajón) pomocou univerzálnej meračskej stanice TOPCON GPT 3002. Získané údaje sú použité ako porovnávací etalón pre buzolové meranie, nakoľko podľa udávaných stredných chýb merania je použitá univerzálna meračská stanica rádovo presnejšia ako použité pomôcky pre buzolové meranie. Taktiež experimentálne merania uvedenou univerzálnou meračskou stanicou potvrdili možnosť dosiahnutia centimetrovej presnosti (napr. ŽÍHLAVNÍK, TUNÁK 2010; ŽÍHLAVNÍK 2012). Bodové pole bolo navrhnuté tak, aby čo najviac vyhovovalo buzolovému meraniu, nakoľko pri buzolovom meraní je napríklad na rozdiel od GNSS nutná vzájomná viditeľnosť medzi susednými meranými bodmi. Z toho vyplýva jedna zo základných nevýhod metód, pri ktorých je potrebná viditeľnosť medzi susednými bodmi, a to veľké množstvo „nadbytočných“ bodov, potrebných pre zameranie priamej línie v lesnom prostredí. Vzďialenosť medzi susednými bodmi sa pohybujú v rozmedzí 12,01 m až 84,79 m. Spodná hranica korešponduje s hodnotami udávanými v literatúre (10 m, viď SOKOL et al. 1986). Horná hranica prevyšuje udávané maximum 70 m (Technická príručka hospodárskej úpravy lesov 1984), ktoré ale bolo navrhnuté pre použitie teodolitov s nitkovými

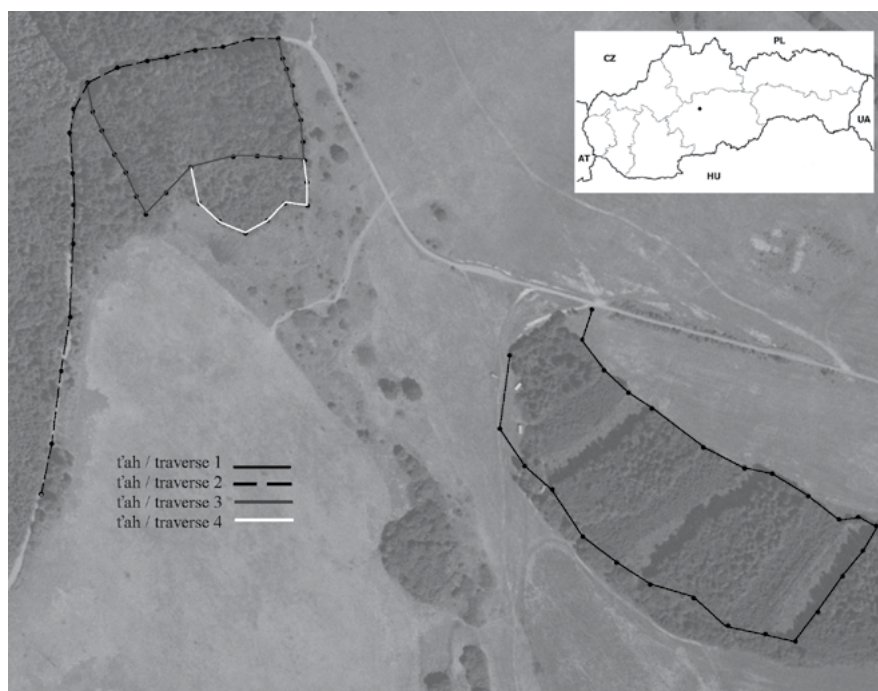
dĺžkomermi, nie pre elektronické dĺžkomery. Celkovo je v bodovom poli dĺžka strany nad 60 m prekročená len 4krát. Umiestnenie bodového poľa a priebeh jednotlivých buzolových ťahov je znázornený na obr. 1.

Zameranie buzolových ťahov bolo vykonané spôsobom merania na každom druhom vrchole buzolového tahu, tzv. „s preskáčkou“. Pri tomto spôsobe sú dĺžky strán a ich azimuty merané iba raz, na rozdiel od merania na každom vrchole. Na rozdiel od predchádzajúcej fázy experimentu nebol pri meraní použitý statív. Zostava Impulse+Mapstar bola postavená na monopode, pričom meranie prebehlo so zapnutou aj s vypnutou funkciou *Level Aid*, ktorá má zabezpečiť horizontáciu prístroja na stanovisku. Meranie s prístrojom Trupulse 360B prebehlo s použitím monopodu, ako aj voľne z ruky bez podpory. Meračské zrkadlo bolo umiestnené na výtyčke s možnosťou horizontácie podľa kruhovej libely. Všetky namerané hodnoty boli zaznamenávané ručne do zápisníkov pre buzolové meranie, nakoľko softvér Field-Map v súčasnosti nedisponuje záznamom pre účely geodetických meraní. Pre transformáciu do systému S-JTSK bola určená orientačná odchýlka $\mu = 8,59^\circ$, o ktorú boli upravené všetky azimuty pred výpočtom pravouhlých súradníc bodov.

Na určenie pravouhlých súradníc lomových bodov buzolových ťahov boli použité tri metódy výpočtu:

- výpočet bodov zaradom bez vyrovnania
- dĺžkové vyrovnanie buzolového tahu
- výpočet súradníc bodov polárnou metódou s použitím etalónových súradníc stanovísk.

Vyhodnotenie bolo spracované pre každý buzolový ťah osobitne a následne boli vypočítané sumárne výsledky pre celú množinu skúmaných bodov. Ako základná porovnávací hodnota bola pre jednotlivé buzolové ťahy, ako aj metódy merania a vyhodnotenia, vypočítaná stredná súradnicová chyba m_{xy} a stredné chyby meraných dĺžok a azimutov, vypočítané ako diferencia medzi hodnotami určenými univerzálnou meračskou stanicou a zostavou Field-Map.



Obr. 1.
Umiestnenie bodového poľa a priebeh jednotlivých buzolových ťahov
Fig. 1.
Point cloud location and the course of particular compass traverses

VÝSLEDKY

V prvej fáze experimentu pri meraní dĺžok bola každá dĺžka odmeraná 30krát, následne bola vypočítaná vyrovnaná hodnota – aritmetický priemer, chyba vyrovnanej hodnoty a smerodajná odchýlka. Dosiahnuté hodnoty sú uvedené v tab. 1.

Z uvedených hodnôt, najmä po zohľadnení chyby na bodoch etalónového bodového poľa, je zrejme, že uvedené pomôcky pri meraní dĺžok dosiahli pomerne dobré výsledky. Dôležité je uviesť, že prístroj Impulse LR 200 meria dĺžky s presnosťou na centimetre, zatiaľ čo Trupulse 360B na decimetre. Paradoxné je, že pri oboch prístrojoch boli najvyššie odchýlky a rozptyly dosiahnuté pri kratších dĺžkach. Pri prístroji Impulse je to možné zdôvodniť nesúladom zámernej osi ďalekohľadu a meracieho laseru. Pri dĺžkach do cca 25 m je potrebné zámerný kríž umiestniť nad odrazové zrkadlo, čím sa zvyšuje nejednoznačnosť zámeru a zrejme je ovplyvnený aj výškový uhol, ktorý sa používa pri výpočte vodorovnej vzdialenosti. Pri prístroji Trupulse tento problém nie je taký výrazný, ale napriek tomu sú chyby pri nižších dĺžkach väčšie. Toto zistenie je dôležité kvôli tomu, že pri meraniach v lesnom prostredí, napr. pri meraní na malých inventarizačných plochách, sa často jedná práve o meranie menších dĺžok. Hodnoty chýb dĺžok boli testované na prítomnosť systematickej chyby pomocou Studentovho T-testu. Pri testovaní jednotlivých meraných dĺžok bola kritická hodnota $t_{0,05(29)} = 2,045$ niekoľkokrát prekročená, a to ako pri prístroji Impulse LR200, tak aj pri prístroji Trupulse 360B. Pri prístroji Trupulse 360B by sa dalo zovšeobecniť, že dĺžky do 60 m mierne podhodnocoval, zatiaľ čo dĺžky od 70 m mierne nadhodnocoval. To je evidentné aj z tab. 1. Vo väčšine prípadov sa ale jedná o hodnoty menšie ako 1 dm, pričom Trupulse 360B meria dĺžky s presnosťou na decimetre. Podobne aj pri prístroji Impulse LR200 bolo pri viacerých dĺžkach prekroč-

ené testovacie kritérium. Avšak iba v jednom prípade aritmetický priemer chýb presiahol hodnotu 2 cm (pri dĺžke 20 m bol priemer chýb 3,5 cm). Pri takto nízkych hodnotách priemerov je už nutné uvažovať aj s chybami etalónových dĺžok. Celkovo sa dá konštatovať, že presnosť merania dĺžok nepresiahla hodnoty udávané výrobcom. Je ale potrebné pripomenúť, že sa jedná o hodnoty dosiahnuté pri použití statívov a geodetických meračských zrkadiel. Obe dva prístroje majú možnosť merať dĺžky aj bez odrazového zrkadla, čo je ale v lesnom prostredí veľmi často problematické.

Pri meraní azimutov v prvej fáze experimentu bolo meranie vo všetkých 4 smeroch vykonané 30krát. Vyrovnané hodnoty azimutov, smerodajné odchýlky a rozdiely zredukované o vyrovnanú hodnotu prvého azimutu a následne o hodnoty jednotlivých smerov sú uvedené v tab. 2.

Pri povrchovej analýze týchto hodnôt by sa mohlo zdať, že prístroj MapStar Compass Module II je menej presný, nakoľko rozptyl jednotlivých meraní okolo vyrovnanej hodnoty je vyšší. Pri porovnaní hodnôt zredukovaných azimutov je ale zrejme, že zatiaľ čo pri kompase MapStar je najväčší rozdiel 0,3 stupňa, tak pri prístroji Trupulse až 2,08 stupňa. Z toho vyplýva, že kompas MapStar meral azimuty v rozsahu celého kruhu viac-menej konzistentne, avšak Trupulse pri smeroch 90° a 180° nameral o cca 2 stupne vyššie hodnoty ako pri ostatných dvoch smeroch. Nepomohla ani odporúčaná kalibrácia, ktorá síce uhly systematicky posunula, avšak rozdiely v jednotlivých smeroch ostali nezmenené. Taktiež merania v inej lokalite túto skutočnosť potvrdili. Nakoľko nebola možnosť porovnať toto meranie s iným meraním prístrojom toho istého typu, nebolo by správne tieto výsledky zovšeobecniť. Avšak ak by sa potvrdilo, jednalo by sa o závažnú komplikáciu, nakoľko chyba tohto charakteru je užívateľsky ťažko odstrániteľná. Smerodajné odchýlky, vypočítané z zredukovaných rozdielov majú hodnotu 0,2°

Tab. 1.

Vyrovnané hodnoty, chyby vyrovnanej hodnoty a smerodajné odchýlky dĺžok [m] podľa použitých pomôcok (n = 30)
Average values, average value errors and standard deviations of measured lengths [m] according to used equipment (n = 30)

dĺžka ¹		5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Impulse LR200	\bar{s}	4,97	9,96	19,95	29,96	39,97	49,98	60,00	69,98	80,00	90,00	99,98
	$\varepsilon \bar{s}$	-0,03	-0,04	-0,05	-0,04	-0,03	-0,02	0,00	-0,02	0,00	0,00	-0,02
	σ	0,06	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Trupulse 360B	\bar{s}	5,09	9,99	19,84	29,90	39,91	49,98	60,00	70,04	80,03	90,02	100,04
	$\varepsilon \bar{s}$	0,09	-0,01	-0,16	-0,10	-0,09	-0,03	0,00	0,04	0,03	0,02	0,04
	σ	0,20	0,16	0,11	0,07	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

¹length

Tab. 2.

Vyrovnané hodnoty azimutov, smerodajné odchýlky a zredukované rozdiely azimutov podľa použitých pomôcok (n = 30)
Average azimuth values, standard deviations and reduced azimuth differences according to used equipment (n = 30)

		Smer ⁴			
		0°	90°	180°	270°
Mapstar Compass Module II	vyrovnaná hodnota ¹	9,21°	99,37°	189,29°	278,91°
	smerodajná odchýlka ²	0,36°	0,20°	0,49°	0,14°
	rozdiel ³	0,00°	0,16°	0,08°	-0,30°
Trupulse 360B	vyrovnaná hodnota ¹	9,47°	101,28°	191,55°	280,01°
	smerodajná odchýlka ²	0,09°	0,15°	0,12°	0,16°
	rozdiel ³	0,00°	1,81°	2,08°	0,54°

¹average value, ²standard deviation, ³difference, ⁴bearing

pre Mapstar Compass Module II a 1,0° pre Trupulse 360B, čo sú zrejme zhodou okolností hodnoty rovnaké, ako výrobcom deklarovaná presnosť merania azimutov. Výsledkom prvej fázy experimentu je, že hodnoty presnosti udávané výrobcom sú reálne, avšak problematické je meranie kratších dĺžok pri obidvoch typoch prístrojov a nekonzistentné meranie azimutov prístrojom Trupulse 360B.

V druhej fáze experimentu boli použité 4 buzolové ťahy s rozličnou celkovou dĺžkou a priemernou dĺžkou strán. Ako bolo spomínané, pri zisťovaní presnosti meračských pomôcok je potrebné najskôr určiť presnosť primárne získavaných veličín, čo boli v tomto prípade dĺžky a uhly. Pre každú stranu buzolových ťahov boli vypočítané chyby dĺžok a azimutov, z ktorých boli pre každý variant merania vypočítané stredné kvadratické chyby. Ak okolo náhodne vybraného merania opíšeme interval, ktorý má šírku strednej kvadratickej chyby, bude skutočná hodnota ležať v tomto intervale s pravdepodobnosťou 68 %. Výsledné hodnoty sú v tab. 3.

Uvedené hodnoty pre zostavu Impulse+Mapstar sú približne dvojnásobne vyššie ako hodnoty uvádzané výrobcom. Je ale potrebné brať do úvahy, že hodnota výslednej chyby merania v sebe už zahŕňa nie len chybu samotného prístroja, ale aj rôzne iné chyby, napr. chybu z nedokonalnej horizontácie, nepresného zacielenia, necentrického postavenia prístroja a cieľa a pod. Podobne ani hodnoty porovnávacieho etalónu nemožno považovať za absolútne presné, napriek tomu, že

boli získané pomôckami s rádovo vyššou presnosťou. Pri porovnaní s klasickými prístrojmi pre buzolové meranie, kde chyba pri určení dĺžok bola $\pm 25\text{cm}$ na 100 m a chyby určenia azimutu $\pm 10''$ (Višňovský, ČIHAL 1985) možno konštatovať, že uvedená zostava dosahuje lepšie výsledky pri meraní dĺžok, avšak až cca 3násobne horšie výsledky pri určovaní azimutov. Pri použití prístroja Trupulse 360B sa chyba určenia dĺžok zhoduje s hodnotou udávanou výrobcom a zároveň je porovnateľná s hodnotami dosiahnuteľnými pri použití optického nitkového dialkomera. Naproti tomu je chyba určených azimutov veľmi vysoká. Hodnota cez 3 stupne by prakticky vylučovala možnosť použiť prístroj pre geodetické úkony a aj využitie pre iné účely by bolo veľmi otáznе. Zrejme kombinácia azimutov jednotlivých strán buzolových ťahov v súčinnosti s nekonzistentným meraním zapríčinila takúto veľkú chybu. Pritom sa nejedná o systematickú chybu, nakoľko kritická hodnota pri testovaní systematickej chyby nebola prekročená. Keďže je ale tento prístroj na Katedre hospodárskej úpravy lesov a geodézie dostupný prvý rok a jednalo sa o prvé takéto meranie s ním, nie je možné tieto výsledky zovšeobecniť a je potrebné ich overiť niekoľkonásobným ďalším meraním.

Následne boli namerané dĺžky a azimuty použité pri výpočte pravouhlých súradníc lomových bodov buzolových ťahov v systéme S-JTSK. Boli použité 3 metódy výpočtu. Prvou bol výpočet pravouhlých súradníc z polárnych s použitím súradníc stanovisk z porovnávacieho etalónu, ktorý eliminuje prenášanie chýb, nakoľko súradnice každého bodu sú vypočítané samostatne na základe súradníc stanoviska prístroja a odmeraného azimutu a dĺžky. Ďalej boli použité 2 metódy ťahového vyhodnotenia – bez vyrovnania a s dĺžkovým vyrovnaním, kde výpočet súradníc bodov prebiehal postupne a body navzájom nadväzovali, čím dochádza k prenosu chýb. Po výpočte súradníc boli tieto porovnané so súradnicami porovnávacieho etalónu, boli vypočítané súradnicové chyby pre jednotlivé body a následne stredné súradnicové chyby podľa jednotlivých metód merania a výpočtu. Tieto hodnoty sú uvedené na obr. 2.

Uvedené hodnoty potvrdzujú výrazný rozdiel presnosti medzi použitými pomôckami. Rozdiely pre jednotlivé pomôcky s horizontáciou a bez horizontácie (resp. s použitím a bez použitia monopodu) sú minimálne. Je ale potrebné podotknúť, že bodové pole sa nachádzalo v mierne členitom teréne. Dá sa predpokladať, že pri meraní v členitejšom teréne by bol vplyv správnej horizontácie výraznejší. Z metód vyhodnotenia sa ako najpresnejšia potvrdila polárna metóda s použitím súradníc

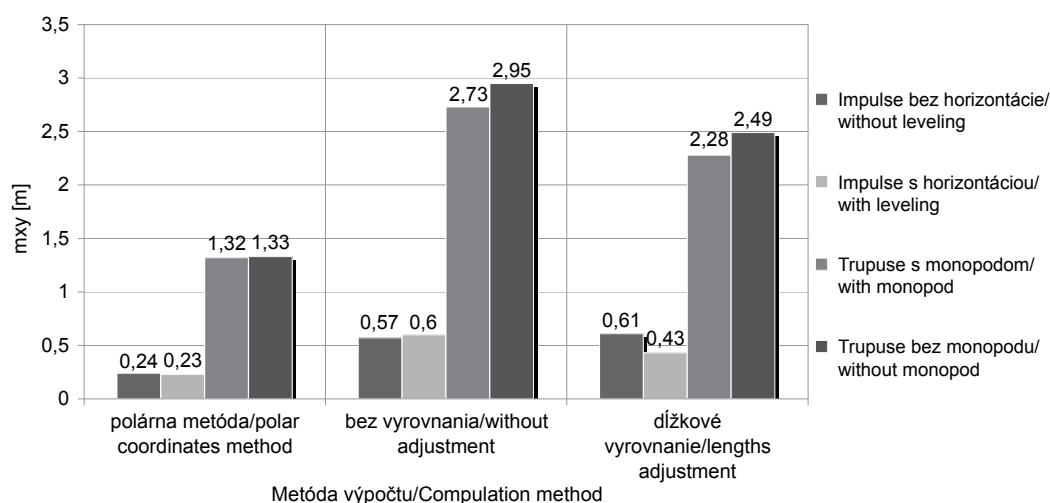
Tab. 3.

Hodnoty stredných kvadratických chýb azimutov a dĺžok podľa variant merania (n = 73)

Root mean square errors of azimuths and lengths according to measurement variant (n = 73)

	IMPULSE+MAPSTAR		TRUPULSE	
	bez horizontácie ¹	s horizontáciou ²	monopod	z ruky ³
azimut ⁴ (°)	0,58	0,55	3,25	3,24
dĺžka ⁵ (m)	0,09	0,08	0,25	0,25

¹without leveling, ²with leveling, ³from bare hand, ⁴azimuth, ⁵length



Obr. 2.

Hodnoty stredných súradnicových chýb m_{xy} podľa variant merania a výpočtu

Fig. 2.

Mean coordinate error values according to measurement and computation method

stanovisk z porovnávacieho etalónu. V praxi by táto metóda mohla predstavovať kombináciu uvedených prístrojov s inými meračskými metódami, kde poloha stanoviska by bola určená presnejšou metódou (napr. GNSS) a okolitý polohopis by bol zameraný skúmanými pomocníkmi. Dôležité je, že pri tejto metóde sa merané body (resp. azimuty a dĺžky) navzájom neovplyvňujú. Pri použití tejto metódy a zostavy Impulse+MapStar bolo podľa slovenskej technickej normy STN 01 3410 splnené kritérium pre 4. triedu presnosti mapovania, ktorá je vyžadovaná pre katastrálne mapovanie v extravilánoch. Pri ďalších dvoch metódach už ide o ťahové riešenie, teda súradnice bodov sa počítajú postupne a navzájom nadväzujú. To spôsobuje výrazný nárast hodnôt strednej súradnicovej chyby. Pri výpočte bez vyrovnania ide o štandardný postup použitia technológie Field-Map, kde pri meraní skusnej plochy je prvým stanoviskom pevne daný bod, ale ťah nie je ukončený v pevnom bode. Vyrovnanie teda nie je možné. Pri výpočte s vyrovnáním musí byť buzolový ťah vložený medzi 2 pevné body, čím je umožnené ťah vyrovnáť dĺžkovo. Pre prax je dôležitý poznatok, že pri použití zostavy Impluse+MapStar je možné dosiahnuť výslednú presnosť do 1 metra, čomu zodpovedá súčet výpočtu ťahu bez vyrovnania (tvorba stanovisk prístroja) a polárnej metódy (meranie okolitého polohopisu). Hodnoty dosiahnuté prístrojom Trupulse sú výrazne vyššie, ale ako bolo spomenuté pri analýze azimutov a dĺžok, je potrebné ich ešte overiť viacnásobným meraním. Uvedené hodnoty stredných súradnicových chýb m_{xy} sú závislé od dĺžok strán a celkovej konfigurácie buzolového ťahu, preto ich nemožno pokladať za univerzálne platné. Je potrebné presnosť merania uvedenými prístrojmi posudzovať podľa polohového posunu posledného bodu, ako je uvedené vo vzorcoch (1) – (3). V literatúre (VIŠŇOVSKÝ, ČIHAL 1985) sa uvádza, že krajná chyba

$$q_{\max} = 2,5 q \quad (4)$$

bude v prípade obojstranne pripojeného alebo uzavretého ťahu predstavovať krajnú odchýlku Δ v uzávere počtársky riešeného buzolového ťahu. Preto boli pre každý buzolový ťah a každú metódu merania zistené hodnoty polohového posunu v uzávere buzolového ťahu, ktoré boli vypočítané už v rámci postupu vyrovnania jednotlivých ťahov. Zároveň boli podľa vzorcov (2) a (3) vypočítané predpokladané hodnoty polohového posunu q pre jednotlivé buzolové ťahy a použité pomocníky. Tieto hodnoty sú uvedené v tab. 4.

Z uvedených hodnôt je zrejmé, že krajná odchýlka, rovnajúca sa 2,5násobku q , nebola ani v jednom prípade prekročená. Pri použití zostavy Impulse + Mapstar sa jednalo o 0,7- až 2,2násobok predikovaného polohového posunu, pri použití prístroja Trupulse 360B sa jedná o 0,3- až 2,0násobok. Na základe týchto výsledkov by bolo možné považovať vzorce (2) a (3) považovať za vhodné pre predikciu presnosti buzolového merania pri použití skúmaných prístrojov. Sa-

mozrejme spoľahlivosť tohto záveru by malo potvrdiť ďalšie meranie buzolových ťahov s rôznymi celkovými dĺžkami a priemernými dĺžkami meraných strán. V praxi lesníckeho mapovania používaným kritériom pre posúdenie presnosti zamerania a vyhodnotenia buzolového ťahu bola požiadavka, že pri grafickom vyhodnotení uzavretého alebo obojstranne pripojeného buzolového ťahu hodnota polohového posunu v uzávere ťahu nemá prekročiť 2 % z celkovej dĺžky buzolového ťahu. V tomto kritériu je ale okrem presnosti samotného merania zohľadnená aj presnosť grafického vyhodnotenia. Pre experimentálne buzolové ťahy táto krajná hodnota predstavuje 15,4 m pre ťah č. 1, 11,8 m pre ťah č. 2, 8,6 m pre ťah č. 3 a 3,4 m pre ťah č. 4. Pri porovnaní dosiahnutých polohových posunov s týmito krajnými odchýlkami ide vo všetkých prípadoch o niekoľkonásobne nižšie hodnoty.

DISKUSIA

Hodnoteniu presnosti buzolového merania sa v súčasnosti venuje minimum autorov. Napr. ПОТОЧНИК (2010) porovnáva buzolové meranie prístrojom Suunto s meraním pomocou univerzálnej meračskej stanice a dvoma rôznymi prijímačmi GNSS. Buzolové meranie hodnotí ako rýchle a jednoduché, avšak s nízkou presnosťou. Konkrétne číselné údaje neuvádza. RUAN (1995) sa zaoberá prevodom grafického vyrovnania buzolového ťahu na analytické vyrovnanie, avšak pracuje s obyčajným kompasom. ŠEBEŇ et al. (2006) uvádzajú pri použití zostavy Field-Map s dĺžkomerom Impulse maximálnu chybu v meraní dĺžok do 10 cm. Presnosťou merania azimutov sa nezaoberajú. Hodnotia dôsledky chýb pri meraní dĺžok pri inventarizácii, kde nepresné zmeranie polomeru skusnej plochy aj o 1 cm môže viesť k značnému skresleniu výsledkov odvodených z údajov inventarizačnej plochy.

Dosiahnuté hodnoty poskytujú informácie o prakticky dosiahnuteľných rámcoch chýb, ktoré možno so 68% pravdepodobnosťou očakávať pri použití uvedených pomocok pre buzolové meranie. Výsledná stredná chyba môže vždy obsahovať zložku náhodnú a systematickú. Náhodná zložka sa so zvyšovaním počtu meraní znižuje, avšak systematická zložka (tzv. vychýlenie) ostáva konštantná. Preto je pri používaní meračských pomocok potrebné zisťovať prítomnosť systematickej chyby a v prípade jej výskytu ju odstrániť (počtársky, zavedením koeficientov, komparáciou a pod.). Tomu bola prispôbená aj metodika predkladanej práce.

Na základe získaných výsledkov je možné konštatovať, že buzolové meranie aj pri použití elektronických pomocok môže byť použiteľné pre lesnícke mapovanie a výskum. Uvedené výsledky ukázali, že pri použitých pomockách je zdrojom najväčších chýb meranie azimutov. Tieto spôsobujú priečny posun závislý od dĺžky strany, ku ktorému sa

Tab. 4.

Základné charakteristiky experimentálnych buzolových ťahov, predikované a skutočne dosiahnuté polohové posuny posledného bodu podľa použitých pomocok a variant merania [m]

Basic characteristics of experimental compass courses, predicted and obtained positional shifts of the last point according to used equipment and measurement variant [m]

	dĺžka ťahu ¹	priem. dĺžka strany ²	q_{impulse}	polohový uzáver ⁷		polohový uzáver ⁷		
				Impulse bez horizontácie ³	Impulse s horizontáciou ⁴	q_{trupulse}	Trupulse monopod ⁵	Trupulse z ruky ⁶
ťah č. 1 ⁸	772,00	32,17	0,95	0,65	0,73	2,84	2,98	5,46
ťah č. 2 ⁸	587,88	36,74	0,88	1,16	0,99	2,65	4,38	5,40
ťah č. 3 ⁸	426,33	22,44	0,59	0,82	0,98	1,76	0,52	0,89
ťah č. 4 ⁸	166,66	20,83	0,35	0,77	0,69	1,06	1,52	1,92

¹total course length, ²average side length, ³Impulse with horizontation, ⁴Impulse without horizontation, ⁵Trupulse with monopod, ⁶Trupulse from bare hand, ⁷positional shift of the last point, ⁸traverse nr. 1-4

následne pripočíta pozdĺžny posun, spôsobený chybou merania dĺžky. Potvrzuje sa teda, že na rozdiel od polygonizácie je pri buzolovom meraní vhodnejšie voliť väčší počet kratších strán. Výhodou buzolového merania oproti použitiu teodolitov, tachymetrov, resp. univerzálnych meračských staníc zostáva nižšia náročnosť na existujúce bodové pole, nakoľko pri buzolovom meraní nie sú potrebné orientačné body pre určenie základného smeru. Rovnako výhodou je možnosť použitia monopodu, ktorý uľahčuje a urýchľuje stavanie prístroja v teréne. Napriek uvedeným výsledkom je v súčasnosti oblasť efektívneho využitia buzolového merania obmedzená viac-menej iba na meranie pod clonou lesného porastu. Príčinou je vysoká efektivita fotogrametrického vyhodnotenia prvkov, ktoré sú na snímkach identifikovateľné a zároveň možnosť využitia globálnych navigačných satelitných systémov. Tie na ploche s bezproblémovým príjmom signálu dosahujú vyššiu presnosť, pričom aj časová náročnosť merania môže byť v porovnaní s buzolovým meraním nižšia. Na základe výsledkov metódy vyhodnotenia s použitím správnych súradníc stanovísk môže existovať potenciál pre zvýšenie presnosti v kombinácii s inými metódami, kde by boli súradnice stanoviska určené presnejšou metódou (napr. GNSS) a okolitý polohopis by bol zameraný metódou polárnych súradníc pomocou buzolového merania. Praktickým problémom pri použití takejto kombinácie je, že pri lesníckom mapovaní sa jedná zväčša o líniové prvky, ktoré nie je možné zamerať z jedného stanoviska a zároveň pre správne určenie polohy pomocou GNSS je nutný bezproblémový príjem signálu, čo je v lesnom prostredí problematické.

Pri pripojenom buzolovom meraní v systéme JTSK je veľmi dôležité uvažovať s hodnotou orientačnej odchýlky. Pri slabšej znalosti problematiky sa táto často zamieta s hodnotou magnetickej deklinácie. Je preto nutné pre každé pripojené buzolové meranie určiť hodnotu orientačnej odchýlky buď priamym meraním (cez porovnanie azimutov a smerníkov na známych bodoch), alebo rozložením na hodnotu magnetickej deklinácie a meridiánovej konvergencie, ktoré sa dajú vyčítať na základe pravouhlých súradníc.

ZÁVER

Súčasnú dobu je charakteristické zvýšeným dopytom po priestorových informáciách prakticky vo všetkých oblastiach ľudskej činnosti. Tieto sú často sprístupňované širokej verejnosti. V procese tvorby a naplňovania rôznych geografických informačných systémov sa však často prehliada kvalita vstupných údajov, ktorá je podmienená ich pôvodom. Pri zavádzaní nových technológií získavania týchto údajov je preto veľmi dôležité hľadať nie len na efektívnosť ich použitia, ale aj priestorovú presnosť získaných údajov.

S ohľadom na uvedené výsledky je možné vyvodiť nasledovné závery:

- pri použití zostavy Impulse+MapStar je možné pri vhodnej voľbe dĺžok strán a celkovej dĺžky buzolového ťahu uvažovať o strednej súradnicovej chybe pod 0,5 m; pri použití prístroja Trupulse sú výsledky niekoľkonásobne horšie;
- hlavným zdrojom chýb pri použitých pomôckach je meranie azimutov;
- naďalej platí, že pri buzolovom meraní je potrebné voliť kratšie dĺžky strán a iba nevyhnutne dlhé buzolové ťahy;
- je potrebné dodržiavať odstup od objektov, ktoré ovplyvňujú prirodzený zemský magnetizmus;
- s ohľadom na efektívnosť práce a relatívne malý vplyv horizontácie voliť čo najjednoduchšiu zostavu;
- pri pripojenom meraní zohľadňovať hodnotu orientačnej odchýlky.

V súčasnosti sa buzolové meranie používa najmä v lesníckom výskume a inventarizácii lesov. Pre tento účel je dostatočne efektívne a rýchle. Pri lesníckom výskume sa vykonáva lokálne meranie, ktoré spravidla nie je potrebné pripájať na geodetické body. V oblasti výskumu a inventarizácie buzolové meranie úspešne nahrádza zaužívané

meračské metódy, založené na meraní ortogonálnou metódou v lokálnom súradnicovom systéme s použitím jednoduchých pomôcok ako sú výtyčky a pásmo. Oproti týmto metódam je buzolové meranie s použitím laserového dialkomera a elektronického kompasu menej práce a časovo náročné. Veľkým prínosom z hľadiska uplatnenia buzolového merania ako vhodnej metódy pre zisťovanie stavu krajiny je možnosť použitia špecializovaného softvéru na automatizované spracovanie nameraných údajov, čo zároveň predstavuje perspektívu aj pre zachovanie a ďalší vývoj pomôcok pre buzolové meranie. Avšak producent technológie Field-Map v súčasnosti preferuje použitie prístroja Trupulse a ponúka aj zostavu s použitím uhlomerného prístroja Mapstar TruAngle, ktorý už ale nepoužíva buzolové meranie a jedná sa v podstate o teodolitové meranie s použitím staviva a vyššími nárokmi na bodové pole.

Podakovanie:

Práca vznikla v rámci riešenia vedeckého projektu VEGA MŠ SR a SAV č. 1/0804/14 s názvom „Aktualizácia mapovania, usporiadania vlastníctva k lesným pozemkom a určenie stavu krajiny modernými prostriedkami družicovej geodézie a leteckého prieskumu“.

LITERATÚRA

- BARE B.B. 2003. Opening remarks and welcome to the first international precision forestry symposium. In: Precision forestry. Proceedings of the second international precision forestry symposium. Seattle, Washington, June 15–17, 2003. Seattle, University of Washington: 1–2.
- BUKSHA I., ČERNÝ M., BUKSHA M. 2010. An experience use of GIS Field-Map in forest inventory. In: International scientific-practical conference «New technologies in geodesy, land management and nature». Uzhgorod, 28–30 October, 2010). Uzhgorod, Hoverla: 142–146.
- HACKENBERG J., MORHART CH., SHEPPARD J., SPIECKER H., DISNEY M. 2014. Highly accurate tree models derived from terrestrial laser scan data: A method description. *Forests*, 5 (5): 1069–1105.
- HALVOŇ L. 2011. Posúdenie presnosti vyhodnotenia leteckých meračských snímkov metódami digitálnej fotogrametrie pri lesníckom mapovaní. In: Racionalizácia lesníckeho mapovania. Zborník referátov z vedeckého seminára. 14 október 2011. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene: 14–22.
- KUCBEL S., JALOVIAR P., SANIGA M., VENCURIK J., KLIMAŠ V. 2010. Canopy gaps in an old-growth fir-beech forest of remnant Western Carpathians. *European Journal of Forest Research*, 129 (3): 249–259.
- MIKITA T., KLIMÁNEK M., CIBULKA M. 2013. Hodnocení metod interpolace dat leteckého laserového skenování pro detekci stromů a měření jejich výšek. *Zprávy lesnického výzkumu*, 58 (3): 99–106.
- O'DONOVAN CH. 2007. Introduction to Ireland's NFI. In: National forest inventory. Republic of Ireland. Proceedings of NFI conference. 11 July 2007. Johnstown Castle Estate, Forest Service: 1–10.
- POTOČNIK I. 2010. Use of various geodetic methods in forest engineering. In: First Serbian forestry congress – Future with forests. November 11–13, 2010. Belgrade, Belgrade University, Faculty of Forestry: 542–552. Dostupné na World Wide Web: <http://congress.sfb.bg.ac.rs/PDF/forestry/rad50f.pdf>
- PROKEŠOVÁ R., KARDOŠ M., MEDVEĐOVÁ A. 2010. Landslide dynamics from high-resolution aerial photographs: a case study from the Western Carpathians, Slovakia. *Geomorphology*, 115 (1-2): 90–101. DOI: 10.1016/j.geomorph.2009.09.033
- RUAN Z. 1995. An improvement on the calculative method for forest land area and an approach to the allowable error of compass traverse. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 1995-01.

- SMREČEK R., DANIHELOVÁ Z. 2013. Forest stand height determination from low point density airborne laser scanning data in Rožňava Forest enterprise zone (Slovakia). *iForest*, 6: 48–54. Dostupné na World Wide Web: <http://www.sisef.it/iforest/pdf/?id=ifor0767-006>
- SOKOL Š., MAGULA V., FABIAN M. 1986. Meranie v geodézii I. Bratislava, Slovenská vysoká škola technická v Bratislave: 107 s.
- ŠEBEŇ V., ŠMELKO Š., MERGANIČ J. 2006. Skúsenosti z uplatnenia technológie Field-Map v národnej inventarizácii a monitoringu lesov SR a ich zovšeobecnenie. In: *Enviro-i-fórum 2006. Odborné fórum o dostupnosti environmentálnych informácií a využívaní informačných technológií pri ich spracovaní*. Zvolen, 18–20. október 2006. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene: 175–185. [CD-ROM]
- STN 013410. 1990. Mapy veľkých mierok – základné a účelové mapy. Bratislava, ÚGKK SR: 20 s.
- Technická príručka hospodárskej úpravy lesov. 1984. Zvolen, Lesoprojekt: 594 s.
- TURČAN T. 2010. Banická a hutnícka minulosť Slovenska v kartografických pamiatkach. Košice, Východoslovenské tlačiarne: 191 s.
- VIŠŇOVSKÝ P., ČIHAL A. 1985. Geodézia a fotogrametria. Bratislava, Príroda: 546 s.
- WARKOTSCH W. 2006. Precision forestry today and tomorrow. In: *Precision Forestry in Plantations, Semi-Natural and Natural Forests*. Power point presentation in the International Precision Forestry Symposium. March 5–10, 2006. South Africa, Stellenbosch University.
- ŽÍHLAVNÍK Š., CHUDÝ F., KARDOŠ M. 2005. Digitálna fotogrametria v lesníckom mapovaní. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene: 80 s. *Vedecké štúdie*, 2/2005/2.
- ŽÍHLAVNÍK Š. 2009. Geodézia, fotogrametria a mapovanie v lesníctve. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene: 387 s.
- ŽÍHLAVNÍK Š., TUNÁK D. 2010. Racionalizácia mapovacích prác využitím metódy polygónových ťahov. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene: 83 s. *Vedecké štúdie*.
- ŽÍHLAVNÍK Š. 2012. Problematika katastrálneho mapovania v lesných porastoch. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene: 80 s.

ACCURACY OF COMPASS MEASUREMENT WITH THE USE OF DEVICES APPLIED IN FIELD-MAP SETS

SUMMARY

The aim of the paper is an evaluation of compass measurement precision and applicability in forestry mapping and research. The compass measurement is one of traditional measurement methods, but due to the dependence on undisturbed magnetic field it can be used only outside urbanized areas. After the attenuation of its use, the new perspective came with the new electronic instruments for compass measurement (laser range-finder, electronic compass).

The experiment was divided into two parts. First part was aimed on evaluation of accuracy of measured lengths and azimuths. Two measurement sets were used: (i) laser range-finder Impulse LR200 with electronic compass MapStar Compass Module II, and (ii) laser range-finder Trupulse 360B with built-in compass. Eleven lengths (5 m, 10 m, 20 m... 100 m), and four bearings were measured 30 times. The results in Tab. 1 and 2 show that the main problem of used electronic equipment is the azimuth measurement accuracy. Already manufacturer declares accuracy, which is several times worse than with old devices. Experimental measurements approved this statement. The second part of the experiment was the measurement of several compass courses with different total lengths and average side lengths. The location of used point cloud and the course of particular compass traverses shows Fig. 1. As a measurement method the measurement on every other stand was used. Also three methods of computation were used: (1) computation without adjustment based on unmodified azimuths and lengths; this method is used in forestry research, where none of the geodetic adjustments are used, (2) computation with the lengths adjustment, which is the basic geodetic method of compass measurement adjustment; for this method, there is a need to know the coordinates of the first and the last measured point before the measurement, and (3) computation method based also on azimuths and lengths taking out, but with the use of correct point coordinates; using this method, coordinates of computed points do not depend on each other, and the results can be used in application of combination of compass measurement with other measurement methods (for example GNSS). The values of mean coordinate error according to computation method can be seen in Fig. 2. Also the evaluation of lengths and azimuths was carried out (see Tab. 3). Computation methods achieved the assumed order. The compass measurement accuracy is dependent on lengths and azimuth accuracy, total compass traverse length and average side length. For formerly used equipment it is expressed in formula (1). For the examined electronic equipment, the formula was adjusted according to determined accuracies, what resulted into formulas (2) and (3). The correctness of that adjustment was affirmed in Tab. 4, where none of the positional errors exceeded the criteria computed in formula (4).

Achieved results showed that according to accuracy, compass measurement is still applicable in both forestry mapping and research. But, according to achieved results, this method is not very perspective in forestry mapping, what originates in very narrow spectrum of efficient applicability. Two reasons are crucial: (i) the compass measurement is highly laborious in urbanized environment, where there are often some factors impacting magnetism, and (ii) on the open area with good signal receiving options it is much more efficient and accurate to use GNSS; also the photogrammetry is much more efficient for the objects that can be identified on photogrammetric images. The only area of forestry mapping, where the compass measurement can be used efficiently, is the under-canopy measurement. The use of compass measurement is much wider in forestry research and forest inventory, especially in combination with Field-Map software. For this purpose, the accuracy is sufficient, and since it is a measurement under the forest stand coverage, there is no other more efficient method for this kind of measurement at present.