



POUŽITELNOSŤ ELEKTRONICKÝCH POMÔCOK PRE BUZOLOVÉ MERANIE V LESNÍCKOM MAPOVANÍ A VÝSKUME

JULIÁN TOMAŠTÍK, ml., MARTIN ŽILKA

Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, T. G. Masaryka 24, SK – 960 53 Zvolen,
e-mail: tomastik@tuzvo.sk

TOMAŠTÍK, J., ŽILKA, M., 2013: Applicability of electronic instruments for compass measurement in forestry mapping and research. *Lesnícky časopis - Forestry Journal*, 59(2): 120-129, 2013, 2 fig., tab. 4, ref. 19, ISSN 0323 – 1046. Original paper

The paper contains output of the research aimed on applicability of compass measurement using laser range-finder Impulse LR 200 and electronic compass LTI MapStar Compass Module in forestry mapping and research. The research was aimed on the impact of measurement methods and also methods of computation on the final precision of the position evaluation. Because the combination of instruments, with the Field-Map software, is also used in forestry research (forest inventory, research of natural forests), the paper shows also the methods of evaluation referring to this field of use of compass measurement. In dependence to measurement and evaluation methods there is a quite wide interval of mean position error m_{xy} values (0.15 – 0.60 m). In general it can be stated, that compass measurement in areas without negative effects on the natural magnetism is applicable method for the under-canopy forestry mapping and research. The best of output values have shown the theoretical possibility of use in forest area cadastral mapping (4th accuracy class), especially in combination with other measurement methods.

Keywords: *compass measurement, accuracy, forestry mapping*

1. Úvod

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 určovaná 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 uhlomerného prístroja a meraného bodu. Vodorovné dĺžky sú určované buď priamym alebo nepriamym meraním. Postupom času bolo buzolové meranie vytlačené viac-menej do extravilánov, 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 vyšpecifikovalo ako typická lesnícka metóda, čoho dôsledkom ale je, že

v súčasnosti je menej zdokumentované a výskumom preverené, ako metódy univerzálnejšie použiteľné.

Aj keď v súčasnosti je dominantnou a veľmi efektívnou metódou lesníckeho mapovania fotogrametrické vyhodnotenie v kombinácii s meraním pomocou globálnych navigačných satelitných systémov (GNSS) a použitím tzv. „totálnych staníc“ (ŽÍHLAVNÍK, Š. *et al.*, 2005), je z hľadiska racionalizácie meračských prác potrebné stále brať do úvahy všetky dostupné metódy, vrátane buzolového merania. Jedná sa hlavne o merania pod clonou lesného porastu, kde ani fotogrametrické vyhodnotenie, ani meranie pomocou GNSS nedosahuje presnosť, ktorú dosahujú na otvorenom priestranstve, a ktorá je požadovaná pre lesnícke mapovanie.

Rozšírenie elektronických meračských pomôcok sa prejavilo aj v oblasti buzolového merania. V minulosti používané optické teodolity s nasadzovacími meračskými buzolami, prípadne buzolové teodolity, je v súčasnosti možné nahradiť kombináciou elektronického diaľkomera (napr. laserového) a elektronického kompasu. Použiteľ-

nosť týchto pomôcok a presnosť mapovania pri ich použití je však potrebné overiť, čo bolo aj základným cieľom vykonaného experimentu.

Obnovený záujem o problematiku buzolového merania prinieslo v súčasnosti najmä jeho použitie v kombinácii so softvérom Field-Map. Jedná sa o softvér počítačovo podporovaného zberu údajov o stave lesa, na Slovensku a v zahraničí používaný najmä pri inventarizácii lesov a výskume pralesov (ŠMELKO, MERGANIČ, 2008; ČERNÝ *et al.*, 2006). Nakoľko sa vo väčšine prípadov jedná o meranie pod clonou porastu, je buzolové meranie jednou z mála použiteľných metód. Aj keď pre uvedené úlohy nie je presnosť merania stanovená tak prísne ako pre samotné lesnícke mapovanie, je vhodné zistiť rámcové hodnoty dosahovanej polohovej presnosti s ohľadom na spoľahlivosť charakteristík zistených priestorových údajov. Toto posúdenie, s ohľadom na špecifiká merania pri použití zostavy Field-Map, bolo čiastkovým cieľom experimentu. Zároveň bola zhodnotená aj možnosť použitia buzolového merania v kombinácii s inými meračskými metódami.

2. Rozbor problematiky

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. Stále však ostáva vhodnou metódou aj pre mapovanie lesníckeho polohopisu pod clonou lesného porastu (POTOČNIK, 2010).

Základom buzolového merania je buzolový ťah, ktorý predstavuje polygónový ťah pri ktorom sa nemerajú vrcholové uhly medzi susednými stranami, ale merajú sa navzájom nezávislé magnetické azimuty strán ťahu. Buzolovým ťahom sa sleduje buď priamo lesný detail, alebo sa z jeho vrcholov polárnou metódou vykonáva aj potrebné meranie ostatných bodov podrobného polohopisu. Hlavné buzolové ťahy sú vložené medzi dva známe pevné body, vedľajšie ťahy spájajú vrcholové body hlavných ťahov. Pri pripojení vedľajších ťahov na hlavné, zameria sa orientácia aspoň na jeden vrchol hlavného ťahu na začiatku a na konci vedľajšieho ťahu. Vedľajší buzolový ťah môže byť výnimočne pripojený len na jediný bod a to vo forme uzavretého ťahu. Pri buzolovom meraní sa zameriavajú hranice vnútorného rozdelenia lesa, lesné cesty, vodstvo, lesné chodníky, sklady dreva, šmyky, budovy, lesné škôlky, chrbátnice, údolnice a pod.

Pri buzolovom meraní sa používajú dva spôsoby merania:

- meranie na každom vrchole ťahu,
- meranie na každom druhom 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. Ich rozdiel pre kontrolu správnosti sa od 2R môže

odlišovať len o krajne dovolenú odchýlku $d_{Amax} = 26'$. Pri tejto metóde sa ešte dvakrát meria dĺžka strany. Meranie azimutov na každom vrchole sa odporúča použiť pri prácach náročných na presnosť a v terénoch s podozrením na prítomnosť rušivých magnetických vplyvov. Pri rýchlejšom a hospodárnejšom spôsobe merania na každom druhom vrchole ťahu, sa buzolový prístroj stavia na každý druhý vrchol ťahu. 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 uhla a dĺžky strany.

Pri používaní starších optických buzolových prístrojov bolo možné presnosť určenia magnetických azimutov vyjadriť celkovou strednou chybou $m_A = 10'$, čo zodpovedá priečnemu posunu asi 29 cm na 100 m. Pri meraní dĺžok s použitím nitkových diaľkometerov bolo potrebné s ohľadom na horšie meracie podmienky v zalesnenom teréne rátať so strednou relatívnou dĺžkovou chybou podľa rovnice $m_d: d = 1 : 400$. Pre vzdialenosť $d = 100$ m vychádza dĺžková chyba $m_d = 25$ cm, ktorá približne zodpovedá priečnemu posunu spôsobenému strednou chybou $m_a = 10'$ pri meraní magnetických azimutov. Preto sa nitkový diaľkometer so zvislou latou možno považovať za vhodnú a podľa presnosti za primeranú súčasť buzolových prístrojov. Pre dodržanie presnosti merania azimutov, t. j. odchýlka menšia ako $10'$, musíme prístroj umiestňovať v dostatočnej vzdialenosti od rušivých predmetov (ŽÍHLAVNÍK, Š., 2009).

- a) od dvojkolažovej železničnej trate najmenej 100 m,
- b) od jednokolažovej železničnej trate najmenej 70 m,
- c) od vedenia silnoprúdového jednosmerného elektrického prúdu aspoň 50 m podľa napätia,
- d) od železného stožiaru elektrického vedenia, vysokého 20 m najmenej 40 m,
- e) od plotov zo železného pletiva aspoň 10 m.

Pri vyhodnocovaní buzolového merania je potrebné poznať hodnotu magnetickej deklinácie, ktorá predstavuje uhol medzi miestnym astronomickým a magnetickým severom. Deklinácia je premenlivá s časom a priestorom, takže ju treba určiť pre každé meranie samostatne. Časové zmeny magnetickej deklinácie sa rozdeľujú na pravidelné (variácie) a nepravidelné (poruchy alebo pertubácie). Časové zmeny sú spôsobené zmenou slnečnej činnosti a v polohových zmenách zemskéj magnetickej osi. Variácie magnetickej deklinácie sa rozdeľujú podľa toho v akých časových intervaloch sa opakujú. Poznáme denné, ročné a vekové variácie. Tieto zmeny deklinácie mávajú prevažne rovnomerný priebeh, preto sa pre daný čas a miesto dajú určiť s dostatočnou presnosťou. Poruchy alebo pertubácie magnetickej deklinácie sú nepravidelné časové zmeny, ktoré sú zapríčinené hlavne magnetickými búrkami. Búrky môžu vychýliť magnetku o viac ako stupeň a zároveň sa prejavujú chvením magnetky. V takýchto prípadoch

doch dochádza pri meraní k veľkým chybám, preto by sa meranie nemalo uskutočňovať, alebo by sa malo aspoň prerušiť.

Ďalšou významnou hodnotou, ktorá je dôležitá pri vynesení buzolového ťahu v konkrétnom geodetickom pravouhlom súradnicovom systéme je hodnota tzv. zobrazovacej meridiánovej konvergencie γ , ktorá predstavuje uhol medzi astronomickým severom a geodetickým severom (v systéme S-JTSK rovnobežka so záporným smerom osi X) (ŽÍHLAVNÍK, Š., 2009). Hodnota magnetickej deklinácie a zobrazovacej meridiánovej konvergencie sú pri vyhodnotení buzolového merania zložkami tzv. orientačnej odchýlky μ , ktorú je potrebné zohľadniť pri výpočte polohy meraných bodov.

3. Materiál a metodika

Pre splnenie vytýčeného cieľa experimentu bolo na jeseň 2011 opravené a doplnené existujúce experimentálne bodové pole, ktoré bolo založené v roku 2005 pracovníkmi Katedry hospodárskej úpravy lesov a geodézie pre účely overovania presnosti rôznych geodetických meračských metód v lesnom prostredí. Pozostáva zo 73 bodov, pričom je tvorené štyrmi buzolovými ťahmi o dĺžke 999,97; 587,73; 426,46 a 197,33 m, počet vrcholov je 30, 17, 20 a 10. Podrobné body boli zakladané najmä na hraniciach dielcov v lesnom celku ŠLP TU Zvolen, ktorých užívateľom je PS urbár Sliach-Hájniky. Porasty majú rôznu štruktúru, rastovú fázu a aj rôzny terénny reliéf. Zastúpená je hranica medzi lesným pôdnym fondom a bezlesím, hranice medzi jednotlivými rastovými fázami lesa (mladina – holina, dospelý porast – mladina atď.) a hranica vedená lesnou odvoznou cestou. 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 (polyg. ťah, rajón, metóda polárnych súradníc) pomocou elektronického tachymetra TOPCON GPT 3002. Získané údaje sú použité ako porovnávací etalón pre buzolové meranie, nakoľko podľa udávaných stredných chýb merania je použitý elektronický tachymeter rádovo presnejší ako pomôcky pre buzolové meranie (stredná chyba meraných vzdialeností ± 3 mm oproti 3 cm, pri uhloch ± 2 „oproti 20“). Taktiež experimentálne merania uvedeným tachymetrom potvrdili možnosť dosiahnutia centimetrovej presnosti (napr. ŽÍHLAVNÍK, Š., 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. Vzdialenosti medzi susednými bodmi sa pohybujú v rozmedzí 12,01 m až 84,79 m. Spodná hranica korešponduje s hodnotami udávanými

v literatúre (10 m (SOKOL *et al.*, 1986)). Horná hranica prevyšuje udávané maximum 70 m (NLC, 1984), ktoré ale bolo navrhnuté pre použitie teodolitov s nitkovými diaľkomermi, nie pre elektronické diaľkomery. Celkovo je v bodovom poli dĺžka strany nad 60 m prekročená len štyrikrát. Špecifický bol buzolový ťah č. 4, kde jeho časť viedla v blízkosti oplôtku z kovového pletiva. Cieľom bolo posúdiť vplyv feromagnetických prvkov pri použití elektronických pomôcok pre buzolové meranie.

Ako prvý pripájací bod pre buzolový ťah č. 1 bol použitý trigonometrický bod „Dibákovo“ v katastri obce Hájniky, pre ďalšie buzolové ťahy boli použité iné meračské body, získané počas predchádzajúcich meraní a výskumov katedry. Pre buzolové meranie bola použitá najjednoduchšia možná zostava – laserový diaľkometer Impulse LR200 a elektronický kompas Mapstar Compass Module II na jednoduchej podpere – monopode a dve výtyčky s odrazovým zrkadlom. Zostava bola zvolená tak aby sa dosiahla maximálna efektívnosť merania. V prípade, že by bol použitý trojnohý statív, časový rozsah prác pri meraní na jednotlivých stanoviskách by sa priblížil meraniu pomocou elektronického tachymetra, pričom dosiahnutá presnosť je rádovo nižšia (CHUDÝ *et al.*, 2006). Na horizontovanie prístroja pri meraní bola použitá funkcia zostavy „Level Aid“, ktorá zabezpečí, že v prípade vychýlenia prístroja nad nastavenú toleranciu od horizontálnej roviny sa ozve zvukový signál. Pri prvom zapnutí elektronického kompasu v meranom území bola vykonaná jeho kalibrácia, ktorá slúži na spresnenie merania azimutov. Zameranie buzolových ťahov bolo vykonané dvoma spôsobmi:

- meranie „s preskáčkou“,
- meranie na každom vrchole s dodržaním krajnej dovolenej odchýlky $d_{Amax} = 26'(0,43^\circ)$.

Pri oboch spôsoboch merania boli merané vodorovné vzdialenosti a magnetické azimuty. Všetky namerané hodnoty boli zaznamenávané ručne do zápisníkov pre buzolové meranie, nakoľko softvér Field-Map, ktorý je dodávaný so zostavou na buzolové meranie, v súčasnosti nedisponuje záznamom pre účely geodetických meraní. Pre transformáciu do systému S-JTSK bola určená orientačná odchýlka, pričom hodnota pre dotknuté územie dosiahla $+8,48^\circ$. O túto odchýlku boli upravené všetky azimuty pred výpočtom pravouhlých súradníc bodov.

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

- **vynesenie bodov zaradom bez vyrovnania** – pri tomto spôsobe spracovanie merania boli body vynášané zaradom od pripájacieho bodu pomocou smerníkov (vypočítaných z azimutov opravených o orientačnú odchýlku) a vodorovných dĺžok. Výsledný buzolový ťah nebol žiadnym spôsobom vyrovnaný. Túto metódu sme použili pre jej využitie v lesníckom výskume, kde tvorba stanovísk pre podrobné meranie má charakter buzolového merania „na preskáčku“.

Pre daný účel nie je rozhodujúcim faktorom presnosti stredná polohová chyba m_{xy} , ale polohový uzáver, čiže polohová odchýlka na poslednom bode, vzťahnutá k správnej polohe posledného bodu. Je dôležité určiť vplyv počtu vrcholov a celkovej dĺžky buzového ťahu na výslednú polohovú presnosť. Metóda bola realizovaná v softvéri Kokeš (interaktívny grafický systém pre tvorbu a spracovanie geodetických údajov a tvorbu vektorových máp), ako polárna metóda so zadefinovaním polohy bodu cez smerník a vodorovnú dĺžku.

– **dĺžkové vyrovnanie buzového ťahu pomocou tabuľky vytvorenej prvým z autorov v softvéri MS Excel** – keďže v súčasnosti nie je k dispozícii žiadny softvér na komfortný zápis a výpočet buzového merania pomocou elektronického kompasu a laserového diaľkometra, bola použitá tabuľka v softvéri MS Excel, vytvorená prvým z autorov (TOMAŠTÍK, 2009). Tabuľka sa skladá z dvoch častí. Prvá časť slúži na záznam nameraných hodnôt priamo vo formáte používanom použitými prístrojmi (vodorovná dĺžka, uhol v stupňoch v desatinnom tvare). V druhej časti je buzový ťah vyrovnaný pomocou dĺžkového vyrovnaní. Do výpočtu je potrebné zadať pravouhlé súradnice začiatočného a koncového pripájacieho bodu. Zároveň sú v prípade potreby vypočítané vrcholové uhly pre jednotlivé vrcholy buzového ťahu (je nutné zadať pripájacie smerníky). Súčasťou tabuľky je aj výpočet percentuálneho vyjadrenia polohového uzáveru v pomere k celkovej dĺžke ťahu, ako aj automatické zohľadnenie orientačnej odchýlky μ vo výpočte.

– **výpočet súradníc bodov polárnou metódou s použitím správnych súradníc stanovísk** – výpočet súradníc jednotlivých bodov bol zrealizovaný na základe ich polárnych súradníc. Z nameraných azimutov boli vypočítané smerníky. Pri výpočte bodu „n“ bol ako stanovisko použitý predchádzajúci bod „n-1“ (jeho správna poloha určená elektronickým tachymetrom TOPCON). Táto metóda poskytne hodnotu presnosti nezaťaženú prenosom chýb pri vyrovnaní buzového ťahu. V praxi by sa jednalo o uplatnenie kombinácie metód, kde poloha stanoviska by bola určená presnejšou metódou (napr. GNSS) a podrobné meranie by bolo vykonané ako buzové meranie.

Vyhodnotenie bolo spracované pre každý buzový ťah osobitne a následne boli vypočítané sumárne výsledky pre celú množinu skúmaných bodov. Posúdenie presnosti výpočtu súradníc pre jednotlivé skúmané metódy sa použili vzťahy uvedené v prácach (BOHM, 1990) a posúdenie správnosti určenia súradníc bodov štatistickými testami (BOHM, 1990; ŠMELKO, 1995). Postup zhodnotenia presnosti a správnosti pozostáva z nasledovných krokov:

a) výpočet súradnicových chýb ex_i a ey_i :

$$ex_i = x_i - X_i \quad ey_i = y_i - Y_i$$

ex_i – chyba v určení x-ovej súradnice,
 ey_i – chyba v určení y-ovej súradnice,
 X, Y – súradnice považované za správne, získané elektronickým tachymetrom TOPCON
 x, y – súradnice získané príslušnou skúmanou metódou,
 $i = 1, 2, 3 \dots n$ – poradové číslo bodu.

b) výpočet aritmetického priemeru \bar{ex}, \bar{ey} chýb ex_i a ey_i :

$$\bar{ex} = \frac{\sum ex_i}{n} \quad \bar{ey} = \frac{\sum ey_i}{n}$$

c) posúdenie správnosti určenia súradníc bodov, t. j. rozbor možnej systematickej chyby pomocou štatistického testu o zhodnosti vypočítaného aritmetického priemeru voči známej požadovanej hodnote. Pri tomto teste nulová hypotéza H_0 znie, že aritmetické priemery sa rovnajú nule voči alternatívnej hypotéze H_A :

$$H_0 : \mu \bar{e} = 0 \\ H_A : \mu \bar{e} \neq 0$$

Výpočet testovacieho kritéria t :

$$t = \frac{\bar{e}}{\frac{s_e}{\sqrt{n}}}$$

pričom

$$s_e = \sqrt{\frac{\sum_i^n (e_i - \bar{e})^2}{n - 1}}$$

V menovateli hlavného zlomku uvedených vzorcov sa nachádza odhad smerodajnej odchýlky všetkých možných výberových priemerov súradnicových chýb. Kritická hodnota $t_{\alpha/2; f}$ sa určí z tabuľky kritických hodnôt *Studentovho t-rozdelenia* (ŠMELKO, 1995), pre zvolenú hladinu významnosti α a stupeň voľnosti $f = n - 1$. Nulovú hypotézu nezamietame ak $t \leq t_{\alpha/2; f}$ a môžeme tvrdiť, že meranie skúmanou metódou nevykazuje systematickú chybu s pravdepodobnosťou $P = 1 - \alpha$. Naproti tomu nulovú hypotézu zamietame ak $t > t_{\alpha/2; f}$ a prijíma sa alternatívna hypotéza, že meranie je zaťažené systematickou chybou.

d) Presnosť určenia súradníc bodov sa posudzuje na základe *výberovej strednej chyby* (nazývanej tiež empirickou strednou kvadratickou chybou merania), skrátene *strednej chyby*. Pre x-ovú súradnicu budeme strednú chybu označovať m_x a pre y-ovú súradnicu m_y . Ich výpočet vykonáme podľa vzťahov:

$$m_x = \pm \sqrt{\frac{\sum ex_i^2}{n}} \quad m_y = \pm \sqrt{\frac{\sum ey_i^2}{n}}$$

Stredné chyby v sebe zahŕňajú tak náhodnú ako aj systematickú zložku chyby. Iba v prípade, že sa systema-

tická chyba vo výbere nevyskytuje, sa stredné chyby rovnajú smerodajným odchýlkam. Výpočet strednej chyby m_{xy} , ktorú nazývame *stredná polohová chyba*, vykonáme jednoduchým kvadratickým priemerom:

$$m_{xy} = \sqrt{\frac{m_x^2 + m_y^2}{2}}$$

Stredná polohová chyba bola určená pre jednotlivé buzolové ťahy samostatne a následne aj celkovo pre konkrétnu metódu merania a výpočtu, pričom boli použité súradnicové chyby všetkých bodov. Po samostatnom vyhodnotení jednotlivých možností zamerania a vyhodnotenia boli vypočítané aj súhrnné porovnania dosiahnutých výsledkov.

Pre porovnanie dosiahnutých stredných polohových chýb jednotlivých metód merania a výpočtu bol použitý koeficient tzv. relatívnej efektivity (ŠMELKO, 2007):

$$R_e = \frac{m_A^2}{m_B^2}$$

Pri testovaní tejto hodnoty F-testom je zároveň možné určiť štatistickú významnosť rozdielu porovnávaných hodnôt.

4. Výsledky

4.1. Metóda merania „s preskáčkou“

Metóda merania „s preskáčkou“ je v súčasnej dobe najviac používanou metódou buzolového merania v lesníckej praxi. Dôvodom je nižšia prácnosť meraní v porovnaní s meraním na každom vrchole buzolového ťahu. Na rozdiel od merania na každom vrchole buzolového ťahu je nevýhoda merania „s preskáčkou“ v nemožnosti spätnej kontroly nameraných azimutov a vzdialeností medzi vrcholmi buzolového ťahu. Pri použití metódy „s preskáčkou“ boli po výpočte stredných polohových chýb rôznymi metódami vyhodnotenia dosiahnuté výsledky uvedené v tabuľke 1.

Z uvedených výsledkov vyplýva, že kritérium pre 5. triedu presnosti katastrálneho mapovania ($m_{xy} < 0,5$ m) bolo splnené pri použití dĺžkového vyrovnania v programe MS Excel a metódy s využitím správnych súradníc stanovísk, kde bolo dodržané aj kritérium pre 4. triedu

presnosti katastrálneho mapovania ($m_{xy} < 0,26$ m) a dokonca kritérium pre tretiu triedu presnosti ($m_{xy} < 0,14$ m) bolo prekročené len o 4,1 cm. Pri celkových výsledkoch metódy založenej na vynesení buzolového ťahu bez vyrovnania bolo kritérium prekročené. To je spôsobené najmä hodnotou m_{xy} dosiahnutou na najdlhšom buzolovom ťahu č. 1, nakoľko pri ostatných ťahoch je kritérium splnené. Pri testovaní dosiahnutých celkových stredných polohových chýb F-testom sa preukázala štatistická významnosť rozdielov dosiahnutých hodnôt, nakoľko vo všetkých prípadoch bola po výpočte koeficientu relatívnej efektivity prekročená kritická hodnota $F_{0,05;72;72} = 1,477$. Pri lesníckom mapovaní, ale najmä v lesníckom výskume je dôležitá aj presnosť merania udaná chybou v polohovom uzávere (t. j. o koľko je posunutý posledný bod buzolového ťahu oproti jeho správnej polohe). Je to napr. dôležité pri zakladaní trvalých výskumných plôch, pri ktorých sa vyrovnanie buzolového ťahu nerieši. Chyby v polohovom uzávere pre jednotlivé buzolové ťahy, pri použití metódy „s preskáčkou“ boli nasledovné: buzolový ťah č. 1 – 1,687 m (t. j. 0,17 % z celkovej dĺžky buzolového ťahu) ťah č. 2 – 1,136 m (0,19 %), ťah č. 3 – 0,90 m (0,21 %) a ťah č. 4 – 0,399 m (0,2 %). Keďže dĺžka jednotlivých ťahov bola 999,97 m; 587,73 m; 426,46 m; 197,33 m môžeme konštatovať, že dĺžka buzolového ťahu nemôže byť jednoznačným kritériom pre odhad predpokladanej presnosti pri použití chyby v polohovom uzávere, nakoľko sú chyby v polohovom uzávere v pomere k dĺžkam jednotlivých buzolových ťahov dosť podobné. Pri vyhodnotení merania sú dôležité aj iné charakteristiky terénu mapovaného územia, ktoré sú však vo všeobecnosti veľmi ťažko opísateľné. Pri použití správnych súradníc stanovísk sa hodnoty chyby m_{xy} veľmi podobajú. Pri metódach spracovania výsledkov ich priamym vnesením zaradom buzolového ťahu a vyrovnání buzolových ťahov v programe MS Excel vidno, že presnosť je ovplyvnená dĺžkou buzolového ťahu, pričom chyba sa znižuje s klesajúcou dĺžkou buzolového ťahu. Výnimkou sú hodnoty pri buzolovom ťahu č. 4, kde sa potvrdzuje nepriaznivý vplyv objektov z feromagnetických látok na presnosť buzolového merania. To je viac evidentné pri vyhodnotení merania na každom vrchole.

Po vypočítaní súradnicových chýb ex_i , ey_i bolo vykonané štatistické testovanie podľa postupu uvedeného

Tabuľka 1. Hodnoty strednej polohovej chyby m_{xy} (v metroch) pri metóde merania na preskáčku (celkovo $n = 73$)

Table 1. Values of the mean position error in meters for the measurement methods on the every other stand (total $n=73$)

		Buzolový ťah č. 1 ¹⁾	Buzolový ťah č. 2 ¹⁾	Buzolový ťah č. 3 ¹⁾	Buzolový ťah č. 4 ¹⁾	Celkovo ²⁾
Metóda výpočtu ³⁾	Bez vyrovnania ⁴⁾	0,783	0,420	0,407	0,493	0,608
	Dĺžkové vyrovnanie ⁵⁾	0,566	0,360	0,191	0,450	0,444
	Polárna metóda ⁶⁾	0,193	0,135	0,163	0,241	0,181

¹⁾Computation method, ²⁾Compass course 1–4, ³⁾Summary, ⁴⁾Without adjustment, ⁵⁾Length adjustment, ⁶⁾Method of polar coordinates

Tabuľka 2. Popisné štatistické charakteristiky azimutov a dĺžok pre metódu merania „s preskáčkou“**Table 2.** Descriptive statistical characteristics of azimuths and lengths for the measurement method on the every other stand

n = 73	Priemer ¹⁾	Minimum	Maximum	Smerodajná odchýlka ²⁾
Dĺžka [m] ³⁾	30,298	12,01	78,82	12,788
Azimut [°] ⁴⁾	210,543	13,74	355,81	88,624
Chyba dĺžka [m] ⁵⁾	-0,003	-0,68	0,59	0,137
Chyba azimut [°] ⁶⁾	0,035	-1,057	0,994	0,414
Absolútna chyba dĺžka [m] ⁷⁾	0,072	0	0,68	0,117
Absolútna chyba azimut [°] ⁸⁾	0,332	0,007	1,057	0,250

¹⁾Average, ²⁾Standard deviation, ³⁾Length, ⁴⁾Azimuth, ⁵⁾Length error, ⁶⁾Azimuth error, ⁷⁾Absolute length error, ⁸⁾Absolute azimuth error

Tabuľka 3. Hodnoty strednej polohovej chyby m_{xy} (v metroch) pri metóde merania na každom vrchole (celkovo n = 73)**Table 3.** Values of the mean position error in meters for the measurement method on the every stand (total n=73)

		Buzolový ťah č. 1 ¹⁾	Buzolový ťah č. 2 ¹⁾	Buzolový ťah č. 3 ¹⁾	Buzolový ťah č. 4 ¹⁾	Celkovo ²⁾
Metóda výpočtu ³⁾	Bez vyrovnaní ⁴⁾	0,439	0,419	0,433	0,400	0,435
	Dĺžkové vyrovnanie ⁵⁾	0,220	0,427	0,524	0,570	0,414
	Polárna metóda ⁶⁾	0,071	0,100	0,216	0,222	0,149

¹⁾Compass course 1–4, ²⁾Summary, ³⁾Computation method, ⁴⁾Without adjustment, ⁵⁾Length adjustment, ⁶⁾Method of polar coordinates

v predchádzajúcej kapitole. Kritická hodnota nebola prekročená. Nakoľko polohu bodu pri buzolovom meraní priamo ovplyvňujú namerané vzdialenosti a azimuty, ich odchýlky od správnych hodnôt (Δd a ΔA), boli testované hore uvedeným spôsobom. Pri počte 73 meraných bodov pri T-Studentovom rozdelení je kritická hodnota 1,933, ktorá v tomto prípade nebola ani pri dĺžkach ani azimutoch prekročená. Pre uvedené veličiny boli vypočítané základné popisné štatistické charakteristiky, ktoré sú uvedené v tabuľke 2.

Podľa uvedených charakteristík vidno, že pri meraní sa vyskytovali aj kladné aj záporné hodnoty, čo vo všeobecnosti znamená, že sa chyby vo výsledku vzájomne znegujú (pri chybách dĺžky $n+ = 35$, $n- = 34$, 4 hodnoty boli nulové; pri chybe azimutu $n+ = 37$, $n- = 36$). Celkové chyby m_{xy} do značnej miery zhoršuje výskyt extrémov pri meraní, ktoré majú náhodný charakter. Keďže je dôležité uvažovať s prítomnosťou rozdielnych vzdialeností (a teda rozdielnych váh jednotlivých meraní), je pre výslednú polohu vždy veľmi dôležitá kombinácia nameraného azimutu a vzdialenosti.

4.2. Metóda merania na každom vrchole

buzolového ťahu s dodržaním krajnej dovolenej odchýlky

Pri meraní týmto spôsobom bolo kontrolované držanie krajnej dovolenej odchýlky medzi priamym a obráteným azimutom tej istej strany buzolového ťahu. Keďže elektronický kompas MapStar Compass Module meria a zobrazuje uhlové miery v desiatinnom tvare, bola krajná odchýlka vyjadrená hodnotou 0,43 stupňa čo predstavuje hodnotu 26'. Pre splnenie tejto podmienky bolo nutné niektoré azimuty premerať viac krát, čo sa nega-

tívne prejavilo na časovej náročnosti merania. Pri použití tejto metódy merania boli dosiahnuté výsledky uvedené v tabuľke 3.

Na základe celkových výsledkov metódy merania na každom vrchole s dodržaním krajnej dovolenej odchýlky, môžeme konštatovať, že všetky výsledky spĺňajú kritérium pre piatu triedu presnosti katastrálneho mapovania, dokonca pri vynesení výsledkov polárnou metódou bola dosiahnutá štvrtá trieda presnosti a výsledok prekročil kritérium pre tretiu triedu presnosti len o 0,9 cm. Pozoruhodné je aj to, že pri polárnej metóde, kde sa body navzájom neovplyvňujú, bolo pri buzolovom ťahu č. 1 a 2 splnené kritérium pre 3. triedu presnosti katastrálneho mapovania ($m_{xy} < 0,14$ m), resp. pri ťahu č. 1 dokonca kritérium pre 2. triedu presnosti ($m_{xy} < 0,08$ m). Dôležitý je aj poznatok, že pri buzolových ťahoch č. 2, 3 a 4 pri vyrovnaní cez zápisníky v MS Excel, došlo po vyrovnaní k zvýšeniu hodnoty strednej polohovej chyby. Pravdepodobne je to spôsobené výskytom ojedinelých extrémnych hodnôt chýb na jednotlivých vrchoch buzolových ťahov, ktoré v procese vyrovnaní ovplyvnia hodnoty bodov, ktoré boli namerané presnejšie. F-test v tomto prípade nepreukázal štatisticky významný rozdiel stredných polohových chýb dosiahnutých bez vyrovnaní a s použitím dĺžkového vyrovnaní. Polárnu metódu s použitím správnych polôh stanovísk ale môžeme považovať za jednoznačne presnejšiu. Aj pri metóde merania na každom vrchole s dodržaním krajnej dovolenej odchýlky bola zisťovaná chyba v polohovom uzávere pre jednotlivé buzolové ťahy a zistené výsledky sú nasledovné: ťah č. 1 – 0,831 m (t. j. 0,08 % z celkovej dĺžky buzolového ťahu), ťah č. 2 – 1,417 m (t. j. 0,24 %), ťah č. 3 – 1,501 m (t. j. 0,35 %) a ťah č. 4 – 0,5612 m (t. j. 0,28 %). V prí-

Tabuľka 4. Popisné štatistické charakteristiky azimutov a dĺžok pre metódu merania na každom vrchole
Table 4. Descriptive statistical characteristics of azimuths and lengths for the measurement method on the every stand

n = 73	Priemer ¹⁾	Minimum	Maximum	Smerodajná odchýlka ²⁾
Dĺžka [m] ³⁾	30,283	12,020	78,805	12,751
Azimut [°] ⁴⁾	210,590	13,610	356,055	88,638
Chyba dĺžka [m] ⁵⁾	-0,013	-0,555	0,605	0,128
Chyba azimut [°] ⁶⁾	-0,079 ^(s)	-1,208	0,962	0,329
Absolútna chyba dĺžka [m] ⁷⁾	0,067	0	0,605	0,109
Absolútna chyba azimut [°] ⁸⁾	0,221	0,001	1,208	0,256

¹⁾Average, ²⁾Standard deviation, ³⁾Length, ⁴⁾Azimuth, ⁵⁾Length error, ⁶⁾Azimuth error, ⁷⁾Absolute length error, ⁸⁾Absolute azimuth error

pade ťahov č. 2 a 3 došlo znovu k zhoršeniu aj oproti hodnotám, ktoré boli získané metódou „s preskáčkou“. To znamená, že presnosť vyjadrená strednou polohovou chybou m_{xy} a presnosť vyjadrená hodnotou polohového uzáveru nie sú priamo úmerné. Pri meraní a vyhodnocovaní buzolového ťahu č. 4 sa potvrdil vplyv objektov, ktoré ovplyvňujú zemský magnetizmus. Pri vyhodnotení výsledkov bola zistené, že najväčšie chyby vznikli na bodoch 35A a 36, ktoré sú v tesnej blízkosti oplôtku. Najväčšia odchýlka, až 1,2°, vznikla na bode č. 36.

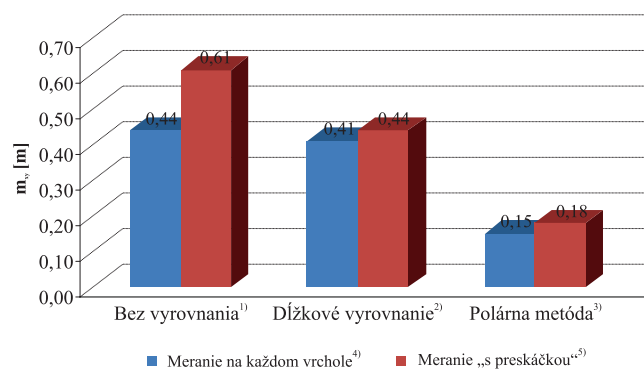
Pri porovnaní početností kladných a záporných chýb sa pri chybách meraných dĺžok, ako aj chybách azimutov, vyskytol väčší počet záporných hodnôt (chyby dĺžok $n+ = 24$, $n- = 49$, chyby azimutov $n+ = 29$, $n- = 44$). To naznačuje možnosť výskytu systematického vychýlenia. Pri testovaní sa výskyt systematickej chyby potvrdil na nameraných azimutoch ($t = 2,028 > t_{\alpha/2;f} = 1,993$). Hodnoty azimutov boli podhodnotené v priemere o 0,08°. Nakoľko sa ale systematická chyba azimutov nepotvrdila aj pri meraní „s preskáčkou“, ju treba preveriť ďalšími meraniami. Popisné štatistické charakteristiky pre uvádzané veličiny sú uvedené v tabuľke 4.

Na základe dodržania kritéria krajnej dovolenej odchýlky azimutov došlo k zlepšeniu základných štatistických charakteristík a to pri priemernej absolútnej hodnote dĺžkovej chyby o 6,6 % oproti metóde „s preskáčkou“. Pri priemere absolútnej hodnoty chyby nameraných azimutov toto zlepšenie predstavuje 33 % oproti merania „s preskáčkou“. Nižšie sú aj hodnoty smerodajnej odchýlky, ktoré určujú rozptyl hodnôt okolo strednej hodnoty. Použitie metódy s dodržaním krajnej dovolenej odchýlky spôsobilo zlepšenie výsledkov presnosti oproti predchádzajúcej metóde, aj keď použitím tejto metódy sa zväčšila časová náročnosť merania z dôvodu zvýšenej potreby opakovaných meraní.

4.3. Celkové zhodnotenie výsledkov

Celkovo boli pri buzolovom meraní s použitím rôznych metód merania a vyhodnotenia dosiahnuté výsledky uvedené na obrázku 1. Pri zhodnotení všetkých výsledkov je možné konštatovať, že pre jednotlivé metódy merania vstupných údajov bolo dosiahnuté z hľa-

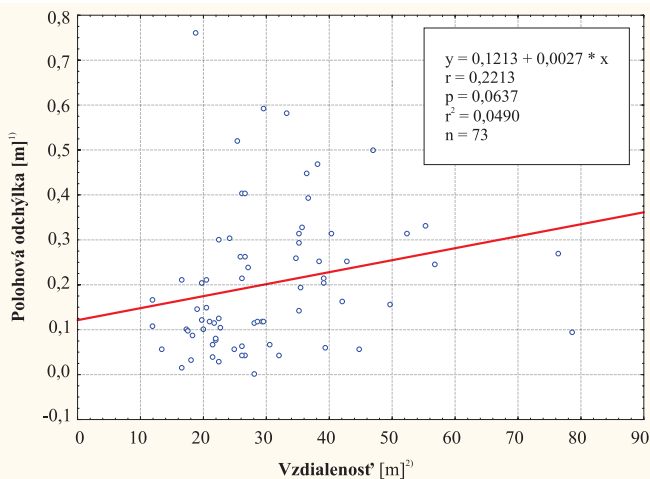
diska presnosti predpokladané poradie. Oproti meraniu na každom vrchole s dodržaním krajnej odchýlky je meranie „s preskáčkou“ menej presné. Pri testovaní F-testom sa tento rozdiel potvrdil pri výpočte súradníc meraných bodov bez vyrovnania. Pri ostatných metódach výpočtu zvýšenie presnosti nemožno považovať za štatisticky významné. Z metód vyhodnotenia výsledkov sa podľa predpokladov ukázala ako najmenej presná metóda, pri ktorej sú body vynášané postupne pomocou ich polárnych súradníc bez akéhokoľvek vyrovnania. Hlavné využitie tejto metódy je pri negeodetickom využití buzolového merania. Jej spojením s metódou merania „s preskáčkou“ možno aj pri dĺžke ťahu asi 1 000 m dosiahnuť strednú polohovú chybu pod jeden meter. Druhou metódou výpočtu v poradí presnosti je výpočet cez dĺžkové vyrovnanie v prostredí MS Excel. Pri tejto metóde je nutné poznať súradnice počiatočného aj koncového bodu pripájacieho bodu buzolového ťahu. Výpočtová tabuľka bola navrhnutá tak, aby poskytovala čo najväčší užívateľský komfort pri zadávaní údajov. Do



Obr. 1. Priemerné hodnoty stredných polohových chýb zo všetkých pokusných ťahov pri použitých metódach merania a výpočtu (n = 73)

Fig. 1. Average values of mean position errors of all compass courses for used measurement and computation methods (n=73)

¹⁾Without adjustment, ²⁾Length adjustment, ³⁾Method of polar coordinates, ⁴⁾Measurement on the every stand, ⁵⁾Measurement on the every other stand



Obr. 2. Znáročenie korelácie medzi meranou vzdialenosťou a polohovou odchýlkou meraného bodu

Fig. 2. Correlation between length and positional error of the measured point

¹⁾Position error, ²⁾Length

tabuľky je treba zadávať len základné vstupné údaje (čísla bodov, dĺžky, azimuty, súradnice pripájacích bodov a orientačnú odchýlku), bez potreby ich upravovania. Údaje sa vkladajú v tvare, ktorý priamo poskytuje elektronický kompas a laserový diaľkomer. Spracovanie výsledkov, ich výpočet a vyrovnanie prebieha zároveň s ich zadávaním do tabuľky. Použitím tejto metódy spracovania výsledkov bola pri oboch metódach merania dosiahnutá piata trieda presnosti katastrálneho mapovania. Jednou z nevýhod tejto metódy je, že v prípade chybných nameraných azimutov a vzdialeností sa chyba rozloží medzi všetky ostatné aj správne namerané hodnoty. Z toho zrejme vyplýva aj výskyt väčších hodnôt strednej polohovej chyby pri meraní na každom vrchole s použitím dĺžkového vyrovnania v porovnaní s výpočtom bez vyrovnania. Metódy vyrovnania sú navrhnuté s ohľadom na splnenie stanovených kritérií, ale z praktického dôvodu musia byť určitým spôsobom zovšeobecnené (napr. rátajú s lineárnym nárastom chýb). To v konečnom dôsledku v niektorých prípadoch môže mať negatívny vplyv na dosiahnutú presnosť.

Najpresnejšia je metóda polárnych súradníc s použitím správnych polôh stanovísk. Jej využitie v geodetickej praxi je nereálne, pretože súradnice lomových bodov ťahu nie sú dopredu známe. Je však dôležitá, pretože udáva presnosť výpočtu, pri ktorom sa chyby v meraní vstupných údajov na jednotlivých bodoch navzájom neovplyvňujú. Využitie poznatkov tejto metódy vyhodnotenia buzolového merania sa dá použiť v prípade, keď buzolové meranie skombinujeme s inými metódami merania vstupných údajov ako sú napríklad metódy založené na GNSS. Pri ich použití by boli stanoviská pre buzolové meranie zakladané pomocou GNSS na miestach s dobrým príjmom signálu zo satelitov a podrobné

meranie v lesnom poraste kde je príjem GNSS signálu problematický, by sa vykonávalo pomocou buzolových prístrojov. Tým by sa mohla zvýšiť výsledná presnosť merania.

Pri ťahovom vyrovnaní buzolového merania sa ukázal ako výrazný problém výskyt veľkých hodnôt chýb nameraných azimutov pre niektoré body. Ako vidno z tabuliek 2 a 4, hodnota maximálnej absolútnej chyby v azimute nadobúda hodnotu 1,06; resp. 1,21 stupňa. Z uvedeného vidno, že ani dodržiavanie prísnych kritérií pri kontrole nameraných azimutov nepomohlo úplne vylúčiť chyby podobných hodnôt, pomohlo však znížiť frekvenciu výskytu takýchto chýb. Pri metóde merania „s preskáčkou“ sa pri meraní azimutov vyskytla chyba väčšia ako 0,5° 15-krát, pričom pri metóde merania na každom vrchole s dodržaním krajnej odchýlky iba 7-krát. Pri porovnaní metód merania sa takéto chyby vyskytli na rozličných bodoch. Výnimku tvorí buzolový ťah č. 4, na ktorom sa extrémne hodnoty vyskytli na rovnakých miestach. V prípade merania „s preskáčkou“ ich počet bol šesť na rozdiel od merania na každom vrchole, kde bolo o jednu chybu menej. Nakoľko sa v praxi prítomnosť takejto chyby nedá zistiť, pretože pri meraní nepoznáme správne hodnoty azimutov, je potrebné ďalším výskumom zistiť, príčinu vzniku chýb a akým spôsobom sa im môžeme vyvarovať. Podľa predpokladu sa ako problematický pri meraní azimutov potvrdil buzolový ťah č. 4, ktorého časť sa nachádzala v blízkosti oplôtka z pletiva Na základe hodnôt strednej polohovej chyby tohto ťahu vidno, že aj keď sa jedná o najkratší buzolový ťah, stredná polohová chyba m_{xy} je rovnaká alebo v niektorých prípadoch aj väčšia ako pri buzolových ťahoch, ktoré sú o veľa dlhšie. Na základe týchto skúseností, je odporúčaním pre prax prehodnotiť a dodržiavať (ak nie sprísniť) požiadavky na bezpečnú vzdialenosť od rušivých objektov aj pri použití elektronických pomôcok pre buzolové meranie.

Na základe predpokladu, že zväčšovanie vzdialenosti pri meraní negatívne ovplyvňuje určenie správnej polohy bodu bol vypočítaný korelačný koeficient, koeficient determinácie a bol vytvorený graf závislosti medzi dĺžkou meranej strany a polohovou odchýlkou určovaného bodu. Z obrázka 2 a hodnôt $r = 0,221$ a $r^2 = 0,049$ možno usúdiť, že meraná vzdialenosť ovplyvňuje polohovú odchýlku pri použití laserového diaľkomera Impulse LR200 iba v malej miere. Dôležité je podotknúť, že sa vo väčšine jednalo o vzdialenosti do 50 m. Meranie väčších vzdialeností v lesnom prostredí a s použitím monopodu je veľmi obtiažne. Pre úplnosť by bolo vhodné doplniť aj hodnoty vzdialeností 0 – 10 m, ktoré sú najmä vo výskume pomerne bežné. Pri geodetickom využití sa však s týmito hodnotami dĺžok strán nestretávame.

5. Záver

Dosiahnuté hodnoty stredných polohových chýb poskytujú informácie o prakticky dosiahnuteľných rámcach

chýb, ktoré možno so 68 % pravdepodobnosťou očakávať pri použití uvedeného laserového diaľkomera a elektronického kompasu. Výsledná chyba môže vždy obsahovať zložku náhodnú a systematickú. Systematická chyba so zvyšovaním počtu meraní zostáva konštantná a preto je nutné sa jej pri meraní vyhnúť. Tomu bola prispôbená aj metodika predkladanej práce. Z praktického hľadiska by mal byť každý meračský prístroj pred zaradením do rutínnej prevádzky preverený z hľadiska prítomnosti systematickej chyby (vychýlenia).

Pri porovnaní výsledkov s inými prácami, skúmajúcimi buzolové meranie pomocou elektronických pomôcok (TOMAŠTÍK, 2009; TOMAŠTÍK, ŽÍHLAVNÍK, Š., 2011), boli dosiahnuté výsledky odlišujúce sa rádovo iba o niekoľko centimetrov. Porovnanie s prácami zahraničných autorov je veľmi obtiažne, nakoľko presnosti buzolového merania sa venujú minimálne a používajú odlišnú metodiku, napr. POTOČNIK (2010) porovnáva buzolové meranie s meraním pomocou GNSS a meraním tachymetrom, avšak výsledky prezentuje v grafickej forme, bez udania číselných diferencií. Na základe nami dosiahnutých výsledkov je teda možné konštatovať, že pri použití vhodnej metódy merania a vyhodnotenia je buzolové meranie aj pri použití elektronických pomôcok použiteľné pre lesnícke mapovanie, nakoľko bolo splnené kritérium pre 5. triedu presnosti mapovania. Je však dôležité pripomenúť, že vypočítané odchýlky sa vzťahujú na porovnávací základ získaný elektronickým tachymetrom, ktorý tiež nemožno považovať za absolútne presný. Výhodou oproti polygonizácii 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. Naopak, postupom času sa strácajú niektoré výhody, napr. kedysi pomerne zložité nastavovanie nulového uhla pri použití teodolitu je v súčasnosti už veľmi jednoduchou záležitosťou. V súčasnosti je ale napriek uvedeným výsledkom oblasť efektívneho využitia buzolového merania obmedzená viac-menej iba na meranie pod clonou lesného porastu. Príčinou je jednak vysoká efektívnosť fotogrametrického vyhodnotenia prvkov, ktoré sú na snímkach identifikovateľné a zároveň možnosť využitia globálnych navigačných satelitných systémov, ktoré na ploche s bezproblémovým príjmom signálu dosahujú ešte vyššiu presnosť, pričom aj časová náročnosť merania je nižšia v porovnaní s buzolovým meraním. Buzolové meranie v intravilánoch je v súčasnosti prakticky nemožné kvôli veľkej hustote objektov ovplyvňujúcich prirodzený zemský magnetizmus. Potenciál pre zvýšenie presnosti je 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 ale fakt, že pri lesníckom mapovaní sa

jedná zväčša o líniové prvky, ktoré nie je možné zamerať z jedného stanoviska.

Pri pripojenom buzolovom meraní je veľmi dôležité uvažovať s hodnotou orientačnej odchýlky. Pri slabšej znalosti problematiky sa táto často zamieňa s hodnotou magnetickej deklinácie, ktorá ale tvorí iba jednu jej časť. 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 konvergenencie, ktoré sa dajú vypočítať na základe pravouhlých súradníc.

V súčasnosti sa buzolové meranie používa viac 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. Po súčte dosiahnutých stredných polohových chýb pre vnesenie bodov bez vyrovnania (pri výskume použité na tvorbu stanovisk prístroja, tzv., referenčných bodov) a vyhodnotenia metódou polárnych súradníc s použitím správnych polôh stanovisk (pri výskume zameranie polôh kmeňov stromov, korunových projekcií a pod.) je stredná polohová chyba stále menšia ako 1 meter, čo môže byť pre niektoré úlohy výskumu dostačujúca presnosť. Avšak vo výskume a pri inventarizácii existujú aj úlohy, kde dosiahnuté hodnoty presnosti nemusia byť vyhovujúce. Jedná sa napr. o určenie tzv. hraničných stromov pri výskume a inventarizácii, kde môže byť rozhodujúca aj hodnota jedného centimetra. Najmä v prípadoch, keď sa jedná o malý výber, môže táto chyba po zovšeobecnení spôsobiť veľkú odchýlku od reálnych hodnôt. Na tento problém poukazujú už ŠEBEŇ *et al.* (2006), ktorí pri navigácii na vzdialenosť 20 – 60 metrov udávajú maximálnu odchýlku do 10 centimetrov a pri vytyčovaní inventarizačných plôch (polomer 12,62 m) max. 5 cm a len výnimočne do 10 cm. Nakoľko sa ale jedná o chyby náhodného charakteru, ich vplyv sa so zväčšovaním počtu meraní znižuje. Ďalšími úlohami, kde je potrebná vysoká presnosť a bolo by možné použiť buzolové meranie, je napr. vytyčenie výskumnej plochy, presná navigácia na bod, ktorý nie je viditeľne signalizovaný a podobne.

V oblasti výskumu a inventarizácie buzolové meranie úspešne nahrádza doteraz používané meračské metódy, ktoré boli 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 diaľkomera a elektrického kompasu oveľa menej prácne a časovo náročné. Pri použití vhodného špecializovaného softvéru na spracovanie nameraných údajov je buzolové meranie vhodnou metódou na zisťovanie stavu lesa, čo zároveň predstavuje perspektívu aj pre zachovanie a ďalší vývoj pomôcok pre buzolové meranie.

PodĎakovanie

Práca vznikla vďaka Európskemu fondu regionálneho rozvoja v operačnom programe Výskum a vývoj v rámci Centra excelentnosti pre podporu rozhodovania v lese a krajine na TU a NLC Zvolen, v aktivite 3.1 Experimentálna a metodická základňa precízneho lesníctva (Agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR pre štrukturálne fondy EU, kód ITMS projektu 26220120069).

Literatúra

- BOHM, J., RANDOUC, V., HAMPACHER, M., 1990: Teorie chýb a vyrovnávací počet. Praha, s. 1-148, 358-359.
- BUKSHA, I., ČERNÝ, M., 2010: An experience use of GIS Field-Map in forest inventory. In: *Materials V International scientific – practical conference «New technologies in geodesy, land management and nature»* (Uzhgorod, 28–30 October, 2010). – Uzhgorod: Issue UzNU «Hoverla», p. 142-146.
- ČERNÝ, M., BUKSHA, I. F., PASTERNAK, V.P., 2006: Usage of field technology Field-Map in forest management and nature protection. Geoinformatics, Kiev, Ukraine.
- CHUDÝ, F., KARDOŠ, M., TOMAŠTÍK, J., 2006: Nové trendy buzolového merania lesníckeho detailu. In: *Acta Facultatis Forestalis Zvolen*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene.
- KUCBEL, S., JALOVÍAR, P., SANIGA, M., VENCURIK, J., KLIMAŠ, V., 2009: Canopy gaps in an old-growth fir-beech forest of remnant Western Carpathians. *European Journal of Forest Research*, 129(3): 249-259. Dostupné na internete: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10342-009-0322-2>, Springer Berlin / Heidelberg.
- O'DONOVAN, CH., 2007: Introduction to Ireland's NFI. In: *National Forest Inventory Republic of Ireland – Proceedings of NFI Conference*, Forest Service, Department of Agriculture, Fisheries and Food, Johnstown Castle Estate, Co. Wexford, Ireland, 93 pp.
- POTOČNIK, I., 2010: Use of various geodetic methods in forest engineering. In: *First serbian forestry congress*, zborník, University of Belgrade, Faculty of Forestry, p. 542-552.
- SOKOL, Š., MAGULA, V., FABIÁN, 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: *Envirofórum 2006*. Odborné fórum o dostupnosti environmentálnych informácií a využívaní informačných technológií pri ich spracovaní, 10. – 20. 10. 2006, Zvolen, s. 175-185.
- ŠMELKO, Š., 1995: Štatistické metódy v lesníctve. Vysokoškolská učebnica, Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 276 s.
- , 2007: Dendrometria. Vysokoškolská učebnica, Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 400 s.
- , MERGANIČ, J., 2008: Some methodological aspects of the National Forest Inventory and Monitoring in Slovakia. *Journal of Forest Science*, 54(10): 476-483.
- TOMAŠTÍK, J., 2009: Problematika určovania hraníc jednotiek priestorového rozdelenia lesa v lesníckom mapovaní. Zvolen (Doktorandská dizertačná práca), Zvolen, LF TU vo Zvolene, 141 s. Doktorandská dizertačná práca, LF TU Zvolen
- ŽIHLAVNÍK, Š., 2011: Racionalizácia prác pri mapovaní lesníckeho detailu. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 83 s.
- TURČAN, T., 2010: Banícka a hutnícka minulosť Slovenska v kartografických pamiatkach. Košice, Východoslovenské tlačiarne, 191 s. STN 013410 Mapy veľkých mierok – základné a účelové mapy, ÚGKK SR, 1990, 20s.
- ŽIHLAVNÍK, Š., 2009: Geodézia, fotogrametria a mapovanie v lesníctve. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 387 s.

- , 2012: Problematika katastrálneho mapovania v lesných porastoch. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 80 s.
- , CHUDÝ, F., KARDOŠ, M., 2005: Digitálna fotogrametria v lesníckom mapovaní. Vedecké štúdie. Zvolen : TU vo Zvolene, 99 s.

Summary

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

The experimental material consisted of 73 measured points, formed into 4 compass courses. Two methods of compass measurement were used. The first was the measurement on every stand that is more precise; azimuths and lengths can be controlled, but it is more time consuming. The second – measurement on the every other stand is faster, but there is no possibility to control the measured data. Also three other methods of computation were used. The computation without adjustment was based on “raw” azimuths and lengths. This method is used in forestry research, where none of the geodetic adjustments are used. The second was the computation with 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. The last computation method was based also on azimuths and lengths taking out, but with the use of correct point coordinates. Results of this method can be used in application of combination of compass measurement with other measurement methods (for example GNSS). Using this method, coordinates of computed points do not depend on each other. The results for the measurement on every other stand, according to computation method can be seen in Table 1. The results for the measurement on every stand, according to computation method can be seen in Table 3. According to the assumption, the measurement on the every stand is more precise. Computation methods also achieved expected order. The summary results are shown in Figure 1. Basic statistic characteristics of measured azimuths and lengths can be seen in tables 2 and 4. The main result of this analysis was that the major problem is the appearance of accidental high errors in measured azimuths (over 1 degree). Identification of the source of those errors needs to be the subject of additional research.

The achieved results showed, that according to accuracy, compass measurement is still applicable in both forestry mapping and research. But, on the basis of achieved results, this method is not very perspective in forestry mapping, what originates in very narrow spectrum of efficient applicability. Two reasons are crucial. The first – the compass measurement is highly laborious in urbanized environment, where there are often factors impacting magnetism. The second – 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 effectively, is the measurement under the tree coverage, but here also only if there is no need of cadastral accuracy. 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, currently there is no other more efficient method for this kind of measurement.

Translated by authors
Revised by J. Lásková