

MERANIE HRANÍC LESNÝCH POZEMKOV S VYUŽITÍM METÓD DRUŽICOVEJ A TERESTRICKEJ GEODÉZIE PRE ZVYŠOVANIE EFEKTÍVNOSTI LESNÍCKEHO MAPOVANIA

Ľubomír SMAŽÁK¹

¹ Katedra hospodárskej úpravy lesa a geodézie, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene,

T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovenská republika

lubo.smazak@gmail.com

Abstrakt

Príspevok sa zaoberá problematikou merania hraníc lesných pozemkov a určovaním geodetických bodov v zalesnených územiach. Cieľom práce bolo posúdenie polohovej presnosti určenia lomových bodov hranice lesného pozemku jednotlivými technológiami merania GNSS, ktoré boli predtým vytyčené kombináciou statickej metódy GNSS a metódy polárnych súradníc s využitím univerzálnej meračskej stanice Topcon GPT 9003M. Pre tento účel bolo použitých viacero metód kinematického merania GNSS a tiež rôzne typy prístrojov GNSS (Topcon HiperGGD, Trimble GeoExplorer 6000). Rozbory presnosti uvádzané v práci preukázali, že použitie metód GNSS s veľmi krátkou observačnou dobou plne postačuje pre mapovanie na voľnom priestranstve v prípadoch, kde je požadovaná 4. trieda presnosti katastrálneho mapovania ($u_{xy} = 0,26$ m, $u_v = 0,18$ m). V prípade polohopisného mapovania spĺňa na voľnom priestranstve kritériá kladené 3. triedou presnosti mapovania ($u_{xy} = 0,14$ m). V podmienkach lesných priesekov je táto metóda vhodná hlavne pre mapovanie lesného detailu, ktorý nie je podkladom pre tvorbu základnej lesníckej mapy. Zo získaných výsledkov je zároveň možné konštatovať, že pre mapovanie a vytyčovanie vlastníckych hraníc pod clonou lesného porastu nemožno použiť samostatné meranie prijímačmi GNSS. Naďalej bude potrebné používanie aj klasických terestrických metód, najmä polygónových ťahov s krátkymi dĺžkami strán a polárnej metódy.

Abstract

The article deals with measurements of the forest land and the determination of geodetic points in forested areas. The aim of work was to assessment of positional accuracy of determining break points boundary of forest land with different GNSS technologies that were previously set out as combination of static methods and techniques GNSS polar coordinates using the universal surveying station of Topcon GPT 9003M. For this purpose, were used several methods of kinematic GNSS measurements and also different types of devices GNSS (HiperGGD Topcon, Trimble GeoExplorer 6000). The accuracy analyses presented in the work showed that using methods GNSS with very short period of observation suffices fully for mapping in terms of open area in cases where the 4th class of the cadastral mapping accuracy ($u_{xy} = 0,26$ m, $u_v = 0,18$ m) is required. In case of planimetric mapping the mentioned method fulfils the criterions of the 3rd class of mapping accuracy ($u_{xy} = 0,14$ m) in terms of open area. In terms of forest rides the method is appropriate for mapping of forest detail which is not used for the production of forest basemap. The obtained results suggest that for mapping and surveying property boundaries under a forest canopy cover can not use a separate measurement of GNSS receivers. It will continue to use of a conventional terrestrial methods, in particular polygon moves with short lengths of sides and polar methods.

Kľúčová slová: meranie, GNSS, pozemok, lomový bod, hranica.

Keywords: measurement, GNSS, land, break point, boundary.

1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Vďaka neustálemu vývoju meračských metód prechádza lesnícke mapovanie výraznými zmenami, výsledkom, ktorých je plná digitalizácia mapovania a vysoký stupeň automatizácie prác. V súčasnosti k najpoužívanejším metódam v rámci lesníckeho mapovania patria metódy fotogrametrické, určovanie polohy pomocou globálnych navigačných satelitných systémov (GNSS) a ich kombinácie s klasickými terestrickými metódami. Využívanie metód globálnych navigačných satelitných systémov (GNSS) predstavuje v súčasnosti jednoduchý a efektívny prostriedok pre získavanie údajov, ktoré sú dôležité pre potreby mapovania, na ktoré sa vzťahuje vysoká presnosť určenia polohy bodov v teréne. Použitie tejto metódy v podmienkach lesného prostredia má svoje nevýhody z toho dôvodu, že prijímaný satelitný signál je narušovaný charakteristickými znakmi porastu, ako je rastová fáza, zápoj, zakmenenie a i. Na otvorených priestranstvách sa dosahuje vysoká presnosť, na ktorú nemá vzdialenosť medzi meranými bodmi žiadny, resp. zanedbateľný vplyv.

Pri meraní a vytyčovaní hraníc pozemkov treba zvoliť vhodný postup v závislosti od prostredia. Pri lesných pozemkoch najviac negatívne vplyva lesný porast, ktorý obmedzuje výber vhodných metód. Z pohľadu vytyčovania hraníc pozemkov v lesnom prostredí, pri dodržaní požiadaviek na presnosť sa ako vhodná metóda používa najmä kombinácia technológie GNSS na voľnom priestranstve s metódou polárnych súradníc (rajón, polygónový ťah) v nadväznosti v lesnom prostredí (napr. ŽIHLAVNÍK 2008; MELUŠ 2008; HALVOŇ 2007; CHUDÝ 2012).

Záverov mnohých výskumov ale ukazujú, že samotné použitie GNSS v lesnom prostredí nie vždy poskytuje výsledky s požadovanou presnosťou. Významnou obmedzujúcou podmienkou úspešného využívania GNSS metód je priama viditeľnosť so satelitmi, ktorá je v lesnom prostredí znižovaná vplyvom clony lesného porastu a členitého reliéfu, napr. (FAŠKO M 2008, WING; M. G. 2011; KAMENSKÝ 2011) čo v niektorých prípadoch môže spôsobovať aj úplné zablokovanie prijímaných signálov. Z toho dôvodu je potrebné preskúmať a overiť použiteľnosť jednotlivých metód GNSS v rôznych podmienkach. Pritom sa netreba sústrediť len na presnosť, ktorá môže byť dosiahnuteľná ale zhodnotiť aj hospodárnosť a ekonomickú náročnosť jednotlivých metód a postupov.

1.1 Polohové geodetické body

Polohové geodetické body sú dôležitým podkladom pre polohopisné merania. Ich poloha sa v súčasnosti v SR vyjadruje pravouhlými rovinnými súradnicami x, y, v súradnicovom systéme Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej (S-JTSK). Súradnice bodov sa môžu určovať aj v lokálnych systémoch, ktoré sa tvoria podľa potreby a účelu použitia (ak nie je požiadavka pripojiť meranie na štátne mapové dielo). Súradnice nových bodov sú určované na základe merania uhlov a dĺžok medzi danými bodmi už jestvujúceho bodového poľa so známymi súradnicami a určenými bodmi. (ŽIHLAVNÍK, Š., 2004).

Polohové bodové pole na Slovensku rozdeľujeme na: (podľa BITTERER, L., 2003).

- základné polohové bodové pole (ZPBP),
- podrobné polohové bodové pole (PPBP).

Tab 1. Rozdelenie polohových geodetických bodov, ktoré vytvárajú polohové bodové polia

Základné polohové bodové pole (ZPBP)	Body Štátnej trigonometrickej siete (ŠTS)	
Podrobné polohové bodové pole (PPBP)	Pevné body podrobného polohového bodového poľa (PBPP) -bez rozdielu v spôsobe určenia	Triedy presnosti 1 až 5
	Dočasne stabilizované body -nie sú predmetom STN 73 04 15	Triedy presnosti 2 až 5

Pre lesnícke mapovanie v rámci TŠMD LH bola stanovená 5. trieda presnosti. Inštrukcia na tvorbu Základnej mapy SR veľkej mierky 984 211 I/94 (1993) zrušila túto triedu presnosti a dovoľuje vyhotovenie základnej

mapy najviac do 4. triedy presnosti. Preto sa pri lesníckom mapovaní postupuje v zmysle STN 01 3410 Mapy veľkých mierok – základné a účelové mapy. Táto norma určuje pre 5. triedu presnosti strednú súradnicovú chybu $m_{xy} = 0,50$ m. Keďže výškopis sa preberá z topografických máp, podľa tejto normy sa presnosť výškopisu neposudzuje. Aktualizuje sa však podľa novovzniknutého tvaru reliéfu a v zhode s novým polohopisom. V prípade zriaďovania podrobných geodetických bodov treba brať do úvahy, že STN 73 0415 Geodetické body (2011), ktorá v plnom rozsahu nahrádza STN 73 0415 Geodetické body (1979) stanovuje už len 3 triedy presnosti (pre strednú súradnicovú chybu m_{xy} 20 mm , 40 mm a 60 mm a pre strednú výškovú chybu m_h : 15 mm , 25 mm a 50 mm).

Z pohľadu geodetických prác v lesníctve možno merania lesníckeho detailu podľa požadovanej presnosti rozdeliť do dvoch skupín:

1. skupina sú vlastnícke hranice tých lesných pozemkov, ktoré si vyžadujú meranie, resp. vytyčovanie s presnosťou podľa katastrálneho mapovania,
2. skupinu predstavuje lesný detail, ktorý je podkladom pre tvorbu účelových lesníckych máp s nižšími požiadavkami na presnosť.

Tab. 2 Triedy presnosti mapovania - STN 01 3410 ZÚM

Triedy presnosti	m_{xy}
1. trieda	0,04 m
2. trieda	0,08 m
3. trieda	0,14 m
4. trieda	0,26 m
5. trieda	0,50 m

Presnosť podrobných geodetických bodov sa určuje podľa účelu použitia v troch triedach presnosti (tab.3). Uvedené kritériá vyjadrujú presnosť určenia podrobných geodetických bodov vzhľadom na najbližší bod geodetickej referenčnej siete. Podrobný geodetický bod vyššej triedy presnosti nie je možné určiť z podrobného geodetického bodu nižšej presnosti.

Tab. 3 Triedy presnosti PGB - STN 73 0415 Geodetické body

Triedy presnosti	Stredná súradnicová chyba σ_{xy} (mm)	Stredná výšková chyba σ_h (mm)
1.	20	15
2.	40	25
3.	60	50

2 SPÔSOBY URČOVANIA BODOV PPBP A POSÚDENIE VHODNOSTI PRE MERANIE V LESNÝCH PORASTOCH

Vzhľadom na charakter a náročnosť prostredia, v ktorom sa lesnícke mapovanie vykonáva najviac bola a je kombináciu polohopisnej a výškopisnej metódy merania, napr. metódou polárnych súradníc spojenou využívaná letecká stereofotogrametria doplnená terestrickým zameraním, na leteckých meračských snímkach neviditeľným detailom. V súčasnosti sa pri tvorbe TŠMD používa digitálna stereofotogrametria a klasické terestrické meranie nahrádzajú metódy založené na globálnych navigačných satelitných systémoch (GNSS) predovšetkým GPS a v poslednej dobe aj GLONASS.

Na určovanie pravouhlých súradníc bodov PPBP sa v jednotlivých triedach presnosti v zmysle inštrukcie (1994) používajú tieto spôsoby:

- polygónovými ťahmi s dlhými stranami meranými elektronickými diaľkomermi,
- smerovým pretínaním napred a kombinovaným pretínaním,
- pretínaním z dĺžok meranými elektronickými diaľkomermi,

- rajónmi meranými elektronickými diaľkometermi,
- pomocou globálneho systému určovania polôh (GPS),
- trojuholníkovými reťazcami,
- pretínaním nazad (výnimočne),
- polygónové ťahy s kratšími dĺžkami strán,
- fotogrametricky.

Tab. 4 Prehľad spôsobov určovania PPBP v jednotlivých triedach presnosti

Trieda presnosti	Spôsoby určovania
1	<ul style="list-style-type: none"> - Polygónové ťahy – dĺžky merané elektronickými dĺžkometermi - Pretínanie napred zo smerov - Pretínanie napred z dĺžok - Rajóny - GPS
2	<ul style="list-style-type: none"> - Spôsoby uvedené v 1. triede presnosti, - Trojuholníkové reťazce - Pretínanie nazad
3	<ul style="list-style-type: none"> - Spôsoby uvedené v 2. triede presnosti - Polygónové ťahy merané dvojobrazovými dĺžkometermi
4	<ul style="list-style-type: none"> - Spôsoby uvedené v 3. triede presnosti - Polygónové ťahy – dĺžky merané dvojobrazovými dĺžkometermi - Fotogrametricky
5	<ul style="list-style-type: none"> - Fotogrametricky - Nevylučuje sa možnosť iného geodetického určenia

2.1 Globálne navigačné satelitné systémy (GNSS)

Globálne navigačné satelitné systémy sa vo všeobecnosti skladajú z troch segmentov – vesmírneho, riadiaceho a užívateľského. (obr. 1) Vesmírny segment je tvorený sústavou umelých družíc obiehajúcich okolo Zeme po presne určených, zadefinovaných obežných dráhach. Riadiaci segment sa skladá z pozemných staníc plniacich nasledovné úlohy:

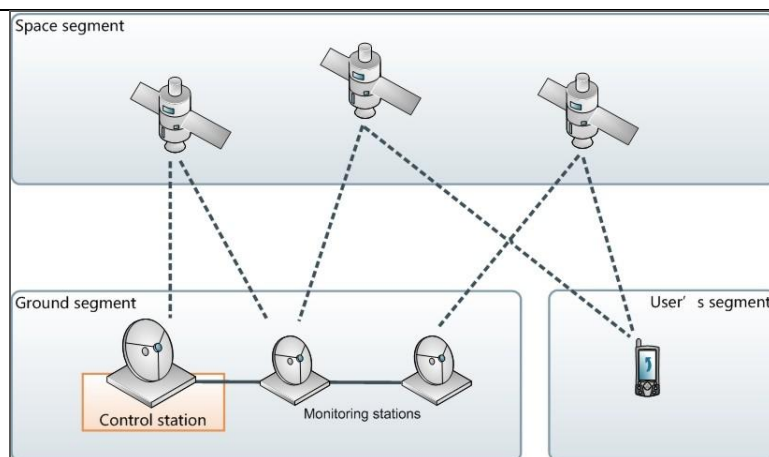
- nepretržité monitorovanie a riadenie činnosti celého systému,
- určovanie systémového času GNSS,
- predpovedanie dráhy družíc a chodu hodín na družiciach,
- pravidelné obnovovanie navigačnej správy pre každú družicu ,
- sledovanie stavu družíc a ich údržba ,

Riadiaca zložka je spravidla tvorená troma typmi staníc:

Monitorovacie stanice – monitorujú signály vysielané kozmickým segmentom a prenášajú ich do hlavnej riadiacej stanice - sú rozmiestnené tak, aby umožňovali neustále sledovanie maximálneho počtu družíc po čo najdlhšiu dobu.

Hlavná riadiaca stanica – permanentne obnovuje dráhové elementy družíc, určuje korekčné parametre atómových hodín na družiciach a výsledky posiela v navigačnej správe do staníc pre komunikáciu s družicami.

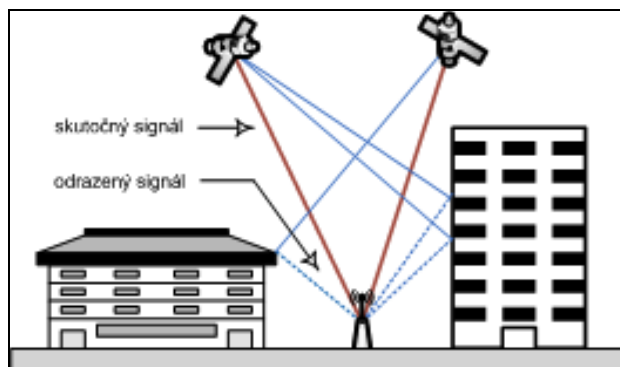
Stanice pre komunikáciu s družicami – odosielajú navigačnú správu družiciam, slúžia tiež k ich ovládaniu; spravidla sú totožné s monitorovacími stanicami (RAPANT 2002).



Obr. 1. Štruktúra GNSS

Užívateľský segment tvoria prijímače jednotlivých užívateľov a technické zariadenia umožňujúce, uľahčujúce, resp. rozširujúce možnosti využitia GNSS.

Vplyv lesného porastu na kvalitu výsledkov merania GNSS je kľúčovým problémom, ktorý obmedzuje plné využitie GNSS najmä v oblasti lesníckej geodézie. Lesný porast spôsobuje zoslabenie až kompletne zablokovanie signálu. V niektorých prípadoch je signál odrazený od blízkych objektov a potom zaznamenaný prijímačom (multipath efekt) (obr. 2). Kvalita prijímaného signálu sa rýchlo mení pri prechode satelitu za prekážky ako sú koruny stromov. Rovnakou prekážkou ovplyvňujúcu meranie GNSS sú aj geomorfologické pomery stanovišťa meraného bodu napr. (RANSOM A KOL. 2010) Technológia GNSS sa javí ako najhodnejšia pri zhusťovaní bodových polí na voľných priestranstvách, v lesných priesekoch a na okrajoch lesných porastov s následným meraním pod lesným porastom inými metódami (meranie s elektronickým tachymetrom, buzolové meranie s Field-mapom a pod., napr. CHUDÝ – KARDOŠ 2005). Výsledky GNSS meraní sú závislé od použitej metódy merania, dĺžky observácie, počte, druhu a konštelácií družíc.



Obr. 2. Viaccestné šírenie signálu (multipath)

Pri lesníckom mapovaní sa ako najvýhodnejšia javí statická metóda GPS. Pri kinematickej (RTK) metóde dochádza k vyšším výkyvom polohových chýb a preto nie je možnosť využitia tejto metódy pri budovaní bodových polí ani v 5. triede presnosti, ktoré je stanovené pre mapy veľkých mierok. Je ale možnosť využitia tejto metódy pri zameriavaní hraníc JPRL. Na presnosť merania majú vplyv aj ďalšie faktory, ako je napr. typ porastu, stredná hrúbka, zakmenenie a zápoj, umiestnenie meraných bodov v teréne, expozícia a pod. Pri zhusťovaní bodového poľa je preto potrebné venovať dôležitú pozornosť optimálnemu rozmiestneniu bodov.

3. MATERIÁL A METODIKA

Záujmové územie na ktorom prebiehalo experimentálne meranie predstavujú prevažne lesné pozemky s rôznym vekom a drevinovým zložením a časť trvale trávnatých porastov (pastviny) v katastrálnom území Kováčová v oblasti Vysokoškolského lesníckeho podniku (VŠLP) TU Zvolen. Vytyčovaná hranica (obr. 3a)

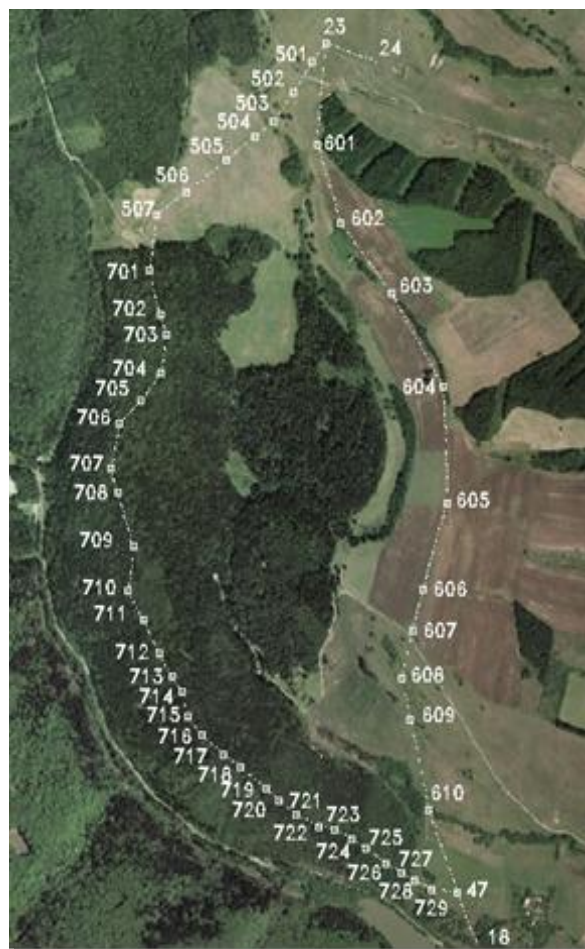
je vlastníckou hranicou, ktorá tvorí S a SV hranicu dielca č. 295a. Predmetná vlastnícka hranica je zároveň aj katastrálnou hranicou, ktorá rozdeľuje katastrálne územie Sliač – Hájniky a katastrálne územie Sielnica.

Meračské práce, ktoré sa vykonali na záujmovej lokalite boli realizované v heterogénnom prostredí, nakoľko porast je vo fáze obnovy (materský porast vo veku 115 rokov, obnovený porast vo veku 20 rokov a holina). Predmetom prác bolo aj zameranie vrcholových bodov dvoch polygónových ťahov (obr.3b) – jedného s krátkymi stranami vedeného prevažne lesom a pod porastom, druhého s dlhými stranami umiestneného na voľnom priestranstve.

Pre získanie súradníc vrcholových bodov metódou polygónových ťahov sme použili totálnu stanicu TOPCON GPT 9003 M. Ide o profesionálnu bezhranovú totálnu stanicu s pulzným diaľkometerom a operačným systémom Windows CE a graficky užívateľským rozhraním. Na zameranie polohy referenčných bodov bol použitý prístroj GNSS, dvoj frekvenčný Hiper GGD od firmy Topcon.



a) Priebeh meranej hranice



b) Priebeh polygónových ťahov

Obr. 3. Záujmové územie zobrazené na leteckých snímkach

3.1 Vytýčovanie hranice lesného pozemku a zameranie bodov

Prvým krokom prác bola realizácia a vytýčenie lomových bodov parcely z dôvodu signalizácie a stabilizácie bodov so známymi súradnicami. Nakoľko tieto body boli neskôr vo vyhodnotení výsledkov použité ako presný porovnávací základ pre overenie presnosti určovania polohy bodov metódou RTK, bolo potrebné zvoliť vhodnú meračskú metódu, ktorá by garantovala požadovanú presnosť vytýčenia lomových bodov. Na základe štúdia literatúry uvedeného v rozbere problematiky sa zvolila pre prvú lokalitu (obr. 3a) kombinácia statickej metódy GNSS s univerzálnym meračským prístrojom pre finálne vytýčenie bodov metódou polárných súradníc.

Pre statickú metódu merania bol použitý prístroj GNSS s vysokou presnosťou určenia polohy bodov Topcon Hiper GGD, ktorý umožňuje prijímať signály družíc Glonass aj Navstar pričom referenčné dáta pre merané

hodnoty boli zabezpečené službou SKPOS a do prijímača boli prenášané s využitím mobilného GSM pripojenia, dátovou službou.

Na voľnom priestranstve v blízkosti záujmových parciel boli stabilizované a následne statickou metódou zamerané meračské body s číslami 5001 až 5011. Tieto body boli vhodne umiestnené tak, aby slúžili ako stanoviská prístroja pre vytyčovanie lomových bodov parciel. Pre vytyčovanie bol použitý elektronický tachymeter značky Topcon GPT 9003M, ktorý sa zároveň použil aj na zameranie potrebných prvkov (vrcholové uhly a dĺžky strán) a pre určenie pravouhlých súradníc vrcholových bodov polygónových ťahov v druhej lokalite (obr.3b). Každý polygónový ťah bol zameraný 2 krát. Vrcholové uhly boli merané v dvoch polohách ďalekohľadu, dĺžky strán sa merali vždy dvakrát (tam aj nazad) a v ďalšom výpočte sa uvažovalo s aritmetickým priemerom z oboch meraní.

V ďalšej fáze merania sme pristúpili k zameraniu identických bodov polygónových ťahov rýchlou statickou metódou merania GNSS s observačnou dobou 3 minúty s využitím služby SKPOS. Použili sme 5 sekundový interval registrácie dát, 5° výškový filter a signály oboch dostupných GNSS. Výpočet pravouhlých súradníc vrcholov zameraných polygónových ťahov bol realizovaný v geodetickom programe GROMA, na editáciu priebehu ťahov bol použitý softvér KOKEŠ. Vyhodnotenie výsledkov prebehlo v programoch sady kancelárskeho balíka Microsoft Office, štatistická časť vyhodnotenia v štatistickom softvéri STATISTICA a Microsoft Excel.

Pre zhodnotenie presnosti bol použitý nasledovný postup :

Výpočet súradnicových rozdielov (odchýlok) ex_i a ey_i :

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

ex_i – chyba v určení x-ovej súradnice,

ey_i – chyba v určení y-ovej súradnice,

X, Y – súradnice považované za správne, získané univerzálnou meračskou stanicou TOPCON

x, y – súradnice získané príslušnou skúmanou metódou,

Presnosť určenia súradníc bodov

Presnosť určenia súradníc bodov sa posudzuje na základe *výberovej strednej chyby* (empirickou strednou kvadratickou chybou merania). Ich výpočet bol vykonaný podľa vzorcov:

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

Stredné chyby v sebe zahŕňajú tak náhodnú ako aj systematickú zložku chyby. Iba v prípade, že sa systematická chyba vo výbere nevyskytuje, sa stredné chyby rovnajú smerodajným odchýlkam. Na výpočet strednej chyby m_{xy} , ktorú sa tiež označuje *stredná polohová chyba*, sme použili jednoduchý kvadratický priemer:

$$m_{xy} = \sqrt{0,5 * (m_x^2) + (m_y^2)}$$

3.2 Meranie hranice lesného pozemku metódou RTK

Metóda merania spočíva vo využití jedného GNSS prijímača ako vlastnej bázy (Báza), ktorá je zriadená na bode so známymi súradnicami (v našom prípade sme využili trigonometrický bod „Dibákovo“) a druhého GNSS prijímača ako prístroj na meranie korekcií v reálnom čase (Rover). Vlastná báza pozostávala z prijímača GNSS, modemu Satel 3AS a externej antény pre rádiové spojenie s pohybujúcou sa referenčnou stanicou, ktorá je vybavená rovnakým typom modemu a taktiež externou anténou. Pred samotným meraním

bolo potrebné nakonfigurovať vlastnú bázu, ktorá bola stabilizovaná na bode so známymi súradnicami a nakonfigurovaná pomocou kontroléra FC 200. Po úspešnom spustení bázy sa pristúpilo k samotnému meraniu hranice s roverom, v programovom prostredí TopSURV, ktorý je súčasťou programového vybavenia kontroléra, kde prebehlo samotné meranie.

3.3 Meranie hranice lesného pozemku metódou SKPOS

Meranie s využitím služby SKPOS je menej náročné na prístrojové vybavenie merača. Pre túto metódu boli použité prístroje: GNSS prijímač Topcon Hipper GGD, kontrolér FC 200 a mobilný telefón na prijímanie referenčných dát. Metóda je jednoduchšia, že nepotrebuje vlastnú bázu umiestnenú na známom bode s presnými súradnicami. Namiesto vlastnej bázy je pre meranie potrebný mobilný telefón s podporou GPRS, prostredníctvom ktorého cez mobilného operátora prijímame referenčné dáta. Pre meranie technológiou SKPOS je potrebné urobiť nastavenie merania pomocou pripojeného kontroléra. Postup pri meraní jednotlivých bodov bol rovnaký ako pri predchádzajúcej metóde. Podobným spôsobom merania sa uskutočnilo aj meranie s prístrojom Trimble Geo XH.

4. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Po realizácii jednotlivých meraní sme pristúpili k spracovaniu jednotlivých dát. V prípade dát, ktoré boli namerané totálnou stanicou na druhej lokalite (obr.3 b) sa jednalo o výpočet polygónového ťahu, ktorým sme získali súbor pravouhlých súradníc vrcholových bodov oboch polygónových ťahov v súradnicovom systéme S– JTSK a Bpv. Tento súbor hodnôt sme v ďalšom postupe považovali za referenčný, jeho hodnoty za správne a presné.

Experimentálne merania boli ďalej spracované a vyhodnotené nasledovne:

- a) Výpočet pravouhlých súradníc vrcholových bodov polygónových ťahov
- b) Posúdenie presnosti:
 - dodržanie geometrických parametrov
 - kritéria presnosti
 - testovanie pri nedodržaní geometrických parametrov

Je potrebné zdôrazniť, že lesné prostredie je do určitej miery nepriaznivé pre založenie polygónových ťahov tak, aby bez problémov vyhovovali predpísaným geometrickým parametrom. Na druhej strane práve polygónový ťah vzhľadom na možnosť prispôbiť jeho priebeh zameriavanému územiu sa javí ako najvhodnejšia metóda pre určovanie geodetických bodov v zalesnených neprehľadných územiach.

Najväčším problémom v lesných porastoch je dodržanie parametra odklonu strán od spojnice počiatočného a koncového bodu (S_{PK}). Tento geometrický parameter je výrazne ovplyvňovaný neprehľadnosťou zalesneného územia (v závislosti od štruktúry a rastovej fázy porastov) ako aj členitosťou terénu. Neprehľadnosť a členitosť terénu sú problémom aj dodržania kritéria krajnej dĺžky strany.

POČÁTEČNÝ BOD	pos. bod P/BPP	X	Y	ΔX	ΔY
1	4082	97.98	-11.44	94.63	
2	4083	181.59	-50.38	186.68	
3	4084	226.41	-49.28	349.14	
4	4085	185.98	-65.71	517.57	
5	4086	226.55	-65.42	634.24	
6	4087	235.98	17.88	725.88	
7	4088	187.25	26.66	678.38	
8	4089	183.52	138.95	-8.88	1886.75

Obr. 4. Výpočet polygónu v programe Kokeš

Vykonané merania a rozboru ukázali, že pre experimentálne polygónové ťahy neboli tieto kritéria dodržané pri ťahu č. 2. (číslovanie 501-729 (obr.3b)) Pre ostatné kritéria a obidva polygónové ťahy podľa jednotlivých geometrických parametrov boli splnené podmienky pre 1. až 4. triedu presnosti.

Výpočet stredných súradnicových chýb a testovanie presnosti jednoznačne preukázal dosiahnutie presnosti pre určenie PBPP v 1. a 2. triede presnosti. Tieto priaznivé výsledky pravdepodobne vyplývajú z toho, že pri meraní vrcholových uhlov a dĺžok strán elektronickými tachymetrami sa dosahuje vysoká presnosť, kde je podľa krajných dovolených odchýlok $\Delta\omega$ a $\Delta\rho$ vyhovujú obidva ťahy v 3. a 4. triede presnosti. Ďalšie kritéria presnosti a to: základná stredná chyba v meraní vrcholového uhla Δm_{ω} , základná stredná chyba v meraní dĺžky strany Δm_s a krajný rozdiel z dvoch meraní strany $\max_{\Delta s}$ vyhovujú pri všetkých polygónových ťahoch jednoznačne 1. a 2. triede presnosti. Jednoznačne to potvrdili opakované merania a rozboru ich presnosti.

Pri meraniach metódou GNSS hodnoty stredných súradnicových chýb m_{xy} a stredných výškových chýb m_z merania polygónu na voľnom priestranstve (Tab. 5) dosahovali hodnoty odpovedajúce 4. triede presnosti mapovania ($u_{xy} = 0,26$ m, $u_v = 0,18$ m) pri 15° a 20° nastavení výškového filtra bez ohľadu na použitý družicový systém. 4. triedu presnosti mapovania požaduje katastrálny zákon pre mapovanie extravilánu obcí, pre tento účel môžeme uvedenú metódu odporučiť pri použití 15° výškového filtra, pri ktorom boli dosiahnuté lepšie výsledky v porovnaní s 20° nastavením výškového filtra. V prípade použitia 10° výškového filtra boli splnené kritéria pre 3. triedu presnosti mapovania podrobného polohového bodového poľa len v prípade určenia horizontálnej polohy, vertikálna poloha bola určená až v 5. triede presnosti mapovania. Metódu s nastaveným 10° výškovým filtrom možno teda odporučiť pre mapovacie práce vyžadujúce 3. triedu presnosti len pre polohopisné mapovanie.

Tab. 5 Prehľad m_{xy} a m_z pri meraní polygónu na voľnom priestranstve pri rôznych satelitných systémoch a výškových filtroch

Meranie	Dĺžka observácie (min)	Výškový filter ($^\circ$)	Satelitný systém			
			GPS + GLONASS		GPS	
			M_{xy} (m)	M_z (m)	M_{xy} (m)	M_z (m)
Polygón	3	10	0,0956	0,2815	0,1037	0,2590
		15	0,2028	0,1154	0,1554	0,0418
		20	0,2230	0,1015	0,1576	0,0442

Pri porovnaní nami dosiahnutých výsledkov s výskumom iných autorov (napr. ŽÍHLAVNÍK – MELUŠ 2009) môžeme konštatovať niekoľkonásobne horšie hodnoty m_{xy} i m_z pri rýchlej statickej metóde merania GNSS na voľnom priestranstve. Uvedení autori udávajú dosiahnutie 1. triedy presnosti mapovania ($u_{xy} = 0,04$ m, $u_v = 0,03$ m) pri päť minútovej observačnej dobe. Rozdiel je pravdepodobne spôsobený rozličnou dĺžkou observácie, v našom prípade bola dĺžka observácie tri minúty. Táto dĺžka je zrejme nedostatočná pre spoľahlivejšie vyriešenie ambiguit. Ďalším dôvodom môže byť fakt, že viaceré body polygónu na voľnom priestranstve boli lokalizované v blízkosti lesa či remíz, prípadne v terénnych zárezoch. V prípade blízkeho výskytu tieniacich drevín klesá kvalita prijímaného družicového signálu. V prípade bodov nachádzajúcich sa v terénnych zárezoch klesá počet observovaných satelitov, čo sa premietne do veľkosti výsledných chýb určenia polohy.

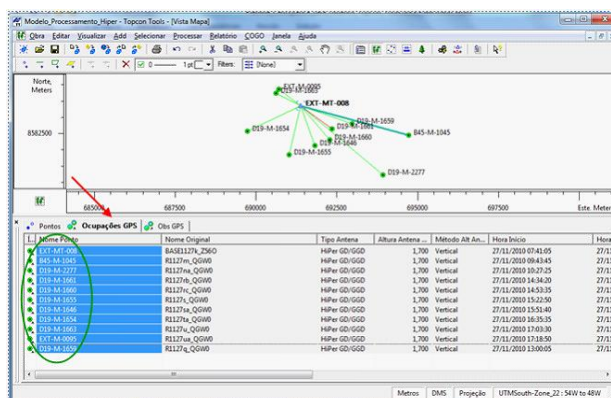
Tab. 6 Prehľad m_{xy} a m_z pri meraní polygónu na lesnom prieseku pri rôznych satelitných systémoch a výškových filtroch

Meranie	Dĺžka observácie (min)	Výškový filter ($^\circ$)	Satelitný systém			
			GPS + GLONASS		GPS	
			M_{xy} (m)	M_z (m)	M_{xy} (m)	M_z (m)
Polygón	3	10	0,6586	1,5680	0,5480	1,3292
		15	0,6325	1,6438	0,5884	1,3787
		20	0,6802	1,9220	0,7746	1,5423

Vypočítané hodnoty stredných súradnicových chýb m_{xy} a stredných výškových chýb m_z pri meraniach realizovaných na lesnom prieseku (Tab. 6) rýchlou statickou metódou s trojminútovou observačnou dobou

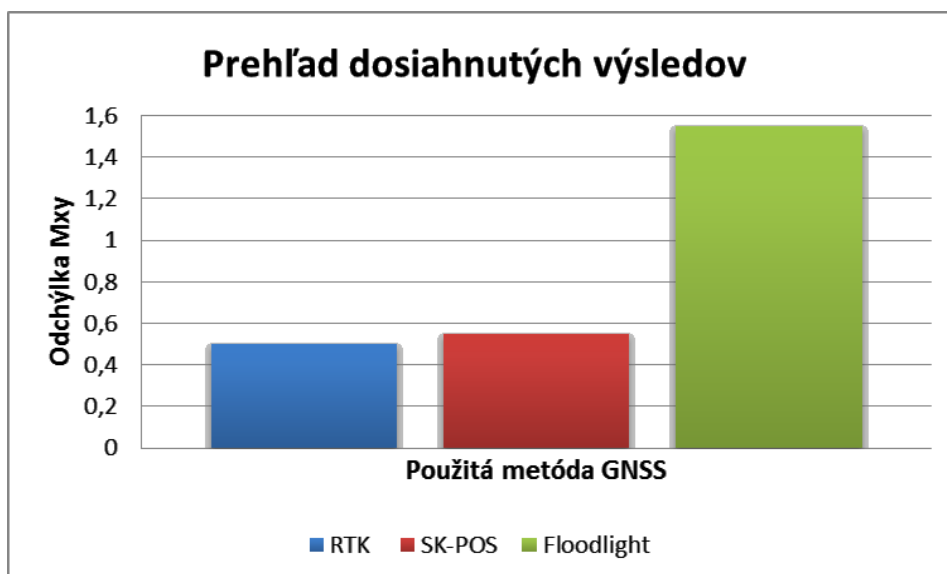
nezodpovedajú ani 5. triede presnosti mapovania ($m_{yx} = 0,50$ m, $m_{xy} = 0,35$ m) bez ohľadu na použitý družicový systém a výškový filter. Uvedenú metódu však je možné použiť pre mapovanie lesníckeho detailu, ktorý nie je podkladom pre tvorbu základnej lesníckej mapy, teda detailu potrebného pre doplnenie lesníckych účelových máp, resp. pre iné lesnícke účely s nižšou požadovanou presnosťou. Tieto závery korešponujú s výsledkami prác iných autorov v tejto oblasti (napr. ŽÍHLAVNÍK – MELUŠ 2009, FAŠKO 2007).

Pre jednotlivé metódy, ktoré boli použité pri meraniach v prvej skúmanej lokalite (obr.3a) sa dosiahli nasledovné hodnoty: MyRTK $m_{yx} = 0,503$ m; SKPOS $m_{yx} = 0,551$ m; SKPOS s „Floodlight“ $m_{yx} = 1,553$ m. Následne sme dosiahnuté hodnoty stredných súradnicových chýb porovnali s hodnotami základných stredných súradnicových chýb podrobných geodetických bodov podľa normy STN 73 0415 (tab. 2) a s hodnotami pre podrobné body polohopisu podľa STN 01 3410 mapy veľkých mierok (tab.1). Dosiahnuté výsledky sú uvedené v grafe č.6.



Obr. 5. Výpočet údajov v programe Topcon Tools

Z dosiahnutých výsledkov vyplýva, že ani jedna metóda nedosiahla ani 3. triedu presnosti pre podrobné geodetické body, nakoľko stredné súradnicové chyby m_{yx} presiahli krajné dovolené odchýlky, ktorej hodnota je normou definovaná na hodnotu 0,06 m. Metóda RTK s využitím „Floodlight“ technológie ďaleko presiahla krajnú dovolenú odchýlku a pre lesnícke mapovanie nie je vhodná.



Obr. 6. Prehľad dosiahnutých výsledov

Pre lesnícke mapovanie v rámci TŠMD LH bola stanovená 5. trieda presnosti a pri lesníckom mapovaní sa postupuje v zmysle STN 01 3410 Mapy veľkých mierok – základné a účelové mapy. Táto norma určuje pre 5. triedu presnosti strednú súradnicovú chybu $m_{xy} = 0,50$ m. Porovnaním nami dosiahnutých výsledkov

s touto normou, môžeme konštatovať, že jedine metóda merania GNSS MyRTK s využitím vlastnej bázy umiestnenej na trigonometrickom bode „Dibákovo“ dosiahla požadovanú presnosť.

Pri vytyčovaní hranice lesných pozemkov, ktorej lomové body nám následne slúžili ako etalón na merania jednotlivými technikami GNSS sme použili kombináciu statickej metódy merania GNSS s krátkou observáciou (2 x 1 minúta – následne rátaný priemer) a polárnej metódy s využitím univerzálnej meračskej stanice Topcon GPT 9003M. Táto metóda merania je viacerými autormi (ŽILAVNÍK - MELUŠ 2008; HALVOŇ 2007; HEFTY 2004; TUNÁK 2008; CHUDÝ 2005) odporúčaná a overená pri vytyčovaní bodov v komplikovanom lesnom prostredí a je ňou možné dosiahnuť polohovú presnosť vytyčenia spĺňajúcu kritéria 3. triedy presnosti podľa normy STN 013410 „Mapy veľkých mierok“. Z pohľadu časovej náročnosti merania ako aj prácnosti a potreby obslužného personálu je táto metóda merania a vytyčovania najkomplikovanejšia.

Z časového hľadiska sa ako najefektívnejšia metóda preukázalo meranie s prístrojom Trimble Geo XH 6000, ktorý využíval korekcie slovenskej priestorovej observačnej služby – SKPOS, kde meranie trvalo 1,5 hodiny. Prístroj mal rýchlu inicializáciu a stabilný príjem korekčných údajov cez signál mobilného operátora O2. Pri meraní s prístrojom Topcon HiperGGD s využitím korekčných údajov SKPOS trvalo meranie tých istých bodov takmer 3 hodiny, čo bolo spôsobené najmä častým vypadávaním signálu dátového prenosu. Poskytovateľom dátovej služby bola v tomto prípade spoločnosť ORANGE, jednalo sa však o lokalitu, kde bol dostatočný príjem signálov všetkých mobilných operátorov. Z hľadiska časovej efektívnosti merania sa ako druhá najlepšia ukázala metóda MyRTK s využitím vlastnej bázy a prístroja Topcon HiperGGD. Meranie trvalo necelé 2 hodiny a príjem signálu vysielaného z bázy bol nepretržitý. Jedinou nevýhodou tohto systému je jeho zhoršená manipulácia v lesnom prostredí (viaceré lomové body sa nachádzali v hustej smrekovej, či bukovej mladine), keďže je potrebné aby merač so sebou niesol aj prijímač s anténou. Ďalším negatívny aspektom využitia tejto technológie je nevyhnutnosť merania s dvoma anténami GNSS (1 x rover, 1 x báza).

ZÁVER

Problematiku merania hraníc v lesnom prostredí rôznymi metódami považujeme za aktuálnu vzhľadom na proces prinavracania pozemkov pôvodným vlastníkom. Taktiež má dôležitý význam z pohľadu mapovania hraníc lesných pozemkov, kde je zjavný nesúlad medzi stavom evidovaným v registri C katastra nehnuteľností a medzi aktuálnym stavom viditeľným napríklad na leteckých snímkach. S tým úzko súvisí aj problematika identifikácie a merania hraníc bielych plôch, ktoré predstavujú problém z hľadiska obhospodarovania na základe programu starostlivosti o lesy.

V práci sme sa zamerali najmä na využitie „rýchlych“ a efektívnych metód merania, medzi ktoré jednoznačne patria kinematické metódy GNSS merania. Rovnako ale nesmieme zabudnúť na požadovanú presnosť merania, ktorá je definovaná normou STN 013410 Základné a účelové mapy podľa, ktorej musíme pri meraní a vytyčovaní vlastníckej hranice dodržať 3. triedu (intravilán), resp. 4. triedu presnosti (extravilán). Tieto zvýšené nároky na presnosť je následne potrebné zohľadniť aj hlavne pri výbere samotných metód merania nakoľko lesnícke mapovanie je veľmi náročné z hľadiska rozsahu mapovacích prác, ako aj veľkej členitosti mapovaného územia. Preto je veľmi dôležité neustále skúmať možnosti použitia rôznych geodetických a fotogrametrických metód, a to nie len s ohľadom na požadované kritériá presnosti, ale aj s ohľadom na prácnosť a efektivitu mapovacích prác. Nakoľko žiadna zo v súčasnosti používaných metód nemôže byť považovaná za ideálnu vo všetkých prípadoch meračských prác, je veľmi dôležité stanoviť najvhodnejšiu kombináciu metód, prispôbenú konkrétnym podmienkam mapovania.

Výsledky uvedené v práci nie je možné v žiadnom prípade zovšeobecňovať, avšak po zhodnotení všetkých dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že metódy merania GNSS sú v lesníckom mapovaní efektívne pre zhusťovanie polohového bodového poľa na miestach s dobrým prístupom signálu družíc (lúčne enklávy, rúbaniská), kde je dosiahnutie vysokej presnosti bezproblémové. Pre meranie vlastníckych hraníc JPRL a lesného detailu vo vnútri porastov s vyššími požiadavkami na presnosť sú naďalej nevyhnutné klasické terestrické metódy – najmä polygónové ťahy s krátkymi dĺžkami strán (60 – 400 m), rajóny a polárna metóda. Pre zhusťovanie bodového poľa a vytyčovanie sa ako optimálny postup môže použiť meranie GNSS na otvorenej ploche bez negatívnych vplyvov porastu na príjem signálu družíc s následným využitím metódy polygónových ťahov, resp. rajonizácie.

LITERATURA

- BITTERER, L. 2003. Geodézia: interný učebný text, Žilina ŽU – SF, 359 s.
- FAŠKO, M., 2007: Meranie hraníc lesných porastov statickou metódou merania GNSS. In. Aktuálne problémy lesníckeho mapovania. TU Zvolen, s.82-91.
- Geodézia v lesníctve. Zborník referátov zo sympózia. 2006 TU Zvolen. ISBN 80-228-1684-1. 132 s.
- HALVOŇ, Ľ. 2007. Digitálna fotogrametria a GNSS v lesníckom mapovaní, In: Aktuálne problémy lesníckeho mapovania, zborník referátov, TU Zvolen, ISBN 978-80-228-1809-4 s. 93 – 107.
- HEFTY, J., HUSÁR, L., Družicová geodézia : Globálny polohový systém. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2003. 186 s. ISBN 978-80-227-2807-2.
- CHUDÝ, F. – TUNÁK, D. 2012. Posúdenie vhodnosti použitia rôznych modifikácií merania polygónového ťahu pri zhusťovaní bodového poľa v lesníckom mapovaní. In Acta Facultatis Forestalis Zvolen. Technická univerzita vo Zvolene, 2012. ISSN 0231-5785, 2012, roč. 54, č. 3, s. 141-154.
- KAMENSKÝ, P. 2011 Statická metóda GNSS v lesníckom mapovaní In *Racionalizácia lesníckeho mapovania zborník referátov z vedeckého seminára*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2011. ISBN 978-80-228-2283-1, s. 23-30.
- KARDOŠ, M. - CHUDÝ, F., 2005: Posúdenie tvorby modelu terénu prostriedkami digitálnej fotogrametrie. In. Diaľkový prieskum Zeme a lesnícke mapovanie. TU Zvolen, s. 24-37.
- Lesnícka geodézia a fotogrametria – trendy. Zborník referátov zo sympózia. TU Zvolen 2008. ISBN 978-80-228-1949-7, 153 s.
- RANSOM a kol. 2010 Performance of Mapping-Grade GPS Receivers in Southeastern Forest Conditions. In *Review of Undergraduate Research in Agricultural and Life Sciences*. 2010, č. 1, str. 1-12.
- RAPANT, P. 2002. Družicové polohové systémy. Ostrava: VŠB– TU Ostrava, 2002. 200 s. ISBN 80-248-0124-8.
- STN 01 3410. Mapy veľkých mierok. Základné ustanovenia.
- STN 73 0415. Geodetické body.
- TUNÁK, D. 2009. Polygonizácia v lesníctve. In Lesnícka geodézia a fotogrametria – trendy: zborník referátov zo sympózia s medzinárodnou účasťou. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2008. ISBN 978-80-228-1949-7. s. 22-36.
- WING, M. G. 2011 Consumer-Grade GPS Receiver Measurement Accuracy in Varying Forest Conditions. In *Research Journal of Forestry*. 2011, č. 2, str. 78-88.
- ŽÍHLAVNÍK, Š. - CHUDÝ, F. - KARDOŠ, M., 2005: Digitálna fotogrametria v lesníckom mapovaní. Vedecké štúdie. TU Zvolen, 81 s
- ŽÍHLAVNÍK, Š. - MELUŠ, J. 2008. RTK metóda merania v zalesnených územiach, In: Lesnícka geodézia a fotogrametria – trendy, zborník, Zvolen: TU Zvolen, ISBN 978-80-228-1949-7 s. 37 – 54.
- ŽÍHLAVNÍK, Š. - MELUŠ, J. 2009. Využitie GNSS pri lesníckom mapovaní. In *Vedecké štúdie*, 1/2009/A. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2009. 76 s. ISBN 978-80-228-2013-4.
- ŽÍHLAVNÍK, Š. 2004. Geodézia, fotogrametria a mapovanie v lesníctve. Vysokoškolská učebnica. TU Zvolen, ISBN 80-228-1287-0, 388 s.