

**GEODETICKÉ URČOVANIE POLOHY BODOV RTK METÓDOU GNSS V
PODMIENKACH LESNÉHO PROSTREDIA
GEODÄTISCHE LAGEBESTIMMUNG DER PUNKTE MITTELS DER GNSS RTK
MESSMETHODE IN DEN BEDINGUNGEN DES WALDES**

Ing. Marek Faško¹

¹ Katedra Hospodárskej úpravy lesov a geodézie, Lesnícka fakulta Technickej univerzity vo Zvolene, TU vo Zvolene, Masarykova 24, 960 53 Zvolen, marekfasko@gmail.com

Abstract

Die GNSS Messmethoden werden in Gegenwart in immer breiterem Spektrum der Aufgaben von georäumlichen Anwendungen eingesetzt. Die Lagebestimmung mittels GNSS scheint als die geeignetste Methode bei der Punktfeldverdichtung auf der freien Fläche, auf den Waldhauen und auf dem Rand des Waldes. Beim Messen der Detailpunkte dort, wo die geodätische Präzision erforderlich ist, wird die GNSS Messmethode mit den klassischen terrestrischen Messarbeiten mit Hilfe der elektronischen Tachymetern kombiniert. Die Messung und Absteckung der Detailpunkte (z.B. die Bruchpunkte der verschiedenen Grenzlinien) mittels GNSS wendet man unter den Bedingungen des Waldlandes meistens nur bei den Arbeiten mit den niedrigen Präzisionsanforderungen an. Akzeptable Ergebnisse werden in diesen Fällen in der Regel beim Einsatz der Statischen GNSS Messmethode erreicht. Dies bestätigen die Ergebnisse der Forschungsarbeiten, sowie die praktische Erfahrungen. Die Statische Methode nutzt man wegen der Zeitaufwendigkeit und Notwendigkeit der nachträglichen Auswertung vor allem für die Punktfeldverdichtung. Besonders effizient ist generell im Gegensatz zu dem die Methode RTK, dank der hohen Flexibilität und den sofortigen Ergebnissen. Die Eigenschaften der RTK Methode vorbestimmen sie insbesondere für die Messbedingungen den freien, offenen Flächen. Infolge der Eigenart des Waldumfeldes, das sich durch die Qualitätsenkung der äußeren Messbedingungen kennzeichnet, ist die Methode nicht buntbenutzbar für alle Zwecke. Die Ergebnisse manchen Forschungsarbeiten beweisen dass der Einsatz von RTK in den Waldkomplexen nicht immer erfolgreich ist. Bei der Planung sowie Durchführung der Messungen muss dies entsprechend berücksichtigt werden, und wenn es die Situation ermöglicht, sollen vorzugsweise sicherere Verfahren eingesetzt werden. Andererseits, die Resultate dieser Arbeit zeigen auf der Basis des Experimentalmateriales, dass die Anwendung des kinematischen Messens in der Echtzeit auch in den Wäldern (bei der Beherrschung und beim Einhalten der gewissen Bewandnisse) hochgenaue Ergebnisse bringen kann.

Schlagwörter

Lagebestimmung, Globale NavigationsSatellitenSysteme, RTK, Wälderbedingungen

1 Úvod

Meračské práce sa v lesnom hospodárstve, na plochách pod správou lesného hospodárstva a všeobecne v krajine dotváranej lesom uplatňujú v určitej nevyhnutnej miere. Čo sa samotného lesného hospodárstva týka, najväčší význam zohrávajú v rámci mapovania lesných pozemkov, kde sa podieľajú na získavaní spoľahlivých geopriestorových informácií o polohe a rozlohe jednotlivých častí lesa. Ide pritom primárne o jednotky priestorovej úpravy lesa (JPRL), nevyhnutné k rozčleneniu lesných komplexov pre účely ich efektívneho komplexného obhospodarovania. Druhá, príbuzná skupina dôvodov prieniku meračských prác do oblasti lesníctva súvisí úzko s problematikou ochrany majetkového a pozemkového vlastníctva. Tretia skupina je podmienená potrebou budovania technických objektov a inžinierskych stavieb na lesných pozemkoch ako aj potrebou vykonávania rôzne zameraných prieskumov prírodného prostredia.

V rámci hospodárskej úpravy lesa zohrávajú významnú úlohu mapovacie práce pri vyhotovovaní LHP. Potrebné je tu získanie a sprostredkovanie informácií o polohe a rozlohe jednotlivých JPRL, čoho výstupom sú lesnícke mapy a plochová tabuľka. Požiadavky na kvalitu meračských prác sú pri získavaní geopriestorových dát pre potreby HÚL a všetkých ostatných oblastí činnosti na ploche lesných pozemkov rôzne, pričom možno vyčleniť dve hlavné skupiny. V prvej sú aktuálne požiadavky presnosti katastrálneho mapovania, ktoré sa dotýkajú merania a vytyčovania

vlastníckych hraníc. Druhá skupina sa vzťahuje na meranie vnútorných nevlastníckych hraníc JPRL a geopriestorových fenoménov, kde postačujú rádovo nižšie kritériá presnosti. Využitie progresívnej technológie GNSS pri meračských prácach u oboch skupín požiadaviek je v prostredí lesných komplexov aktuálne, ale do určitej miery obmedzené. Aj napriek teoretickým predpokladom a získavaným skúsenostiam je naďalej predmetom skúmania.

V uvedenom príspevku sú stručne zhrnuté použité metódy a výsledky testovania kinematickej RTK metódy merania GNSS v podmienkach lesného prieseku. Snahou bolo vyhodnotiť úspešnosť a dosiahnuteľnú presnosť meraní s ohľadom na dĺžku observácie a voľbu umiestnenia podrobného meraného bodu, pričom na podklade analýzy výsledkov v závere uvádzame odporúčania pre uplatnenie v lesníckej geodetickej praxi a geopriestorových aplikáciách.

2 Materiál a metódy

Pre potreby získania a spracovania experimentálneho materiálu tejto práce boli použité geodetické prístroje a softvérové aplikácie, umožňujúce automatizáciu celého procesu spracovania jednotlivých meraní.

Geodetický GNSS prijímač TOPCON Hiper GGD je moderný dvojfrekvenčný geodetický prijímač, umožňujúci meranie využitím družíc satelitných systémov GPS a GLONASS. Riadenie činnosti prijímača zabezpečuje čip PARADIGM, umožňujúci štyridsiatimi nezávislými kanálmi sledovanie všetkých dostupných družicových signálov na frekvenciách L1 a L2. Anténa je mikroprúžkovej konštrukcie s inovačnými prvkami spracovania signálu a možnosťou redukcie príjmu jeho odrazených fragmentov (Multipath effect reduction). Pre prácu v reálnom čase a pri potrebe monitorovania niektorých dôležitých okolností merania sa funkcie prijímača ovládajú prostredníctvom mobilného kontrolera TOPCON FC 100 / FC 200. Toto mobilné zariadenie, spravované operačným systémom Windows CE umožňuje nastavenie príjmu korekčných dát v reálnom čase, aktualizáciu nastavenia vybraných parametrov merania, editáciu číslovania bodov, výšok antény a rôznych poznámok, ako aj okamžitú kontrolu kvality merania v jeho priebehu.

Elektronický tachymeter TOPCON GPT 3002 LN je kompaktný prístroj v prevedení totálnej stanice. Je preto vybavený interným pamäťovým zariadením a radom aplikácií pre geodetické výpočty. Disponuje možnosťou merania dĺžok pomocou odrazového hranola do vzdialenosti 3 km s presnosťou ± 3 mm a bezhranolového merania pulzným laserom do vzdialenosti 1200 m s presnosťou ± 5 mm. Presnosť merania uhlov je dvojsekundová.

Realizácia observácií sa vykonala prostredníctvom programového modulu TOPSurv, ktorým mobilný kontroler FC 100 / 200 po nastavení rádiového spojenia s referenčnou stanicou okamžite počíta súradnice meraných bodov. Prípravu terénnych prác, ich vykonanie a vyhodnotenie výsledkov umožnili programy CGS Kokeš, Geoplot, TranGPS a Microsoft Excel.

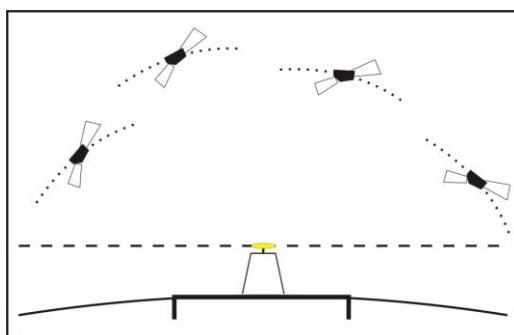
2.1 Výber lokality a metód merania

Pre potreby tejto práce bola v prvej etape prác v katastrálnom území obce Kováčová vyčlenená lokalita pre založenie výskumného objektu, pričom sa zohľadňovali najmä topologické pomery územia a vybrané porastové charakteristiky. Objekt tvorí sieť jedenástich bodov na lesnom prieseku, pričom poloha jednotlivých bodov je realizovaná geodetickými klincami v telese asfaltovej cesty, kovovými rúrkami a farebnými značkami. Dôvodom voľby prostredia lesného prieseku a skúmania výsledkov merania v týchto podmienkach je v lesníckej meračskej praxi častý prípad potreby pripojenia k existujúcemu bodovému poľu v husto a súvisle zalesnených, odľahlých lokalitách. Problematika sa dotýka tak merania hraníc jednotiek priestorového rozdelenia lesa ako aj o získavania podkladov pre najrôznejšie účely od stavebných prác na ploche lesných pozemkov až po realizáciu prieskumov prírodného prostredia. Predmetný lesný

priesek je tvorený približovacou cestou kategórie L3 s nízkou intenzitou využívania, ktorá je situovaná ako cesta hrebeňová.

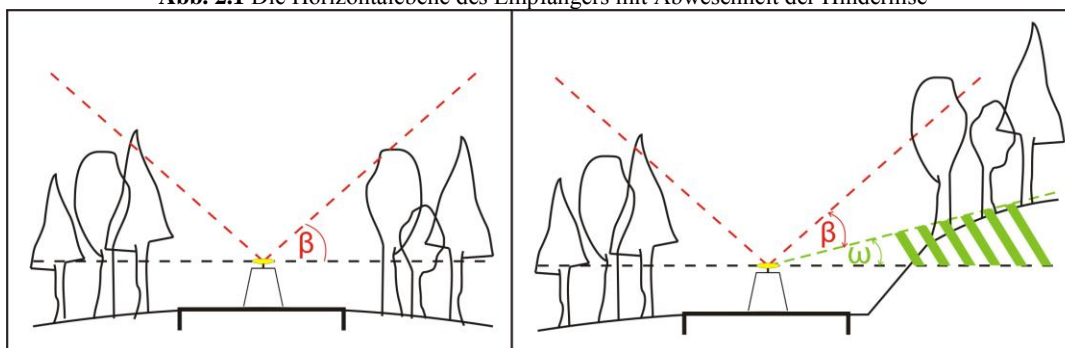
Vzhľadom na ciele, ktoré majú byť v tejto práci dosiahnuté, bolo pri lokalizácii výskumného objektu snahou do určitej miery optimalizovať podmienky, majúce zásadný súvis s vybranými, presnosť ovplyvňujúcimi faktormi. Neveľká odľahlosť záujmového územia od intravilánu blízkych obcí ako aj mesta Zvolen má význam z pohľadu vyhovujúcej kvality a hustoty existujúceho bodového poľa, ktoré sa využíva pre získanie referenčných súradníc. Podmienky lesného prieseku na ktoré je zamerané ťažisko experimentálneho materiálu sú z pohľadu lokálnych observačných podmienok limitované výrazným zmenšením uhla, pod ktorým sa k prijímaču môžu priamo šíriť družicové signály. Priaznivá geometrická konfigurácia družíc na ktoré sa vykonávajú merania je pritom ovplyvnená dvoma spôsobmi. Jednak prítomnosť drevinovej zložky lesných porastov v blízkosti stanovišťa merania a na druhej strane lokálne reliéfne pomery spôsobujú vznik rozdielu medzi ideálne otvoreným a skutočným horizontom.

Podiel priechodnosti neskreslených družicových signálov korunovou a kmeňovou úrovňou lesného porastu nie je exaktne kvantifikovateľný. S ohľadom na čo najobjektívnejšie posúdenie tohto podielu pri vyhodnotení výsledkov bola lokalita merania koncipovaná v rovinnom (sklonitosť do 25%), lokálne nečlenenom teréne. Eliminuje sa tým vplyv expozície a sklonu terénu, ako aj vplyv geomorfologických prekážok (Obr. 2.1, 2.2).



Obr. 2.1 Horizontálna rovina prijímača bez prítomnosti prekážok

Abb. 2.1 Die Horizontalebene des Empfängers mit Abwesenheit der Hindernisse



Obr. 2.2 Zmenšenie uhla príjmu neskreslených družicových signálov voči horizontálnej rovine prijímača

Abb. 2.2 Die Reduktion des Empfangswinkels der Satellitensignale

Na počet družíc využiteľných pre meranie z teoretického hľadiska môže mať vplyv i orientácia pozdĺžnej osi prieseku, resp. uhol ktorý zvierá táto os s pomyselnou horizontálnou osou družicových dráh. Aby sa z výsledkov meraní eliminoval tento efekt, boli body na lesných priesekoch rozvrhnuté tak, aby bola orientácia osí jednotlivých úsekov premenlivá.

Keďže v budúcnosti plánujeme okrem iného preveriť tiež pôsobenie vegetačného obdobia na výsledky meraní, je nevyhnuté aby v príslušných porastoch lesného prieseku v predmetných lokalitách boli zastúpené listnaté dreviny v určitom minimálnom podiele. Tento podiel v bezprostrednej lemovej časti porastu nie je menší ako 50%.

Pri voľbe metód merania GNSS sa zohľadňovali kritériá, ktoré majú spätné väzby na súčasnú geodetickú prax. Pri terénnych prácach sú pre zhrubovanie bodových polí a merania podrobných bodov spravidla využívané dve metódy. Je to kinematická metóda RTK a Statická metóda. Je známe že Statická metóda poskytuje najpresnejšie a najspoľahlivejšie výsledky. Meračská prax však vytvára na používanie tejto metódy značný tlak, zdôvodňovaný časovou náročnosťou a nutnosťou kancelárskeho spracovania. Možno pritom hovoriť o faktore efektivity a hospodárnosti, ktorý sa uplatňuje vo všetkých oblastiach ľudskej činnosti. V dôsledku toho je vo vzájomnom pomere využívania vyššie uvedených dvoch metód v absolútnej prevahe metóda RTK.

Uvedené vzťahy sa týkajú všeobecnej geodetickej praxe. Podmienky v ktorých sa vykonáva lesnícke mapovanie sa však vyznačujú mnohými osobitosťami, ktoré zásadne ovplyvňujú možnosti nasadenia metód merania v porovnaní so všeobecnou praxou. Spomenúť možno napríklad odľahlosť, veľkú sklonitosť, členitosť reliéfu, veľmi malú hustotu existujúceho bodového poľa (geodetických základov) a v neposlednom rade samotné lesné porasty. Nie je preto možné skúsenosti a trendy z meraní v intravilánoch plošne aplikovať do oblasti lesníckeho mapovania.

2.2 Terénne práce

V rámci terénnych meračských prác sme polohu bodov siete po stabilizácii merali polárnou metódou z vrcholov vyrovnaného polygónového ťahu (s krátkymi dĺžkami strán), ktorý je na koncoch súradnicovo pripojený na trigonometrické body 5914-23 Dibákovo a 5914-47 Trebuľa. Použitý bol pritom elektronický tachymeter TOPCON GPT 3002. Polygónový ťah svojimi geometrickými parametrami vyhovuje kritériám hlavných ťahov v zmysle platnej Inštrukcie na práce v polohových bodových poliach 984121 I/93 (1994). Vo všeobecnosti je takéto polygónové meranie považované za rádovo najpresnejšie, preto sme získané priestorové súradnice podrobných bodov uvažovali ako hodnoty správne.

Samotné experimentálne meranie geodetickým GNSS prijímačom TOPCON Hiper bolo vykonané v období vegetačného pokoja v marci roku 2009. Využila sa metóda relatívneho určovania polohy s vlastnou referenčnou stanicou, v prevedení RTK (Real Time Kinematic) s rôzne dlhými observáciami (5, 15, 30 a 60 epoch). Merania sa vykonali na všetky dostupné družice satelitných systémov GPS a GLONASS, pri nastavení výškového filtra observácie na 5°. RTK sa vyznačuje plnohodnotnou využiteľnosťou iba kódového princípu určenia pseudovzdialeností na družice a obmedzenou možnosťou modelovania systematických efektov čím je limitovaná výsledná presnosť. Na druhej strane ide o metódu časovo najefektívnejšiu a najhospodárnejšiu poskytujúcu výsledok merania s oneskorením nanajvýš niekoľko sekúnd, prečo je v geodetickej i všeobecnej meračskej praxi najpreferovanejšou metódou. Pre reálno-časovú transformáciu vypočítaných súradníc v referenčnom systéme WGS84 do záväzného súradnicového systému S-JTSK a Bpv bol použitý lokálny transformačný kľúč. Kľúč vznikol vyrovnaním siete siedmych trigonometrických bodov a jeho parametre charakterizuje stredná polohová chyba $m_{xy} = 0,042\text{m}$ a stredná výšková chyba $m_z = 0,027\text{m}$.

2.3 Metódy vyhodnotenia spracovaných dát

Získané hodnoty súradníc v jednotlivých smeroch osí referenčného systému S-JTSK a Bpv boli predmetom základnej matematicko-štatistickej analýzy. Porovnávali sa pritom so súradnicami identických bodov, získanými meraním elektronickým tachymetrom zo stanovísk vyrovnaného polygónového ťahu. Pre účely zhodnotenia výsledkov observácií boli tieto súradnice považované za správne a štatistické ukazovatele správnosti a presnosti merania boli počítané na podklade

odchýlok nameraných hodnôt od hodnôt „správnych“. Použitý bol klasický postup v zmysle vyrovnávacieho počtu (BÖHM, 1990):

- výpočet súradnicových rozdielov (diferencií) d_X, d_Y, d_Z ;
- výpočet aritmetického priemeru diferencií (priemernej odchýlky súradníc) a smerodajných odchýlok diferencií súradníc $d_{\bar{X}}, d_{\bar{Y}}, d_{\bar{Z}}$ a sd_X, sd_Y, sd_Z ;
- výpočet stredných chýb určenia súradníc m_X, m_Y, m_Z ;
- stanovenie s testovanie nulovej hypotézy o výskyte systematickej chyby merania
 $H_0 : \delta_{\bar{X}}, \delta_{\bar{Y}}, \delta_{\bar{Z}} = 0$;
- výpočet strednej polohovej chyby m_{XY} .

3 Výsledky

Pri samotných experimentálnych meraniach boli získané priamo na mieste merania vypočítané súradnice podrobných bodov v súradnicovom systéme S-JTSK a Bpv, čo umožnil lokálny transformačný kľúč zahrnutý do výpočtu. Získané hodnoty súradníc boli porovnávané s hodnotami referenčnými, na podklade čoho sa stanovili jednotlivé odchýlky v smere osí Y, X a Z.

Posudzovaná bola jednak úspešnosť meraní (dosiahnutie fixného riešenia) a jednak jeho presnosť. Predmetom merania bola množina jedenástich bodov, pričom na deviatich z toho úspešne prebehlo meranie s fixným riešením u všetkých dĺžok observácií. U dvoch bodov sa výpočet polohy podarilo zrealizovať len s tzv. plávajúcim riešením, ktoré nie je zárukou získania spoľahlivých výsledkov, čo sa jednoznačne prejavilo aj v hodnotách odchýlok na predmetných bodoch (Tab. 3.1).

Tab. 3.1 Vyjadrenie priemerných odchýlok jednotlivých bodov bez ohľadu na dĺžku observácie
Tab. 3.1 Zusammenfassung der durchschnittlichen Differenzen der Punktenlage ohne Rücksicht auf die Observationsdauer

č.b.	Y	X	Z
1	-0,074	-0,002	0,262
2	-0,101	-0,008	0,200
3	-0,564	0,311	3,297
4	-0,345	-0,669	-1,037
5	-0,077	-0,014	0,231
6	-0,088	0,002	0,214
7	-0,090	0,011	0,223
8	-0,092	0,068	0,182
9	-0,129	0,025	0,319
10	-0,117	0,028	0,238
11	-0,134	0,043	0,227

V prvej fáze vyhodnotenia sme uvažovali všetky výsledky bez ohľadu na úspešnosť fixného riešenia a vo fáze druhej sme odchýlky neúspešných riešení do úvahy nevzali.

Ako z prehľadu tabuľky 3.1 vidieť, u všetkých meraných bodov s fixným riešením bola v polohovej zložke (Y,X) dosiahnutá presnosť lepšia ako 0,14m, čo plne vyhovuje kritériám 3. triedy presnosti mapovania pre mapy veľkých mierok. V smere výškovej osi bola dosiahnutá nižšia presnosť, pričom priemerné odchýlky spravidla neprekročili hodnotu 0,30m.

Ako pomôcka pre vyhodnotenie vplyvu dĺžky observácie na presnosť meraní poslúžila tabuľka 3.2, ktorá poskytuje prehľad o priemerných stredných súradnicových a stredných výškových chýb pri zohľadnení dĺžky observácie a úspešnosti merania. Pri uvažovaní všetkých výsledkov

merania bez ohľadu na faktor úspešnosti sa prejavila tendencia zhoršenia presnosti polohovej zložky a naopak zlepšenia výškovej zložky. Hodnoty priemerných m_{xy} a m_z sú ale značne ovplyvnené veľkými odchýlkami u bodov s plávajúcim riešením výpočtu polohy. Vylúčením týchto extrémnych hodnôt sa dosiahne relatívne zvýšenie presnosti v rozmedzí 66 až 85% (Tab. 3.2). Možno pritom už hovoriť o rádovo vyššej presnosti. Preukázalo sa, že pri observáciách s úspešným fixným riešením bola dosiahnutá presnosť nezávislá od dĺžky observácie. U polohovej zložky je kolísanie hodnôt odchylok okolo ich priemeru menšie ako 1% a u výškovej zložky menej ako 3%. Stredná polohová chyba tak dosiahla hodnoty približne 0,075 cm a stredná výšková chyba približne 0,24 cm. V polohe sa teda splnili kritériá 2. triedy a vo výške kritériá 4. triedy presnosti mapovania pre mapy veľkých mierok.

Tab. 3.2 Vyjadrenie priemerných m_{xy} a m_z pri zohľadnení dĺžky observácie a úspešnosti merania

Tab. 3.2 Zusammenfassung der durchschnittlichen m_{xy} und m_z im Hinblick auf die Observationsdauer und die Messtrefferquote

N epoch	všetky riešenia		len fixné riešenia		relatívne zvýšenie presnosti	
	m_{xy}	m_z	m_{xy}	m_z	xy[%]	z[%]
5	0,203	1,390	0,069	0,207	66,0	85,1
15	0,217	1,257	0,068	0,213	68,5	83,1
30	0,220	0,983	0,069	0,216	68,6	78,0
60	0,453	0,642	0,068	0,221	85,0	65,6
všetky	0,292	1,106	0,076	0,237	74,0	78,6

V prípade ak súbor nameraných hodnôt fixných riešení v niektorej z osí vykazoval nadmerné vychýlenie od charakteristík normálneho rozdelenia, pristúpilo sa k identifikácii a eliminácii systematickej zložky odchylok v smere danej osi. Uplatnil sa pritom T-Studentov test o prítomnosti systematickej chyby.

Tab. 3.3 Prehľad odchylok u jednotlivých bodov s fixným riešením pred a po odstránení systematickej zložky

Tab. 3.3 Übersicht der Koordinatendifferenzen von einzelnen Punkten mit dem Fix-Lösung

č. bodu	pred úpravou			po úprave		
	Y	X	Z	Y	X	Z
1a	-0,077	0,000	0,248	0,023	-0,017	0,015
2a	-0,108	-0,031	0,175	-0,008	-0,048	-0,058
5a	-0,058	-0,041	0,158	0,042	-0,058	-0,075
6a	-0,086	0,011	0,234	0,014	-0,006	0,001
7a	-0,091	0,007	0,227	0,009	-0,010	-0,006
8a	-0,091	0,075	0,206	0,009	0,058	-0,027
9a	-0,122	0,023	0,316	-0,022	0,006	0,083
10a	-0,120	0,030	0,244	-0,020	0,013	0,011
11a	-0,139	0,032	0,215	-0,039	0,015	-0,018
1b	-0,081	-0,001	0,233	0,019	-0,018	0,000
2b	-0,108	-0,022	0,167	-0,008	-0,039	-0,066
5b	-0,076	-0,019	0,248	0,024	-0,036	0,015
6b	-0,081	0,011	0,243	0,019	-0,006	0,010
7b	-0,076	0,008	0,232	0,024	-0,009	-0,001
8b	-0,094	0,071	0,180	0,006	0,054	-0,053
9b	-0,129	0,024	0,323	-0,029	0,007	0,090
10b	-0,118	0,019	0,223	-0,018	0,002	-0,010
11b	-0,135	0,046	0,235	-0,035	0,029	0,002
1c	-0,076	0,003	0,264	0,024	-0,014	0,031
2c	-0,091	0,009	0,251	0,009	-0,008	0,018
5c	-0,088	0,007	0,258	0,012	-0,010	0,025
6c	-0,094	-0,006	0,194	0,006	-0,023	-0,039
7c	-0,100	0,014	0,219	0,000	-0,003	-0,014
8c	-0,093	0,064	0,179	0,007	0,047	-0,054

9c	-0,134	0,024	0,314	-0,034	0,007	0,081
10c	-0,112	0,022	0,228	-0,012	0,005	-0,005
11c	-0,133	0,045	0,217	-0,033	0,028	-0,016
1d	-0,061	-0,010	0,303	0,039	-0,027	0,070
2d	-0,096	0,013	0,209	0,004	-0,004	-0,024
5d	-0,085	-0,002	0,260	0,015	-0,019	0,027
6d	-0,090	-0,006	0,184	0,010	-0,023	-0,049
7d	-0,094	0,015	0,216	0,006	-0,002	-0,017
8d	-0,091	0,063	0,163	0,009	0,046	-0,070
9d	-0,130	0,031	0,322	-0,030	0,014	0,089
10d	-0,119	0,039	0,256	-0,019	0,022	0,023
11d	-0,127	0,048	0,239	-0,027	0,031	0,006
MxMyMz	0,102	0,032	0,237	0,022	0,027	0,044
Myx	0,076			0,027		

Ak vychádzame z predpokladu, že referenčné súradnice sú absolútne správne (miera ich neistoty sa rovná nule) a rozsah výberového súboru odchýlok je dostatočne veľký, môžeme za smerodajné pokladať stredné polohové a výškové chyby po odstránení identifikovanej systematickej zložky jednotlivých odchýlok. Dosiahnutá presnosť určenia súradníc by v takom prípade odpovedala v polohovej zložke najvyššej 1. triede a vo výškovej zložke 2. triede presnosti mapovania ($m_{xy} = 0,04\text{m}$, $m_z = 0,07\text{m}$) (Tab. 3.3).

4 Vyhodnotenie a záver

Experimentálne terénne merania boli situované do podmienok nevýrazného lesného prieseku, tvoreného približovacou lesnou cestou. Predmetom meraní tu bola sieť 11 podrobných bodov. V 82 % prípadov (36 zo 44 meraní) bolo dosiahnuté fixné riešenie vektorov čo možno považovať za pozitívny výsledok. Neúspešným, tzv. plávajúcim riešením sa preukázali observácie bodu č. 3 a 4. Pripísať to možno ich lokalizácii, nakoľko sa nachádzajú v mieste s najväčším zastúpením ihličnatých drevín vo fáze kmeňovín, pričom priesek je v týchto miestach široký len približne 3,5m. Hrubé kmene, predstavujúce najvýraznejšiu prekážku šíreniu družicových signálov sa teda nachádzajú príliš blízko stanoviska merania. Aktuálne nepriaznivú geometrickú konfiguráciu družíc sme ako príčinu neúspechu fixného riešenia vylúčili, keďže predošlé i následné merania v krátkom časovom horizonte prebehli úspešne.

Celkovú dosiahnutú presnosť merania charakterizujú stredná polohová a stredná výšková chyba hodnotami $m_{xy} = 0,29\text{ m}$ a $m_z = 1,11\text{m}$. Takáto presnosť plne vyhovuje pre účely merania nevlastníckych hraníc JPRL. Pri vylúčení výsledkov meraní s plávajúcim riešením sa hodnoty stredných chýb výrazne znížili, až na úroveň kritérií 2. triedy presnosti mapovania v polohe a 4. triedy presnosti vo výške. Ak uvážime možnosť reálnej eliminácie systematickej zložky odchýlok od správnych hodnôt, môžeme konštatovať že meranie splnilo najvyššie nároky presnosti hodnotami $m_{xy} = 0,027\text{m}$ a $m_z = 0,044\text{m}$. Testovanie prítomnosti systematickej chyby je ale v praxi ťažko realizovateľné, jednak kvôli nutnosti vykonávania matematicko-štatistickej analýzy a jednak kvôli neznalosti správnych, absolútne presných polôh meraných bodov.

Pri vyhodnotení faktora dĺžky observácie možno konštatovať nasledovné. Ak nie je zaručené fixné riešenie výpočtu, predĺženie observačnej doby môže znamenať zníženie presnosti polohovej zložky súradníc. Pri takomto meraní bez ohľadu na dĺžku observácie však s určitou nemožno zaručiť presnosť lepšiu ako 1m. Ak je ale meranie uskutočniteľné s fixným riešením vektora, pre spoľahlivé a presné určenie polohy plne postačuje krátka observácia s 5 epochami.

Analýza výsledkov teda preukázala, že metóda RTK je použiteľná aj pre náročné aplikácie s vysokými požiadavkami presnosti. Odporúčame ju však využívať len v oblastiach s lokálne nečleneným terénnym reliéfom a v odľahlejších lokalitách len s využitím vlastnej referenčnej

stanice. Kvalitu merania do určitej miery možno optimalizovať plánovaním observácií v prostredí spracovateľských softvérov GNSS. Pomocou nich možno jednoducho získať predstavu o počte a rozmiestnení družíc nad horizontom v mieste plánovaného merania. Pozitívne je ak je pre meranie k dispozícii minimálne 7-8 družíc. Spoľahlivejšie výsledky možno dosiahnuť na stanoviskách bez súvislých prekážok s aspoň čiastočne otvoreným horizontom (lesné priesečky), ak sa v bezprostrednej blízkosti miesta merania nenachádzajú hrubé kmene. Využitie metódy RTK pre meranie a vytyčovanie vlastníckych hraníc možno odporučiť len po zvážení uvedených faktorov a dôslednej rekognoskácii lokality, kde sa majú meračské práce vykonať.

5 Zoznam použitej literatúry

- [1] BÖHM, J. a kol., 1990: Teória chýb a vyrovnávací počet. GKP Praha, 416 s.,
- [2] HEFTY, J., HUSÁR, L.: Družicová geodézia. Globálny polohový systém, STU Bratislava, 2003, 186 s.,
- [3] HRICKO, B. – TUNÁK, D. – ŽÍHLAVNÍK, Š.: Globálny polohový systém v lesníckom mapovaní. In. ŽÍHLAVNÍK, Š., TUNÁK, D. (ed): Zborník referátov sympózia: Aktuálne problémy lesníckeho mapovania, TU vo Zvolene, 2006, TU Zvolen, 2004, s. 41-50,
- [4] MELUŠ, J.: Využitie GNSS pri lesníckom mapovaní, Dizertačná práca, TU vo Zvolene, 2008, 96 s.,
- [5] VITÁSKOVÁ, J.: Využití metody GPS v lesním hospodářství, Autoreferát dizertačnej práce, Modelová zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2002,
- [6] VOŽENÍLEK, V.- SEDLÁK, P. In: Geografický časopis, Mobilné geoinformačné technológie v geomorfologickom mapovaní, roč. 56, č. 1, Bratislava, 2004, s. 65-81,
- [7] ŽÍHLAVNÍK, Š.: Geodézia, fotogrametria a mapovanie v lesníctve, vysokoškolská učebnica, TU vo Zvolene, 2004, s. 182,
- [8] Inštrukcia na tvorbu Základnej mapy SR veľkej mierky (984211 I/93). ÚGKK SR, Bratislava, 1993, 67 s.,
- [9] Inštrukcia na práce v polohových bodových poliach 984121 I/93. ÚGKK SR, Bratislava, 1994, 110 s.,
- [10] Firemné prospekty spoločnosti TOPCON,
- [11] <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/>
- [12] http://www.geodis.sk/www/index_s.php