RÝCHLE METÓDY GEODETICKÉHO URČOVANIA POLOHY BODOV STATICKÝM MERANÍM GNSS NA LESNÝCH PRIESEKOCH

Ing. Marek Faško
Katedra HÚLaG, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, Masarykova 24, 960 53, Zvolen, marekfasko@gmail.com

Abstract

In letzter Zeit kommt es zum massenhaften Einsatz der Technologie und Technik von GNSS in verschiedensten Fächer. Dank ihrer Operativkraft wird die Technologie immer mehr auch in der Forstwirtschaft für verschiedene Zwecke genutzt. Von der Lageermittlung der zweckbestimmten forstlichen Bauwerken, Objekte und Anlagen; Überwachung des Holztransportprozesses im Echtzeit, bis zu der Fernsteuerung von Forstmaschinen. Die Eigenschaften der GNSS Technologie vorbestimmen sie für hochpräzise Lagebestimmung und Absteckung der Punkte und Objekte. In Wälder sind solche Anwendungen möglich nur unter der Vorraussetzung der geeigneten Wahl von Geräteausstattung und Beachtung der Begrenzfaktoren der Waldumwelt. Der vorliegende Artikel befasst sich mit dem Einsatz der schnellen statischen Messmethode (fast static) und derer Variante bekannt als die pseudokinematische Messmethode (pseudokinematic). Es handelt sich um geodätische Messmethoden der GNSS Technologie, die ein geodätischen Empfänger im Feld und folgende Kanzleiarbeiten mit Hilfe der speziellen Software fordern. Die Methodik der Arbeit wurde so entworfen, dass es möglich ist, die Einflussgröße der Waldumwelt auf die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messungen zu beurteilen. Außer dem wurde die Analyse des Experimentalmateriales auf die Beurteilung des Einflusses gewählter modellierbarer Messfaktoren gerichtet. Ziel der Materialbearbeitung ist die Einflussgröße einzelner Faktoren zu bewerten und danach gewonnene Kenntnisse verallgemeinern, um die Zuverlässigkeit der Messungen zu prognostizieren und die Messungsplanung zu optimalisieren.

Stichwörter

GNSS, Genauigkeit der Lagebestimmung, Forstliche Kartierung

1 Úvod

Meračské práce súvisiace s lesnými pozemkami a lesným hospodárstvom možno okrem iného rozdeliť podľa požadovanej presnosti. Možno tak hovoriť o prácach pre účely špecializovaných lesníckych prieskumov a zisťovaní, u ktorých nie sú exaktne stanovené kritériá požadovanej presnosti. Druhou oblasťou je získavanie podkladov pre tvorbu lesníckych máp a vylišovanie vnútorných hraníc jednotiek priestorového rozdelenia lesa. Tu sú medze požadovanej presnosti stanovené STN 013410 „Mapy veľkých mierok – základné a účelové mapy“ hodnotou strednej polohovej odchýlky mxy = 0,50 m [12]. Treťou, požadovanou presnosťou najnáročnejšou oblasťou je meranie a vytyčovanie vlastníckych hraníc, na ktoré sa vzťahujú kritériá katastrálneho mapovania a tolerovaná odchýlka nesmie prekročiť 0,26m. V rámci tejto oblasti zaznamenávame v porovnaní s minulosťou veľký nárast prác, čo súvisí s procesom reprivatizácie lesných pozemkov a nárastom počtu lesných celkov o malých výmerách.
Jednou z kľúčových činností zabezpečujúcich integritu lesného hospodárstva v rámci všetkých lesníckych disciplín je hospodárska úprava lesa. Predstavuje „odbor lesníckej činnosti, ktorý zisťuje stav lesa, jeho produkčné a ťažbové možnosti a podmienky hospodárenia“ [9]. Jednou z primárnych úloh HÚL je plánovité, trvalo udržateľné hospodárenie v lesoch. Nástrojom pre zabezpečenie takého hospodárenia je lesný hospodársky plán (LHP). Pre poskytovanie prehľadu o kvalitatívnych a kvantitatívnych charakteristikách JPRL, pre vedenie evidencie a kontrolu realizovaných hospodárskych opatrení slúžia okrem iného ako súčasť LHP lesnícke mapy. Každoročne sú produkované lesnícke mapy pre lesné celky o ploche približne 200 000 ha. Veľká väčšina mapovacích a meračských prác sa vďaka mimoriadnemu technickému pokroku v súčasnosti vykonáva fotogrametricky [14]. Naďalej však ostávajú úlohy, ktoré sa touto cestou vyriešiť nedajú a vyžadujú terestrické meračské práce. Jedná sa napríklad o predmety pod clonou lesných porastov ako aj vytyčovanie hraníc a línií v lesnatom území. V oblasti terestrických prác

v horizonte posledných rokov dochádza k technickému pokroku a využívaniu nových technológií. Pre podchytenie bližšie nešpecifikovaného lesníckeho detailu sa často využívajú menej presné metódy ako napríklad buzolové meranie [7]. Práce vyžadujúce vyššie nároky presnosti sú často vykonávané elektronickými tachymetrami použitím geodetických meračských metód (polygónové ťahy, polárna metóda). Tieto vyžadujú pripojenie na existujúce bodové pole, čo je práve jedným z kľúčových obmedzení, vzhľadom na jeho malú hustotu a stále zhoršujúci sa stav. Preto sa aj v oblasti lesníckeho mapovania a všeobecne meračských prác v prostredí lesných komplexov využívajú pre lokálne zhustenie bodového poľa, ako aj samotné podrobné meranie globálne navigačné družicové systémy (GNSS). Aj napriek tomu, že pre ich uplatnenie v mapovaní lesov nejestvujú optimálne podmienky, možno hovoriť o prevratnej technológii okrem iného, kvôli jednoznačnej racionalizácii a zvýšeniu hospodárnosti práce ktorú prináša.

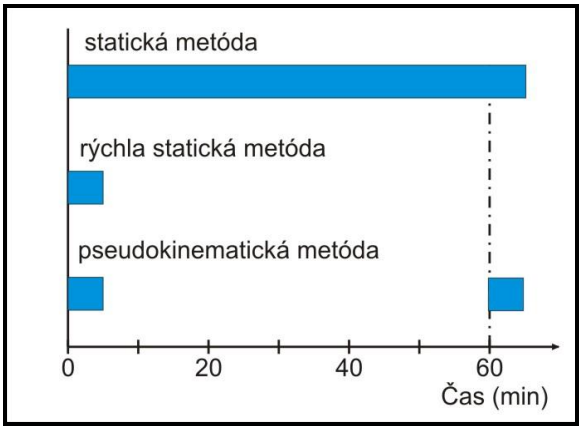
2 Problematika a ciele práce

Myšlienka využitia technológie GNSS pod lesným porastom nie je nová. Prakticky od sprístupnenia tejto technológie nevojenským užívateľom sa začali prejavovať snahy o skúmanie jej funkčnosti v lesnom prostredí. Možno konštatovať že sa výsledky tohto skúmania zlepšovali spolu s technickým zdokonaľovaním GNSS systémov samotných ako aj prijímacích aparatúr a podporných systémov. Takto napríklad v súčasnej dobe rôzny autori z celého sveta testujú širokú škálu prístrojov a metód pre geodetické (napr. [1], [4]) i negeodetické aplikácie (napr.[5]). Táto práca sa venuje výskumu moderných geodetických metód merania technológiou GNSS pre aplikácie lesníckej meračskej praxe. Prostredie lesného prieseku bolo pre túto prácu zvolené, na základe v praxi často sa vyskytujúcej potreby súradnicového pripojenia v odľahlých a súvisle zalesnených lesných komplexoch, kde nie je možné nájsť lesom menej clonené stanovisko pre meranie ako práve prieseky lesných ciest. Takýto priesek v porovnaní s porastom umožňuje výrazne lepšiu viditeľnosť na väčšie vzdialenosti, pričom mnoho líniových stavieb ako aj hraníc jednotiek priestorového rozdelenia lesa kopíruje prieseky dolinových či hrebeňových lesných ciest.

Pri voľbe metód merania GNSS sa zohľadňovali kritériá, ktoré majú spätné väzby na súčasnú geodetickú prax. Pri terénnych prácach sú pre zhusťovanie 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. Jej charakteristickou črtou je kontinuálne meranie počas niekoľkých desiatok minút až po niekoľko hodín resp. dní, pričom sa vyžaduje dodatočné kancelárske spracovanie tohto merania v špecializovanom počítačovom programe (postprocessing). Meračská prax však vytvára na používanie statickej 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 rýchla metóda merania v reálnom čase 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.

Rýchla statická metóda (fast static) je variantom klasickej statickej metódy s krátkymi dobami merania, spravidla niekoľko minút (3-20 min). Kancelárske spracovanie, teda výpočet vektorov a vyrovnanie ich siete môže prebehnúť s plným využitím fázového princípu merania, pričom je možné výsledky aj niekoľko krát dodatočne korigovať (napr. vylúčenie družice z výpočtu,

kontrola súradníc referenčného bodu). V porovnaní s klasickou statickou metódou je významne hospodárnejšia (úspora času) pričom zníženie presnosti výsledkov je v optimálnych meračských podmienkach len relatívne malé. Pseudokinematická metóda (pseudokinematic) rovnako koncepčne vychádza zo statickej metódy. Vyžaduje krátke niekoľkominútové meranie tak ako rýchla statická metóda, pričom je ale nutné po uplynutí prinajmenšom jednej hodiny toto krátke meranie zopakovať [2]. Teoreticky za optimálnych vonkajších observačných podmienok poskytuje dvojité meranie každého bodu počas 5 minút s dodržaným odstupom presnosťou rádovo porovnateľné výsledky ako jedna súvislá observácia počas celej hodiny. Za tohto predpokladu sa pri možnosti rýchleho presunu medzi jednotlivými meranými bodmi vyznačuje v porovnaní so statickou metódou jednoznačnou úsporou času (obr. 2.1).



Obr. 2.1 Schéma porovnania časovej náročnosti metód

Treba znova zdôrazniť, že uvedené charakteristiky metód sa vzťahujú na optimálne meračské podmienky. Lokalita prieseku lesnej cesty v prostredí vysokého tvaru lesa sa však takýmito podmienkami nevyznačuje [10]. Primárnym cieľom práce je preto preveriť dve rýchle varianty statickej metódy merania GNSS pre presné určovanie polohy bodov v prostredí lesa. Vo všeobecnosti existuje veľké množstvo činiteľov (modelovateľných i daných), o ktorých je známe že zásadným spôsobom ovplyvňujú priebeh a výsledky meraní GNSS. Táto práca je preto popri svojom primárnom cieli zameraná na sledovanie niekoľkých modelovateľných faktorov so známou tendenciou vplyvu na meranie, ako aj takých u ktorých o určitej tendencii existuje zatiaľ len predpoklad.

Ciele práce:

1) Na podklade experimentálnych meraní posúdiť potenciál a vhodnosť rýchlej statickej metódy a pseudokinematickej metódy určovania polohy technológiou GNSS v lesníckej meračskej praxi,
2) Vyhodnotiť vplyv sledovaných faktorov na úspešnosť a presnosť meraní,
3) Získané poznatky zovšeobecniť a vysloviť odporúčania pre lesnícku meračskú prax.

3 Materiál a metódy

3.1 Použité prístrojové a programové vybavenie

Pre potreby získania a spracovania experimentálneho materiálu tejto práce sa využívajú geodetické prístroje a softvérové aplikácie, umožňujúce automatizáciu celého procesu spracovania jednotlivých meraní. Ich technické parametre a z nich vyplývajúce meračské možnosti je potrebné prinajmenšom stručne popísať.

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. Pre prácu v reálnom čase a pri potrebe monitorovania niektorých dôležitých činiteľov merania sa funkcie prijímača ovládajú prostredníctvom mobilného kontrolera TOPCON FC 100/200. 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 [13].
Prípravu terénnych prác, ich vykonanie a vyhodnotenie výsledkov umožnili programy CGS Kokeš, Geoplot, TranGPS, Microsoft Excel ako aj špecializovaný štatistický program. Kľúčovým programom v ktorom prebiehalo samotné spracovanie surových dát je softvérový balík TOPCON Tools verzia 7.3.

3.2 Metodika práce

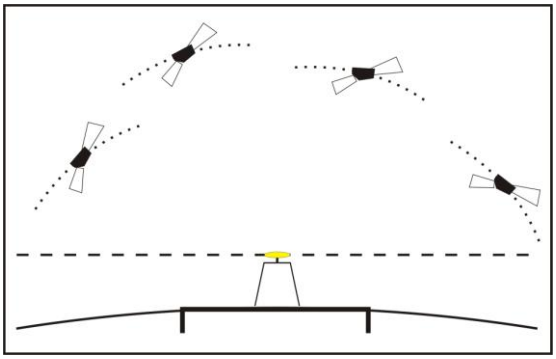
Ako už bolo uvedené, táto práca je zameraná na testovanie dvoch metód určovania polohy bodov prostredníctvom technológie GNSS. Rýchla statická metóda (fast static) a metóda pseudokinematická (pseudokinematic) patria medzi rýchle moderné techniky GNSS. Metodika príspevku bola navrhnutá tak, aby bolo možné preveriť potenciál týchto metód v prostredí lesa a navzájom ich porovnať.
Experimentálny materiál predstavuje rozsiahly súbor nameraných dát, získaných ako odchýlky nameranej polohy od polohy správnej – a to zvlášť v jednotlivých súradniciach (x, y, h) súradnicového systému S-JTSK a Bpv. Výskumné objekty zriadené pre tento účel predstavujú 2 siete bodov, stabilizované geodetickými klincami v telese lesnej cesty, ktoré sa nachádzajú na 2 lokalitách s odlišnými porastovými charakteristikami. Lokality sa nachádzajú v katastrálnom území obce Kováčová a z technického hľadiska sa v porastových charakteristikách líšia predovšetkým vekom, hrúbkovou a výškovou štruktúrou a objemom korún. Drevinové zloženie bolo posudzované najmä z ohľadom na vyrovnanosť zastúpenia listnatých a ihličnatých drevín, resp. u oboch lokalít bolo žiadúce prinajmenšom 50% zastúpenie listnatých drevín (tab. 3.1).

Tab. 3.1 Základný opis porastov

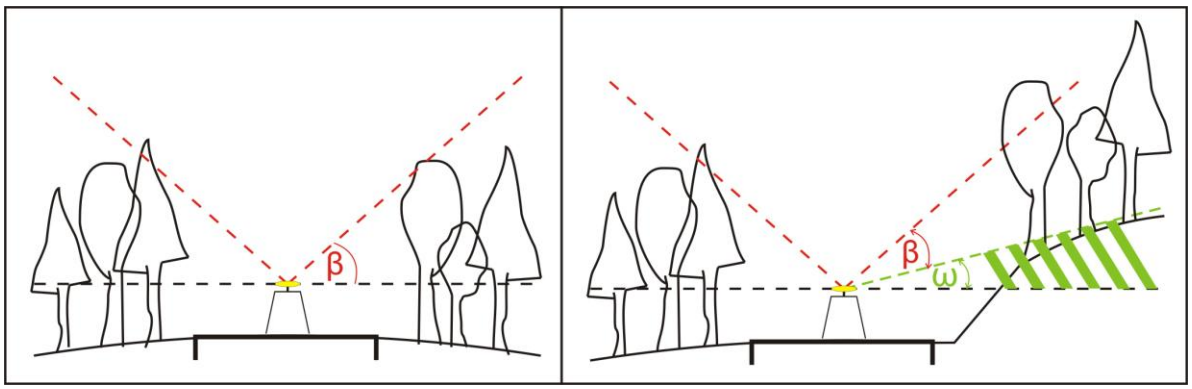
	Porast 1	Porast 2
Dielec č.	308, 309, 310	316, 317
Vek	35r.	65r.
Zakmen.	0,9	0,9
Drevinové zloženie	BO 20% DB 25% SM + HB 20% BK 10% SC 25%	SM 60% DB 30% BO + HB 10%

Obe siete tvorí 10 jednotlivých bodov, ktorých správna poloha bola určená najpresnejšou dostupnou geodetickou metódou: polárnou metódou pomocou elektronického tachymetra TOPCON GPT 3002LN v dvoch polohách ďalekohľadu zo stanovísk, ktoré sú bodmi

obojstranne pripojeného polygónového ťahu. Polygónový ťah spĺňa kritériá 2. triedy presnosti pre hlavné ťahy s krátkymi dĺžkami strán v zmysle Inštrukcie na práce v polohových bodových poliach 984 121 I/93 (1994) [11].
Pri výbere vhodných lokalít pre založenie výskumných objektov sa prihliadalo okrem porastových charakteristík aj na iné kritériá. Pre dosiahnutie cieľov tejto práce, bolo pri výbere snahou do určitej miery optimalizovať podmienky, ktoré majú 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, kde všetky merania prebiehali 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 vykonajú merania je pritom ovplyvnená dvoma spôsobmi. Na jednej strane je to prítomnosť drevinovej zložky lesných porastov v blízkosti stanovišťa merania a na druhej strane lokálne reliéfne pomery, ktoré spôsobujú vznik rozdielu medzi otvoreným a skutočným horizontom (Obr. 3.1, 3.2).



Obr. 3.1 Horizontálna rovina prijímača bez prítomnosti prekážok



Obr. 3.2 Zmenšenie uhla príjmu neskreslených družicových signálov voči horizontálnej rovine prijímača

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 boli lokality pre založenie výskumných objektov koncipované v rovinatom (sklonitosť do 25%), lokálne nečlenitom teréne. Eliminuje sa tým vplyv expozície a sklonu terénu, ako aj vplyv geomorfologických prekážok.
Na počet družíc využiteľných pre meranie z teoretického hľadiska môže mať vplyv i orientácia pozdĺžnej osi cesty, resp. uhol ktorý zviera táto os s pomyselnou horizontálnou osou družicových dráh. Počet družíc a dĺžky úsekov dráh odpovedajúce časovým intervalom, počas ktorých je možné priame šírenie signálov k prijímaču sú z tohto pohľadu rôzne. Aby sa z výsledkov meraní

eliminoval tento efekt, boli body na lesných priesekoch rozvrhnuté tak, aby bola orientácia osí jednotlivých úsekov premenlivá.

3.3 Postup zberu a členenie experimentálneho materiálu

Prvú etapu vonkajších prác tvorilo založenie výskumných objektov v zvolených lokalitách. Po uskutočnení rozhodnutia o umiestnení dvoch bodových sietí sa vykonalo meranie pre získanie referenčných súradníc. Použil sa pri tom existujúci polygónový ťah zriadený katedrou HÚLaG pre potreby študentských i vedeckých prác a elektronický tachymeter TOPCON GPT 3002 LN. Tieto práce prebehli v marci 2009, pričom zakrátko na to prebehla aj prvá séria testovacích meraní technológiou GNSS.
Testovacie meranie prebiehalo tak, že sa v rámci jednej lokality vykonalo meranie s príslušnou dĺžkou observácie postupne na všetkých desiatich bodoch a následne sa celý postup zopakoval. Výsledkom boli dvojice observácií v trvaní 5+5 minút a 3+3 minúty. Prakticky sa tak získal materiál pre uplatnenie oboch predmetných metód merania GNSS. Pri kancelárskom spracovaní sa výpočet nameraných polôh bodov vykonal najprv len s použitím prvej časti jednotlivých dvojíc observácií, čo predstavuje rýchlu statickú metódu. Následne sa výpočet zopakoval už s použitím oboch observácií každého bodu a tým sa naplnili podmienky pre metódu pseudokinematickú. Takto prebehli postupne štyri série meraní na lokalitách Porast 1 aj Porast 2, pričom všetky série prebehli v čase vegetačného pokoja. Pri všetkých meraniach bol prednastavený záznam všetkých dostupných družíc družicových systémov GPS a GLONASS a výškový filter prijímača GNSS na hodnotu 10°. Počas všetkých observácií prebiehalo paralelné meranie druhým identickým prijímačom s rovnakým nastavením na trigonometrickom bode o známych súradniciach, čím sme získali dáta referenčnej stanice pre výpočet vektorov. Na druhej strane sme okrem tejto nami zriadenej referenčnej stanice získali aj dáta virtuálnej referenčnej stanice prostredníctvom Slovenskej permanentnej observačnej služby (SKPOS). Prvá a druhá séria meraní sa realizovala s nastavením intervalu registrácie družicových dát na hodnotu 5 s. Tretia a štvrtá séria sa vykonala s cieľom otestovať zhustenie záznamu surových dát s nastavením registrácie na hodnotu 1 s.
Výpočty nameraných polôh prebiehali postupne so získavaním jednotlivých sérií dát. Každý výpočet sa vykonal jednak so všetkými zaznamenanými dátami družíc systémov GPS a GLONASS a zvlášť s použitím dát plne funkčného amerického systému GPS. Rovnako každý výpočet polôh bodov prebiehal v dvoch variantoch: 1) ako vektory vzhľadom na vlastnú referenčnú stanicu vzdialenú cca. 0,5 km ; 2) ako vektory vzhľadom na virtuálnu referenčnú stanicu služby SKPOS.

3.4 Postup štatistického spracovania a vyhodnotenia materiálu

Pri spracovaní experimentálneho materiálu sa postupovalo v dvoch etapách. V prvej etape sa vykonalo primárne spracovanie všetkých výsledkov meraní (bez ohľadu na úspešnosť) v rámci tzv. výberových súborov najnižšej úrovne. Každý takýto súbor obsahuje 20 hodnôt diferencií v každej súradnici X,Y, h; a predstavuje základnú jednotku spracovania materiálu s jedinečnou kombináciou sledovaných faktorov (1) až (6). Prehľad o kombinácii sledovaných faktorov vo výberovom súbore najnižšej úrovne č.1, ako aj o princípe zmeny tejto kombinácie poskytuje tabuľka č. 3.2.

Tab. 3.2 Kombinácia sledovaných faktorov vo výberových súboroch najnižšej úrovne

	VS1 č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9-128
(1)	metóda merania	pseudokin	pseudokin	pseudokin	pseudokin	pseudokin	pseudokin	pseudokin	pseudokin	...
(2)	družicové systémy	GPS+GLO	GPS+GLO	GPS+GLO	GPS+GLO	GPS+GLO	GPS+GLO	GPS+GLO	GPS+GLO	...
(3)	porast	porast 1	porast 1	porast 1	porast 1	porast 1	porast 1	porast 1	porast 1	...
(4)	korekčné dáta	referenč. st.	referenč. st.	referenč. st.	referenč. st.	SKPOS	SKPOS	SKPOS	SKPOS	...
(5)	observačná doba	5 min	5 min	3 min	3 min	5 min	5 min	3 min	3 min	...
(6)	interval registrácie	1 s	5s	1 s	5s	1 s	5 s	1 s	5s	...

V druhej etape sa pristúpilo k spracovaniu výsledkov v rámci vyšších jednotiek, ktoré sa vytvorili na základe zhody súborov VS1 v konkrétnom sledovanom faktore. Tento postup umožnil posúdenie vplyvu jednotlivých sledovaných faktorov, prípadne ich kombinácií. Opísaný postup, pri ktorom sa vyhodnotenie zameriava na jeden faktor a zanedbá pôsobenie ostatných je nevyhnutný pre zovšeobecnenie zistených závislostí a vyslovenie odporúčaní pre meračskú prax. Predstavu o združovaní súborov VS1 do vyššej jednotky na konkrétnom príklade poskytuje tabuľka 3.3.

Tab. 3.3 Združenie výberových súborov najnižšej úrovne do vyššej jednotky za účelom sledovania vplyvu metódy merania /faktor (1)/ a lesného porastu /faktor (3)/ na výsledky meraní.

	VS1 č.	1	2	3	4	5				
(1)	metóda merania	pseudokin	pseudokin	pseudokin	pseudokin	pseudokin	pseudokin	pseudokin	pseudokin	...
(2)	družicové systémy	GPS+GLO	GPS+GLO	GPS+GLO	GPS+GLO	GPS+GLO	GPS+GLO	GPS+GLO	GPS+GLO	...
(3)	porast	porast 1	porast 1	porast 1	porast 1	porast 1	porast 1	porast 1	porast 1	...
(4)	korekčné dáta	referenč. st.	referenč. st.	referenč. st.	referenč. st.	SKPOS	SKPOS	SKPOS	SKPOS	...
(5)	observačná doba	5 min	5 min	3 min	3 min	5 min	5 min	3 min	3 min	...
(6)	interval registrácie	1 s	5s	1 s	5s	1 s	5 s	1 s	5s	...

Pri samotnom vyhodnocovaní jednotlivých meraní sa najprv získali jednoduché diferencie nameranej polohy od referenčnej (správnej) polohy vo všetkých smeroch súradnicového systému S-JTSK a Bpv. Pre účely ďalších štatistických a logických analýz, sa referenčné súradnice bodov pokladali za absolútne správne.

$$\Delta x = X_M - X_S \qquad \Delta y = Y_M - Y_S \qquad \Delta h = h_M - h_S$$

Kde: XM,YM,hM – merané hodnoty súradnice
XS,YS,hS – správne hodnoty súradnice

V rámci každého VS1 boli následne vypočítané základné štatistické charakteristiky: aritmetický priemer, smerodajná odchýlka, rozptyl, stredná kvadratická chyba a stredná polohová chyba.

$$\overline{\Delta x}, \overline{\Delta y}, \overline{\Delta h} \qquad s\Delta x, s\Delta y, s\Delta h \qquad s^2{}_{\Delta x}, s^2{}_{\Delta y}, s^2{}_{\Delta h} \qquad mx, my, mh \qquad mxy$$

Z podstaty odchýlky nameranej hodnoty od hodnoty správnej vyplýva, že dostatočne rozsiahly súbor odchýlok nadobúda normálne rozdelenie. Rozsah jednotlivých výberových súborov VS1 (n = 20) však nepostačuje na to aby sme spoľahlivo mohli potvrdiť či vylúčiť normálnosť rozdelenia hodnôt. Každý VS1 preto len charakterizujeme aritmetickým priemerom a smerodajnou odchýlkou diferencií, strednou kvadratickou chybou určenia všetkých troch súradníc X, Y, h a strednou polohovou chybou mxy .

Ďalej sa v rámci každého VS1 stanoví počet fixných riešení, ktorých odchýlky budú v ďalšom postupe uvažované ako súčasť výberového súboru vyššej úrovne (tab. 3.2). Združovanie hodnôt odchýlok fixných riešení do súborov vyššej úrovne je možné nielen z hľadiska logického, ale aj z pohľadu štatistického, nakoľko vzniknuté súbory vykazujú normalitu rozdelenia hodnôt (posúdenie histogramu, testy normality).

Pre každý vyhodnocovaný faktor merania jednej zo 6 úrovní členenia experimentálneho materiálu tak vykonávam dvojité vyhodnotenie. Uvažujem zvlášť všetky hodnoty odchýlok,

a zvlášť len odchýlky fixných riešení. Vyhodnotením získaných poznatkov o všetkých dosiahnutých hodnotách diferencií získame predstavu a všeobecnej presnosti danej metódy (resp. variantu metódy). Pri vyhodnotení poznatkov o hodnotách diferencií len fixných riešení posúdime úspešnosť použitia a zároveň najvyššiu dosiahnuteľnú presnosť danej metódy za daných podmienok.

4 Výsledky

Les samotný a prítomnosť geomorfologických prekážok spôsobujú, že pri meraní technológiou GNSS pod clonou lesného porastu nie je možné plnohodnotne využiť fázový princíp merania (code-phase), čo často vedie k určeniu nestabilnej tzv. plávajúcej polohy, resp. k možnosti merania iba prostredníctvom kódov (code-range). Kódová technika sa využíva u väčšiny civilných negeodetických aplikácií ako napríklad cestná či turistická navigácia, pričom dosiahnutie subdecimetrovej presnosti vyžaduje dlhodobé meranie, alebo využitie rôznych podporných systémov či špeciálnych postupov. U krátkych observácií, ktorými sa vyznačujú rýchle metódy GNSS merania je pre dosiahnutie geodetickej presnosti nevyhnutné uplatňovať fázový princíp výpočtu polohy. Získanie výlučne fixných výpočtov polôh bodov v rámci experimentálneho materiálu by bolo mimoriadne časovo náročné a vyžadovalo by si opakovanie meraní s neuspokojivými výsledkami. Toto by bolo jednoznačne v rozpore s väzbou na geodetickú prax, keďže testované metódy sú v prvom rade rýchle a hospodárne. Spracovaním surových dát boli tak získané polohy bodov s fixným aj plávajúcim výpočtom. Ako uvádza kapitola 2.2, osobitne boli hodnotené súbory hodnôt odchýlok všetkých riešení a osobitne fixné riešenia. Z geodetického hľadiska sú jednoznačne vyhovujúce a upotrebiteľné iba fixné výpočty polohy bodov, u ktorých je riziko nespoľahlivosti veľmi nízke. Vyhodnotenie všetkých riešení bez ohľadu na fixáciu určenej polohy však umožňuje posudzovať všeobecnú presnosť jednotlivých variantov meraní.
Prvým posudzovaným faktorom merania, je samotná metóda merania. Každú z testovaných metód charakterizujú vybrané ukazovatele (tab. 4.1). V tabuľke sú zosumarizované výsledky v podobe strednej polohovej a strednej výškovej chyby. Uvedenými ukazovateľmi je kvantifikovaný potenciál jednotlivých metód na základe čoho sú následne vzájomne porovnané.

Tab. 4.1 Vybrané ukazovatele výsledkov pseudokinematickej a rýchlej statickej metódy

pseudokinematická metóda

presnosť	mxy	mh	úspešnosť	N	N%
všetky	0,526	1,459	všetky	608	
fixné	0,075	0,093	fixné	310	51

rýchla statická metóda

presnosť	mxy	mh	úspešnosť	N	N%
všetky	0,778	1,867	všetky	608	
fixné	0,087	0,101	fixné	234	38

Z uvedeného tabuľkového prehľadu je zrejmé že pseudokinematická metóda poskytla bez ohľadu na vedľajšie sledované faktory jednoznačne lepšie výsledky. V 51% prípadov bolo u pseudokinematickej metódy dosiahnuté fixné riešenie polohy, zatiaľ čo u rýchlej statickej v 38% prípadov. Jej výsledná presnosť v polohovej zložke bola 0,075 m a výškovej 0,093 m; naproti hodnotám 0,087 m a 0,101 m u rýchlej statickej metódy. Dosiahnutá presnosť všetkých riešení bola u pseudokinematickej metódy 0,526 m v polohe a 1,459 m v nadmorskej výške; zatiaľ čo u rýchlej statickej boli dosiahnuté stredné chyby vyššie. Rozdiel činí 0,25 m v polohe a o 0,37 m v nadmorskej výške.
V ďalšom sa pozornosť zamerala na zhodnotenie ďalšieho sledovaného faktora: korekcie pre výpočet vektorov. V prvom prípade boli vo výpočtoch využité dáta vlastnej referenčnej stanice, v prípade druhom to boli dáta virtuálnej referenčnej stanice SKPOS. Tabuľka č. 4.2 poskytuje

prehľad o ukazovateľoch charakterizujúcich výpočet s dátami vlastnej a virtuálnej referenčnej stanice bez ohľadu na ostatné sledované faktory.

Tab. 4.2 Vybrané ukazovatele výsledkov meraní s vlastnou a virtuálnou referenčnou stanicou

vlastná referenčná stanica

presnosť	Δxy	Δz	úspešnosť	N	N%
všetky	0,593	1,413	všetky	608	
fixné	0,077	0,131	fixné	339	55,8

virtuálna stanica SKPOS

presnosť	Δxy	Δz	úspešnosť	N	N%
všetky	0,729	1,903	všetky	608	
fixné	0,085	0,360	fixné	205	33,7

Zo sumárnej tabuľky je zrejmé, že vo vzájomnom porovnaní všetkých sledovaných ukazovateľov sa lepšie javí meranie s vlastnou referenčnou stanicou. Poloha tu bola určená fixným výpočtom v 56% prípadov, zatiaľ čo pri virtuálnej stanici to bolo len 34%. Výsledná presnosť fixných výpočtov bola v polohe 0,077 m a výškovej zložke 0,131 m; pričom u dát virtuálnej stanice 0,085 m v polohe a 0,360 m v nadmorskej výške. Významné rozdiely sa teda prejavili najmä vo výškovej zložke vypočítanej polohy. Pri zhodnotení všetkých riešení výpočty s vlastnou referenčnou stanicou poskytli presnosť určenia polohy 0,593 m a určenia výšky 1,413 m; oproti hodnotám 0,729 m a 1,903 m u virtuálnej stanice SKPOS.

Nasledujúcim sledovaným faktorom je využitie globálnych družicových systémov, resp. potenciálny prínos využitia družíc systému GLONASS. Tabuľka č. 4.3 poskytuje prehľad o ukazovateľoch výsledkov pri porovnaní merania s využitím plne funkčného družicového systému GPS a s využitím oboch dostupných globálnych systémov GPS a GLONASS. Tabuľka nezohľadňuje ostatné v práci sledované faktory.

Tab. 4.3 Vybrané ukazovatele výsledkov meraní s využitím družicového systému GPS a oboch systémov GPS a GLONASS

GPS

presnosť	Δxy	Δz	úspešnosť	N	N%
všetky	0,675	1,531	všetky	608	
fixné	0,060	0,281	fixné	300	49

GPS a GLONASS

presnosť	Δxy	Δz	úspešnosť	N	N%
všetky	0,653	1,809	všetky	608	
fixné	0,053	0,191	fixné	244	40

Výsledky preukázali, že úspešnosť fixných riešení bola u systému GPS 49%, u oboch systémov GPS a GLONASS 40%. Pri využití oboch systémov s uvažovaním len fixných riešení boli dosiahnuté presnosti v polohe 0,053 m a nadmorskej výške 0,191 m; zatiaľ čo bez družíc GLONASS to bolo v polohe 0,060 m a vo výške 0,281 m. Pri zhodnotení analýzy všetkých riešení sa zistila o málo vyššia presnosť polohovej zložky u oboch družicových systémov, 0,653 m; v porovnaní s hodnotou 0,675 m u systému GPS. Z tabuľky je ale zrejmé že výšková presnosť bola u oboch systémov (1,809 m) v porovnaní s GPS (1,531 m) významne nižšia. Toto však vyvažuje fakt, že rozptyly hodnôt výberových súborov najnižšej úrovne tu boli menšie, pravdepodobne vďaka menšiemu výskytu extrémnych hodnôt.

Posledným sledovaným faktorom, ktorého výsledky analýz boli zovšeobecnené je dĺžka observačnej doby. Pristúpilo sa preto najprv k štatistickému spracovaniu dát všetkých meraní so zreteľom na dĺžku observácie (5 min resp. 3 min), bez ohľadu na ostatné sledované činitele. Prehľad sumarizovaných ukazovateľov poskytuje tabuľka Tab. 4.4.

Tab. 4.4 Vybrané ukazovatele výsledkov meraní s dobou observácie 5 minút a 3 minúty

5 min resp. 5 + 5 min

presnosť	Δxy	Δz	úspešnosť	N	N%
všetky	0,628	1,564	všetky	608	
fixné	0,054	0,269	fixné	308	51

3 min resp. 3 + 3 min

presnosť	Δxy	Δz	úspešnosť	N	N%
všetky	0,698	1,780	všetky	608	
fixné	0,061	0,207	fixné	236	39

U 5 minútových observácií dosiahla úspešnosť fixných riešení 51%, pričom u kratších 3 minútových to bolo 39%. Vyhodnotením analýz fixných riešení sa pri dlhších meraniach zistila vyššia polohová presnosť (0,054 m) a naopak nižšia výšková presnosť (0,269 m). Poloha bodov pri 5 minútových observáciách bola určená o 0,007 m presnejšie a nadmorská výška o 0,066 m nepresnejšie ako u 3 minútových observácií. Pri analýzach všetkých riešení bolo možné konštatovať pozitívnejšie výsledky u 5 minútových observácií, kde sa dosiahli presnosti určenia polohy 0,628 m a nadmorskej výšky 1,564 m; v porovnaní s hodnotami 0,698 m v polohe a 1,780 m vo výške u 3 minútových observácií.

5 Zhrnutie a diskusia

Pri vzájomnom porovnaní pseudokinematickej a rýchlej statickej metódy merania technológiou GNSS možno konštatovať že prvá z uvedených sa ukázala po všetkých stránkach lepšia. Úspešnosť fixného výpočtu polohy 51% je o 13% vyššia ako u rýchlej statickej metódy, čo možno pripísať dvojnásobne väčšiemu objemu dát pre výpočet a tým zvýšeniu pravdepodobnosti správneho (fixného) riešenia. Samotná presnosť je u fixných riešení taktiež vyššia, avšak len o hodnotu 0,012 m v polohovej a 0,008 m vo výškovej zložke čo činí asi o 14% a 8% vyššiu presnosť oproti rýchlej statickej metóde. Pri posúdení všetkých riešení možno taktiež konštatovať celkové zlepšenie o 0,25 m v polohovej a o 0,37 m vo výškovej zložke.
Vzájomné porovnanie výsledkov získaných výpočtom s vlastnou a virtuálnou referenčnou stanicou sa ako úspešnejšia i presnejšia jasne prejavila fyzicky zriadená vlastná stanica. Podiel úspešnosti fixných riešení z celkového počtu meraní tu bol 56%, čo je o 22% viac ako u virtuálnej stanice. Pri porovnaní presnosti u fixných riešení sa významným spôsobom prejavili najmä rozdiely v určení nadmorskej výšky. Výpočty s dátami vlastnej stanice určili nadmorskú výšku s presnosťou 0,13 m, zatiaľ čo u dát virtuálnej stanice to bolo až 0,36 m. Služba SKPOS s virtuálnymi referenčnými dátami sa teda osvedčila pri určovaní polohy, kde sú zistené rozdiely zanedbateľné, no pri určovaní nadmorských výšok sa dáta vlastnej stanice preukázali ako výrazne (0,23 m; 64%) presnejšie. U všetkých riešení bola dosiahnutá presnosť použitia vlastnej referenčnej stanice vyššia o 0,25 m v polohe a o 0,37 m v nadmorskej výške. Tieto výsledky možno vziať ako určitú konfrontáciu voči tvrdeniam o rovnocennosti virtuálnych a vlastných referenčných dát.
Pri skúmaní prínosu družicového systému GLONASS na úspešnosť a presnosť meraní sa preukázalo, že u fixných riešení poskytuje spoločné využitie s družicami GPS značne vyššiu presnosť najmä pri určovaní nadmorských výšok. Výšková chyba mh vykázala hodnotu 0,191 m, teda o 0,09 m (32%) nižšiu ako u systému GPS. Významný rozdiel bol zistený pri výškovej zložke presnosti, čo možno pripísať zvýšenému počtu spoločne observovaných družíc [3]. Ak sa zameriame na všeobecnú presnosť, táto vykazuje relatívnu rovnocennosť v oboch prípadoch použitia družicových systémov. Na základe uvedeného možno konštatovať, že pri súčasnom vysokom počte družíc GNSS nie je hlavným prínosom systému GLONASS zvýšenie presnosti, ale zvýšenie spoľahlivosti výsledkov čo sa prejavuje najmä v neštandardných meračských podmienkach.
Zhrnutím zistených poznatkov o prínose predĺženia observačnej doby z 3 na 5 minút možno konštatovať nasledovné. Podiel fixných riešení sa v dôsledku jej predĺženia zvýšil na z 39% na 51%. Došlo tak k významnému zvýšeniu úspešnosti merania, čo treba vyzdvihnúť aj napriek tomu že u výškovej zložky presnosti došlo po predĺžení observačnej doby k miernemu zhoršeniu z mh 0,207 m na hodnotu 0,269 m. Všeobecná presnosť merania sa mierne zvýšila, no markantné je najmä zníženie podielu extrémnych hodnôt, čo dokazujú nižšie hodnoty rozptylov u 5 minútových observácií.

Pre praktické uplatnenie v lesníckej meračskej praxi možno na podklade uvedených výsledkov analýz vysloviť niekoľko zásadných odporúčaní. Ak sa uvažuje o nasadení niektorého z variantov rýchleho statického merania technológiou GNSS, a predmetné územie, na ktorom sa majú merania vykonať nie je členité čo umožňuje rýchly presun medzi stanovišťami merania, je vhodné prikloniť sa k opakovanej observácii, čiže metóde pseudokinematickej. Pre meranie možno tiež odporučiť zriadenie vlastnej referenčnej stanice, samozrejme za predpokladu dispozície dvoch geodetických prijímacích aparatúr GNSS. Aj napriek nižšej presnosti a spoľahlivosti služby SKPOS, predpokladáme že bude naďalej plnohodnotne využívaná, vzhľadom na jej ďalšiu modernizáciu a relatívnu finančnú nenáročnosť. Pri zriaďovaní vlastnej referenčnej stanice v súvislo lesnatých územiach možno navyše naraziť na ďalšie problémy predovšetkým týkajúce sa zníženia flexibility merania. Službu SKPOS treba však vo všeobecnosti vyzdvihnúť, vzhľadom na to že predstavuje prevratný prvok v procese využívania GNSS nielen v oblasti geodézie, kde jednoznačne prispieva k ďalšiemu zvýšeniu operatívnosti tejto progresívnej technológie. V dnešnej dobe sa už štandardne vyrábajú geodetické prijímače s možnosťou využitia ruského systému, bez zásadného navýšenia obstarávacích nákladov. Merania preto odporúčame vykonávať s minimálnou dĺžkou observácie 5 minút, pri súčasnom využívaní družíc oboch dostupných družicových systémov GPS a GLONASS. Zásadne tým merač zvyšuje nielen presnosť ale predovšetkým spoľahlivosť výsledkov meraní. U vyššieho počtu družíc a väčšieho objemu surových dát, možno prípadný výskyt komplikácií vyriešiť niekoľkými cestami a pritom napríklad pri predĺžení doby observácie na 2 krát 5 až 7 minút nie je výrazne ovplyvnená časová náročnosť merania.

Uvedený príspevok v rámci riešenia vedeckého projektu VEGA MŠ SR a SAV č. 1/05 60/09 s názvom „Racionalizácia lesníckeho mapovania“.

Použitá literatúra

1) Hasegawa H., Yoshimura, T.: Estimation of GPS positional accuracy under different forest conditions using signal interruption probability, Journal of forest research, Vol. 12, 006-0245-4, 2007, 28 s.,
2) Hefty, J., Husár, L.: Družicová geodézia. Globálny polohový systém, STU Bratislava, 2008, 188 s., ISBN 978-80-227-2807-2,
3) Meluš, J.: Využitie GNSS pri lesníckom mapovaní, Dizertačná práca, TU vo Zvolene, 2008, 96 s.,
4) Naesset, E., Gjevestad J.G.: Performance of GPS precise point positioning under conifer forest canopies, In: Photogrammetric engineering & remote sensing, Vol. 74, No.5, 2008, pp. 661– 668,
5) Rodríguez-Pérez, J. R., Álvarez, et. al: Comparsion of GPS receiver accuracy and precision in forest environments. practical recommendations regarding methods and reciever selection, shaping the change, XXIII FIG Congress article, Munich, 2006, 16 p.,
6) Scheer, Ľ.: Biometria, Vysokoškolská učebnica, Technická univerzita Zvolen, 2006, 334 s., ISBN 978-80-228-1723-3,
7) Tomaštík, J.: Porovnanie metód merania a výpočtu buzolového ťahu v lesníckom mapovaní, In: Lesnícka geodézia a fotogrametria – trendy, zborník referátov sympózia, Technická univerzita vo Zvolene, 2008, s. 65-75, ISBN 978-80-228-1949-7
8) Wendel, J.: Integrierte Navigationsysteme, Sensordatenfusion, GPS und inertiale Navigation, Oldenbourg Wissenschaftverlag GmbH, München, 2007, 336 s., ISBN 978-3-486-58160-7,

9) Žíhlavník, A.: Hospodárska úprava lesov, vysokoškolská učebnica, TU vo Zvolene, 2008, 388 s., ISBN
10) Žíhlavník, Š., Meluš, J.:Využitie GNSS pri lesníckom mapovaní, Vedecká štúdia, Technická univerzita vo Zvolene, 2009, 77 s., ISBN 978-80-228-2013-4,
11) Inštrukcia na práce v polohových bodových poliach 984 121 I/93 (1994)
12) Technická norma STN 013410 „Mapy veľkých mierok – základné a účelové mapy“
13) Užívateľské príručky a firemná literatúra TOPCON
14) http://www.forestportal.sk/ForestPortal/lesne_hospodarstvo/mapovanie/fotogrametria/fotogrametria.html