

PREDIKCIA PRESNOSTI URČOVANIA POLOHY GNSS TECHNOLOGIOU V LESNOM PROSTREDÍ

Peter KAMENSKÝ

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

T. G. Masaryka 2117/ 24, 960 53, Zvolen, Slovenská republika

kamenskyp@vsld.tuzvo.sk

Abstrakt: Geodetické merania sú stále najpresnejším zdrojom geometrickej časti priestorových údajov. Významným racionalizačným prvkom geodetickej praxe je využívanie GNSS technológie. Lesné prostredie svojimi špecifickými podmienkami limituje využívanie tohto spôsobu určovania polohy. Príspevok pojednáva o možnosti predikcie základnej strednej súradnicovej chyby, ktorá je dosahovaná pod clonou lesného porastu. Na získanie dát potrebných pre konštrukciu predikčného modelu bola použitá rýchla statická metóda s 5-minútovou dobou observácie. Boli skúmané nasledovné faktory vplyvajúce na presnosť určenia polohy v prostredí lesného prieseku GNSS technológiou: zakmenenie, percento viditeľnej oblohy, hrúbka a vzdialenosť tieniacich drevín, výška stromov. Pre účel skúmania možnosti predikcie základnej strednej súradnicovej chyby a jej závislosti od vplyvujúcich faktorov boli použité metóda viacnásobnej regresnej a korelačnej analýzy a metóda neurónových sietí. Podľa štatistického modelu vytvoreného regresnou a korelačnou analýzou je najvýznamnejším faktorom vplyvujúcim na presnosť GNSS technológie v lese hrúbka a vzdialenosť tieniacich drevín, ďalšími relevantnými faktormi sú zakmenenie a výška stromov. Opodstatnenosť zavedenia ďalších skúmaných faktorov do modelu popisujúceho závislosť základnej strednej súradnicovej chyby od faktorov merania sa nepreukázala. Potencionálne lepší model môže byť získaný pri použití dlhšej observačnej doby a pri vykonaní väčšieho počtu meraní. Metóda neurónových sietí poskytuje mierne lepšie výsledky.

Abstract: Today geodetic measurements are still the most accurate source of geometric part of spatial data. The significant rationalization element of geodetic practice is application of GNSS technology. Forest environment with its specific conditions limits this method of position determination. This article deals with prediction of mean coordinate error which is caused by forest covering. The rapid static method with 5-minutes observational period was used for acquiring of data needed to predictional model construction. The following factors influencing positional accuracy in environment of forest ride by GNSS technology were examined: stocking degree, percentage of visible sky, distance and thickness of shading trees, height of trees. The multiple regression and correlation analysis and method of neural networks were used for investigation of possibility mean coordinate error prediction and for investigation of dependency between mean coordinate error and factors determining its size. According the statistical model constructed by regression and correlation analysis, the most significant factor influencing the GNSS technology accuracy in the forest environment are distance and thickness of shading trees, the next relevant factors are the stocking degree and the height of trees. Validity of next studied factors addition into the model describing the dependency between mean coordinate error and measurement factors did not proved. The potential better model can be obtained by using longer observational period and by carrying out more measurements. The method of neural networks gives slightly better results.

Kľúčové slová: GNSS technológia, lesné prostredie, predikcia presnosti

Keywords: GNSS technology, forest environment, accuracy prediction

1. ÚVOD

Použitie Globálnych navigačných satelitných systémov (ďalej "GNSS") predstavuje efektívny prostriedok pre zber primárnych údajov pre projekty GIS, v ktorých je požadovaná vysoká presnosť určenia polohy, resp. pre projekty z oblasti geodézie. Limitujúcim faktorom technológie GNSS ostáva viditeľnosť oblohy. Prítomnosť prekážok pre bezproblémový príjem satelitného signálu v mieste merania spôsobuje znižovanie presnosti určenia priestorovej polohy. Extrémny prípad aplikácie GNSS predstavujú observácie v podmienkach lesného prostredia. Autori zaoberajúci sa touto problematikou uvádzajú, že dosiahnutú presnosť determinujú použitá metóda merania, prístrojové vybavenie, dĺžka observácie, aktuálna konštelácia a počet viditeľných družíc, geomorfológia terénu, druh porastu, zápoj, zakmenenie, či výskyt hrubých kmeňov v blízkosti určovaných bodov (napr. [1], [3], [6]). Charakter lesa v mieste merania má teda podstatný vplyv na dosiahnutú presnosť určenia priestorovej polohy. Interval, do ktorého spadajú presnosti dosiahnuté pri experimentálnych meraniach jednotlivých autorov, je pomerne široký. Najlepšie výsledky korešpondujú so 4. ($u_{xy} = 0,26$ m), resp. 5. triedou presnosti mapovania ($u_{xy} = 0,50$ m) v zmysle STN 01 3410 Mapy veľkých mierok. Definovanie observačných podmienok, ktorých dodržanie by zabezpečovalo stabilné dosahovanie 5., resp. 4. triedy presnosti mapovania v zmysle spomenutej technickej normy, by rozšírilo aplikačné možnosti technológie GNSS v mapovaní. Predkladaným príspevkom chceme prispieť k riešeniu tejto problematiky. Cieľom príspevku je popísať silu závislosti medzi výslednou presnosťou a jednotlivými faktormi lesného prostredia pôsobiacimi na jej veľkosť. Nadväzujúcim cieľom je posúdenie možnosti predikcie dosiahnuteľnej presnosti určovania horizontálnej polohy v lesnom prostredí v závislosti od podmienok, resp. charakteru lesa, v ktorom bude meranie prebiehať pri danom prístrojovom vybavení.

2. MATERIÁL A METÓDY

2.1 Terénne merania

Predmetom merania bolo 8 vyselektovaných vrcholových bodov polygónového ťahu vedeného pozdĺž prevažne hrebeňovej lesnej odvoznej cesty v katastrálnych územiach Sielnica a Kováčová. Výber bodov prebehol so zreteľom na zachytenie rozmanitých stanovištných podmienok – rôzneho druhu porastu, zakmenenia, výšky hlavnej porastovej úrovne a percenta viditeľnej oblohy. Na všetkých stanovištiach boli zaznamenané tiež vzdialenosti a hrúbky desiatich najbližších tieniacich drevín. Merania GNSS aparátúrou boli realizované v čase vegetačného obdobia i kľudu a taktiež v prechodnom období. Na každom bode boli vykonané opakovane polhodinové observácie, čo umožnilo pri postprocessingovom spracovaní počítať s dvanástimi 5-minútovými meraniami na každom bode.

2.2 Použité prístrojové a softvérové vybavenie

Pre získanie referenčných súradníc predmetných vrcholov polygónového ťahu sme použili elektronický tachymeter Topcon GPT 3002. Výrobca udáva pre prístroj schopnosť merať vzdialenosti do 3 km s presnosťou ± 3 mm, uhlová presnosť dosahuje 2". Pre meranie technológiou GNSS sme použili duálny dvojfrekvenčný prístroj Topcon Hiper GGD. Výšky stromov boli zmerané výškomerom Blume-Leiss. Pravouhlé súradnice zameraného polygónu boli získané geodetickou aplikáciou Groma 7.0, spracovanie statickej metódy GNSS merania prebehlo v programovom prostredí Topcon Tools 7.5. Štatisticky boli dáta vyhodnotené v softvérovom balíku Statistica 8. Pre hodnotenie percenta viditeľnej oblohy boli na každom meranom bode vyhotovené hemisférické fotografie digitálnym fotoaparátom Nikon Coolpix 5400 so širokouhlým objektívom FC-E9 (tzv. rybie oko). Fotografie boli následne spracované v softvérovom produkte Gap Light Analyzer 2.0.

2.3 Metódy spracovania nameraných údajov

Korekčné údaje pre meranie GNSS boli poskytnuté službou SKPOS z virtuálnej a taktiež fyzickej referenčnej stanice. Merané body boli lokalizované 1 až 2,5 km od virtuálnej referenčnej stanice a 4,8 až 6,6 km od fyzickej referenčnej stanice. Použitý bol 1-sekundový interval registrácie dát. Pri riešení úlohy sme pre

určenie horizontálnej polohy záujmových bodov použili súradnicový systém Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej, a síce jeho realizáciu S-JTSK03. Jedná sa o realizáciu, v ktorej sú súradnice bodov v porovnaní so staršou realizáciou S-JTSK „očistené“ od mierkových deformácií [4]. V prvom kroku počítačského vyhodnotenia sme vypočítali súradnicové rozdiely $d_{xi(yi)}$ medzi súradnicami bodov určenými elektronickým tachymetrom X_{et} (Y_{et}) a súradnicami X_{gnss} (Y_{gnss}) určenými technológiou GNSS. V ďalšom kroku sme určili základné stredné chyby súradníc $m_{x(y)}$. Presnosť určenia polohy bodov GNSS prijímačom sme posudzovali pomocou základnej strednej súradnicovej chyby m_{xy} .

$$d_{xi(yi)} = X_{et}(Y_{et}) - X_{gnss}(Y_{gnss}) \quad (1)$$

$$m_{x(y)} = \sqrt{\frac{\sum d_{xi(yi)}^2}{n}} \quad (2)$$

i – poradové číslo

n – počet bodov v súbore

$$m_{xy} = \sqrt{0,5(m_x^2 + m_y^2)} \quad (3)$$

Nakoľko nezávislé znaky (zakmenenie, výška hlavnej porastovej úrovne, percento viditeľnej oblohy, hrúbka a vzdialenosť tieniacich drevín) i závislý znak (základná stredná súradnicová chyba m_{xy}) skúmanej korelácie majú kvantitatívny charakter, na analýzu vzťahu bola zvolená metóda viacnásobnej regresnej a korelačnej analýzy.

Pre skúmanie závislosti medzi nezávislými kvalitatívnymi znakmi (druh porastu, obdobie merania vzhľadom na vegetačnú aktivitu) a chybou m_{xy} bola zvolená dvojfaktorová analýza variancie.

Závislosť medzi všetkými nezávislými znakmi a m_{xy} bola skúmaná tiež sofistikovanou metódou neurónových sietí. Oproti klasickým štatistickým metódam má výhodu v tom, že je schopná ukladať experimentálne vedomosti a po „naučení sa“ vystihnúť aj skryté, i silne nelineárne závislosti a to i za prítomnosti šumu v trénovacej množine. Pre predikciu sú najviac používané viacvrstvové neurónové siete s dopredným šírením.

3. Výsledky a vyhodnotenie

3.1 Optimálne nastavenie GNSS prijímača

Pri danom prístrojovom vybavení a použití virtuálnej referenčnej stanice ako zdroja korekčných dát odporúčame pre výpočet statického merania vylúčiť z merania ruský globálny navigačný satelitný systém GLONASS a používať vyšší uhol elevačnej masky (15°). Odporúčenie resultuje z výsledkov merania zaznamenaných v Tabuľke 1:

Tab.1 Prehľad m_{xy} pri rôznych satelitných systémoch a uhloch elevačnej masky pri použití virtuálnej referenčnej stanice a dobe observácie 5 minút

Elevačná maska ($^\circ$)	Použitie družicové systémy		Rozdiel	
	GPS+GLONASS	GPS	(m)	(%)
10	1,030	0,769	-0,261	-34
15	1,050	0,755	-0,295	-39

Záporný vplyv systému GLONASS pre riešenie ambiguit pri použití virtuálnej referenčnej stanice uvádza tiež Faško (2010) [2]. Tento fenomén sa nevyskytuje pri použití fyzickej referenčnej stanice ako je to zaznamenané v Tabuľke 2. V tomto prípade sa GLONASS jednoznačne podieľa na zvýšení presnosti merania.

Tab.2 Prehľad m_{xy} pri rôznych satelitných systémoch a uhloch elevačnej masky pri použití fyzickej referenčnej stanice a dobe observácie 5 minút

Elevačná maska (°)	Použité družicové systémy		Rozdiel	
	GPS+GLONASS	GPS	(m)	(%)
10	0,628	0,812	0,184	23
15	0,580	0,812	0,232	29

Poznatok o rozdielnej presnosti dosiahnutej pri výpočte horizontálnej polohy v závislosti od druhu zdroja korekčných dát je konfrontačný ku tvrdeniam o rovnocennosti fyzickej a virtuálnej referenčnej stanice.

Zabezpečenie prítomnosti fyzickej referenčnej stanice vo vhodnej lokácii vzhľadom k miestu merania je v podmienkach rozsiahlych lesných porastov neraz problematické. Z tohto dôvodu sme v ďalšom postupe použili pre určenie presnosti, ktorej závislosť na podmienkach merania bola predmetom záujmu, súradnice GNSS merania pochádzajúce z výpočtu, do ktorého boli vstupom dáta z virtuálnej referenčnej stanice.

3.2 Regresná a korelačná analýza

Po predbežnom zistení tvaru regresného modelu závislosti medzi m_{xy} a všetkými faktormi, ktorých hodnoty boli zaznamenané v teréne, sme previedli výpočet koeficientov regresnej rovnice:

$$m_{xy} = 129,6852u + 19,9316v - 0,1338x - 9,3564y + 2,8690z - 3,1439$$

u – zakmenenie/ výška

y – zakmenenie

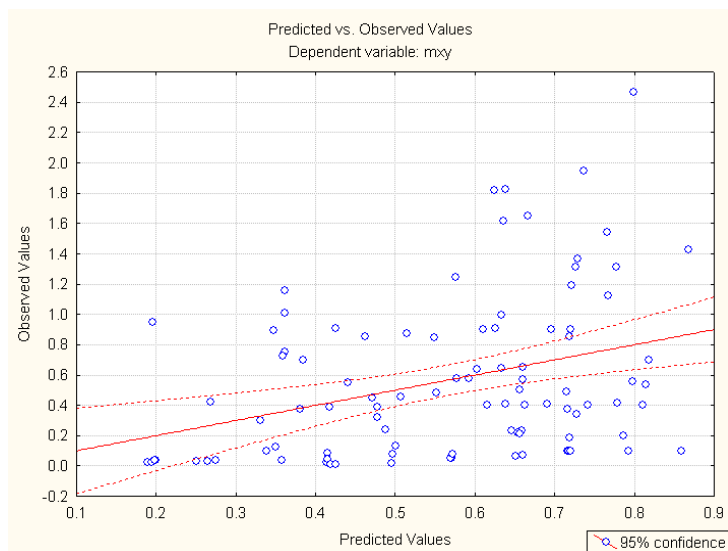
v – výška hlavnej porastovej úrovne

z – faktor stanovišťa (súčet súčinov hrúbok a obrátených hodnôt

x – percento viditeľnej oblohy

vzdialeností 10 najbližších stromov od meraných bodov)

Následne sme pristúpili k exaktnému testovaniu priebehu modelu. Overenie vhodnosti tvaru regresného modelu sa vykonalo konštrukciou grafu „predpovedané vs. pozorované“ (Obr. 1). Model svojim tvarom vhodne odpovedá nameraným údajom vtedy, ak porovnávací priamka prechádza počiatkom súradnicovej sústavy a stúpa grafom pod 45° uhlom, pričom zobrazené body kolíšu okolo nej náhodne [5]. Zo zostrojeného grafu môžeme dedukovať, že nami skúmaný model neodpovedá celkom vhodne nameraným údajom, keďže porovnávací priamka neprechádza počiatkom súradnicovej sústavy a nestúpa grafom pod uhlom 45°. Badáme systematický odklon modelových hodnôt od nameraných. Svedčí to o prítomnosti vplyvu neuvažovaných faktorov na veľkosť m_{xy} . Všeobecný F–test potvrdil štatistickú významnosť celého modelu. Na základe vyššej hodnoty testovacieho kritéria F oproti kritickej hodnote Fisherovho rozdelenia $F_{1-\alpha}(7, 88)$ sme na hladine významnosti $\alpha = 0,048214$ nulovú hypotézu, ktorá tvrdila, že regresný model nevysvetľuje žiadnu časť celkovej variability, zamietli. V ďalšom postupe boli prevedené t- testy významnosti jednotlivých regresných koeficientov. Silu závislosti m_{xy} od skúmaných faktorov charakterizujú hodnoty výberového korelačného koeficienta $r = 0,66$ a koeficienta determinácie $r^2 = 0,43$. Jedná sa teda o stredne silnú závislosť. Zo semi – parciálnych korelačných koeficientov nadobudli významné hodnoty koeficienty faktora stanovišťa (0,56), zakmenenia (0,17) a výšky hlavnej porastovej úrovne (0,16).

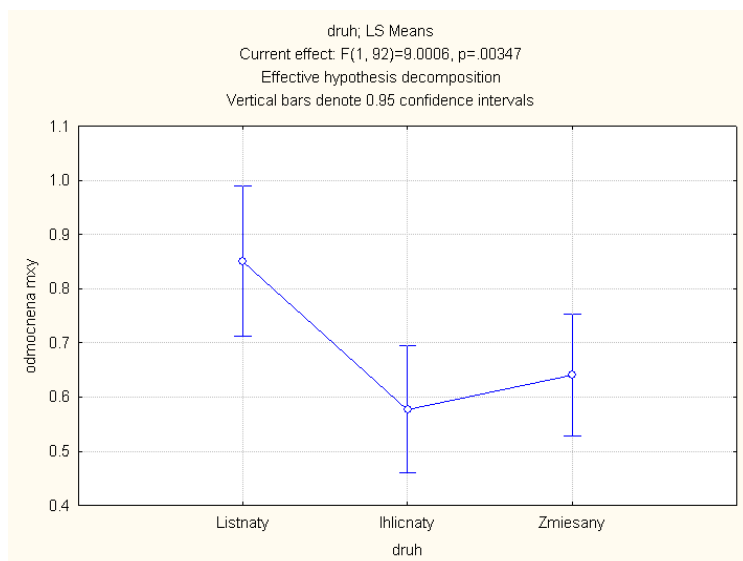


Obr.1 Graf „predpovedané vs. pozorované“ závislosti m_{xy} od uvažovaných stanovištných faktorov

Na základe dosiahnutej hodnoty výberového korelačného koeficienta a koeficienta determinácie môžeme konštatovať pomerne nízku hodnotu percenta variability, ktorú skonštruovaný model vysvetľuje. Model nedokáže vysvetliť 57% variability hodnôt m_{xy} , môžeme ho teda hodnotiť ako nedostatočný pre predikčné účely. Regresná rovnica s väčšou praktickou upotrebitelnosťou by potenciálne mohla byť skonštruovaná z väčšieho množstva nameraných dát a dát pochádzajúcich zo stanovišť s väčším variačným rozpätím skúmaných faktorov.

3.3 Dvojfaktorová analýza variancie

Nakoľko predpokladom použitia analýzy variancie je normalita rozdelenia náhodnej premennej, v prvom kroku bolo zistené rozdelenie hodnôt základnej strednej súradnicovej chyby. Po vykreslení histogramu bolo zistené ľavostranné asymetrické rozdelenie. V ďalšom postupe sme preto pristúpili k transformácii hodnôt m_{xy} s cieľom priblížiť sa normálnemu rozdeleniu. Na tento účel sme použili jednoduchú odmocninovú transformáciu. Následne sme pristúpili k vykonaniu samotnej analýzy, v ktorej sa preukázal signifikantný vplyv druhu porastu (Obr. 2). Z grafu vyplýva, že lepšie výsledky boli dosiahnuté v ihličnatom lese, a naopak horšie v lese listnatom. Vplyv obdobia merania vzhľadom na vegetačnú aktivitu sa nepreukázal.



Obr. 2 Graf intervalov spoľahlivosti m_{xy} pre faktor druhu porastu

3.4 Neurónové siete

Výhodou analýzy pomocou neurónových sietí je súčasný vstup kvantitatívnych i kvalitatívnych nezávislých premenných. Ďalšou výhodou je vystihnúť aj nelineárnych závislostí. Nevýhodou ostáva nepoznaný mechanizmus pôsobenia hodnôt jednotlivých faktorov na veľkosť m_{xy} . Chýba teda akýsi ekvivalent regresnej rovnice z regresnej analýzy. Globálna analýza citlivosti nám v neurónových sieťach poskytuje len poznatok o dôležitosti toho ktorého faktora pri tréningu siete.

Z globálnej analýzy citlivosti vyplýva, že najdôležitejšími faktormi pre učenie sa sietí, boli faktory stanovišťa merania, zakmenenie, druh porastu, obdobie merania a percento viditeľnej oblohy. Najlepšie natrénované siete poskytovali hodnotu koeficienta korelácie 0,7 a teda hodnotu koeficienta determinácie 0,49. Pozorujeme teda mierne lepšie výsledky oproti regresnej a korelačnej analýzy. Z tohto dôvodu možno pre predikčné účely skôr odporučiť túto metódu. Pre praktické využitie by však boli žiadúce väčšie hodnoty koeficientov závislosti. Analogicky ako pri regresnej a korelačnej analýze by sa to potenciálne mohlo dosiahnuť zväčšením rozsahu meraní, a teda i rozsahu tréningových dát, resp. zvýšením ich kvality. Problematika môže byť predmetom ďalšieho výskumu.

4. ZÁVER

Vykonané experimentálne merania GNSS prijímačom preukázali výhodnosť použitia fyzickej referenčnej stanice pred použitím stanice virtuálnej. Pri použití virtuálnych korekčných dát a uvažovaní oboch GNSS pre výpočte bolo problematické dosiahnutie fixných riešení ambiguit. Pri použití virtuálnej stanice odporúčame preto nepoužiť pre výpočet polohy signály ruského systému GLONASS, čím sa zvýši podiel fixných riešení.

Z výsledkov regresnej a korelačnej analýzy vyplýva, že na dosiahnutú presnosť určenia polohy majú v podmienkach lesných porastov vplyv najmä vzdialenosť a hrúbka tieniacich drevín, ich počet a tiež výška. Opodstatnenosť zavedenia faktora percenta viditeľnej oblohy do rovnice sa nepreukázala, resp. jeho zavedením nedôjde k významnému nárastu percenta vysvetlenej variability hodnôt základnej strednej súradnicovej chyby. Skonstruovaný model môžeme hodnotiť kvôli nízkej hodnote koeficienta determinácie ako nevhodný na používanie. Potenciálne lepší model môže byť skonstruovaný pri existencii väčšieho množstva meraní, resp. zvýšení kvality skúmaných faktorov.

Analýza variancie preukázala vplyv faktora druhu porastu. Presnejšie výsledky boli dosiahnuté na stanovištiach s ihličnatým porastom, menej presné na stanovištiach s listnatým. Vplyv vegetačného/ nevegetačného obdobia nebol preukázaný.

Pri metóde neurónových sietí bol dosiahnutý mierne lepší výsledok, čo sa týka percenta vysvetlenej variability skonstruovaným modelom. Stále však nie uspokojivý z pohľadu praktickej upotrebitelnosti modelu. Podobne ako pri regresnej a korelačnej analýze možno odporučiť pre ďalší výskum väčší počet meraní, prípadne zakomponovať do modelu nové nezávislé premenné. Oproti výsledkom prvých dvoch analýz sa preukázala dôležitosť faktorov percenta viditeľnej oblohy a obdobia merania.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol vďaka finančnej podpore v rámci riešenia vedeckého projektu VEGA MŠ SR a SAV č. 1/0560/09 s názvom „Racionalizácia lesníckeho mapovania“ na Katedre hospodárskej úpravy lesov a geodézie Lesníckej fakulty TU vo Zvolene.

LITERATÚRA

- [1] Deckert, CH. a Bolstad, P. (1996) Forest canopy, terrain, and distance effects on global positioning system point accuracy. In *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, ročník 62, číslo 3, s. 317 – 321.

- [2] Faško, M. (2010) Problematika aplikácie GNSS v lesníckej geodetickej praxi. Dizertačná práca, Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen.
- [3] Hricko, B., Tunák, D., Žíhľavník, Š. (2004) Globálny polohový systém v lesníckom mapovaní. In: Žíhľavník, Š., Chudý, F., Tunák, D. (ed.), Aktuálne problémy lesníckeho mapovania. Zborník referátov, Zvolen, 21. október 2004, Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen, s. 41–50.
- [4] Klobušiak, M., Leitmannová, K., Ferienc, D. (2004)
http://www.gku.sk/docs/referaty/2004/realizacia_zavaznych_systemov_prostrednictvomSPGS.pdf,
07. január 2011
- [5] Scheer, L. a Sedmák, R. (2007) Biometria. Technická univerzita vo Zvolene. Zvolen.
- [6] Žíhľavník, Š. a Meluš, J. (2009) Využitie GNSS pri lesníckom mapovaní – Utilization of GNSS at forest mapping. Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen.