

# **Možnosti využitia mobilných technológií pre operatívne mapovanie lesného prostredia**

Rastislav Piroh

Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie, Lesnícka fakulta, Technická  
univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovenská republika  
piroh.rastislav@gmail.com

## **Úvod**

Lesnícke mapovanie využíva mapové podklady verejného mapovania, v ktorých zohľadňuje biologické, technické a ekonomické špecifikácie lesného hospodárstva. Plnú digitalizáciu a značný stupeň automatizácie v získavaní a spracovaní dát možno považovať za veľký prínos v lesníckom mapovaní.

V súčasnosti patria medzi najpoužívanejšie metódy zberu dát a určovania polohy bodov tachymetrické merania, merania pomocou GNSS prístrojov, vyhodnocovanie leteckých meračských snímok a LIDAR technológie. Význačný pokrok v geodetickej praxi je určovanie polohy a výšky bodov používaním globálnych navigačných satelitných systémov (GNSS), ktoré sú vybudované na báze umelých družíc Zeme. Rozvoj týchto technológií je predpokladom pre úspešnú racionalizáciu lesníckeho mapovania. Globálne navigačné systémy poskytujú užívateľom možnosť určovania polohy, navigáciu a informácie o presnom čase prostredníctvom špeciálnych prijímacích zariadení (HEFTY– HUSÁR, 2003, GERHÁTOVÁ – HEFTY, 2006). Meračské práce súvisiace s lesnými pozemkami a lesným hospodárstvom možno rozdeliť podľa požadovanej presnosti.

Pre práce súvisiace so špecializovanými prieskumami a zisťovaniami v rámci lesníctva, nie je stanovená požadovaná presnosť a využitie GNSS systémov v praxi sa javí ako vhodné riešenie. Veľmi vhodné je použitie GNSS metód pri zameriavaní a mapovaní lesných kalamít, ohnisk poškodenia porastov, pri zameriavaní lesných dopravných sietí a rozdeľovacích sietí a hlavne vlicovacích bodov pre transformáciu leteckých snímok.

V súčasnosti je jedným z najdynamickejších sa vyvíjajúcich odvetví používanie tzv. smart technológií. Jedná sa zväčša o mobilné zariadenia, ktoré poskytujú široké možnosti využitia, pričom jednou z nich je aj určovanie polohy pomocou GNSS systémov. Presnosť týchto zariadení nie je cielená na geodetické využitie., avšak pomerne často sa využívajú napr. na

navigáciu. Tak ako pri všetkých zariadeniach používajúcich GNSS systémy je potrebné aj pri využití týchto technológií počítať s degradáciou príjmu signálu v lesnom prostredí. Pre posúdenie možnosti ich využitia v lesnom hospodárstve je potrebné ich presnosť skúmať a následne na základe zistených rámcov presnosti stanoviť postupy a metódy ich použitia.

Práca je venovaná využitiu smartphonov v lesníckej činnosti, s prihliadnutím na presnosť, efektívnosť a cenu oproti bežne využívaným GNSS prístrojom v geodetickej praxi a pre operatívne riešenia.

## **2. Rozbor problematiky**

### **2.1 Využitie GNSS pri mapovaní**

Mapovanie je súbor činností, vykonávaných pri vyhotovovaní pôvodnej mapy. Je to súbor úkonov potrebných na zistenie vzájomnej polohy dostatočného počtu bodov a predmetov nachádzajúcich sa na zemskom povrchu pre vyhotovenie dokonalého, geometricky správneho a primerane presného obrazu zemského povrchu, ako aj predmetov nachádzajúcich sa na ňom v čase mapovania. Mapovaním sa má znázorniť zemský povrch so všetkými predmetmi na ňom v čo najvernejšej podobe a vo zvolenej mierke zmenšenia na rovinný kresliaci podklad. (CHUDÝ, 2013)

Prevažná časť lesníckeho mapovania sa dotýka merania a zobrazovania jednotiek priestorového rozdelenia lesa. Úlohou lesníckeho mapovania je zabezpečiť spoľahlivé polohopisné a výškopisné podklady na vyhotovenie lesníckych máp a plánov pre rôzne účely, na určovanie polohy a výmery JPRL a na evidenciu pozemkov. (ŽÍHLAVNÍK, A. 2006)

Aplikácia metód GNSS priniesla do geodetického určovania polohy vo všetkých oblastiach geodézie úplne nové prístupy, ktoré predstavujú zmeny v doterajšom ponímaní práce geodeta z hľadiska koncepcie, metodiky a technológie. Pri lesníckom mapovaní bolo prvotné nasadenie prijímačov GPS v oblasti merania vlicovacích bodov pre potreby georeferencovania LMS, vzhľadom na možnosť výberu miesta merania a tým zabezpečenie potrebného voľného priestranstva nad anténou prijímača.

Zvýšenie efektivity merania pomocou GPS prinieslo dokončenie realizácie nových geodetických základov prostredníctvom bodov štátnej priestorovej siete (ŠPS). Spôsob vybudovania tejto siete predurčuje tieto body jednak k priamemu využitiu pri AAT – stabilizácia

a signalizácia bez potreby merania, ako aj na pripojenie ďalších meraní pri zachovaní celkovej homogenity – známe sú súradnice ETRS89, JTSK03. Pripojením meraní na tieto body môžeme realizovať spracovanie celých projektov v európskom súradnicovom systéme ETRS89, pričom je zachovaná možnosť vstupu zameraných hraníc lesných pozemkov do existujúceho katastrálneho operátu, pri zachovaní požadovanej presnosti pre katastrálne mapovanie. Kvalita ŠPS umožňuje pripojenie sa v ktoromkoľvek jej bode bez potreby viacerých kontrolných meraní, čím sa zvyšuje možnosť použitia jednofrekvenčných prijímačov zabezpečením prijateľnej vzdialenosti k meranému bodu ako aj využitie meraní RTK.

Realizácia zhustenia bodového poľa – meranie vlicovacích bodov sa dnes uskutočňuje výhradne metódami GNSS, ktoré úplne vytlačilo klasické meračské metódy.

Efektívne využívanie jednotlivých metód GNSS (Statická, Stop & Go, RTK) je buď samostatne alebo v kombinácii s klasickými terestrickými metódami podľa požadovanej presnosti mapovania. Pri meraniach, kde je požadovaná presnosť katastrálneho mapovania t.j. pri meraní vlastníckych hraníc lesných pozemkov (4. trieda presnosti mapovania), je optimálnym riešením určenie potrebného počtu geodetických bodov na voľnom priestranstve a vnútri porastu využiť metódu polygónových ťahov a rájónov. Pri meraniach, kde nie sú kladené vysoké nároky na presnosť a je postačujúca aj 5. trieda presnosti mapovania ( $m_{xy} = 0,50\text{m}$ ), prípadne aj kritériá polohovej presnosti pre zameriavanie ostatného lesného detailu ( $m_{xy} = 1,50\text{m}$ ) a hraníc JPRL, s výnimkou hraníc vlastníckych, je možné podľa charakteru merania použiť priamo vnútri porastu niektorú metódu GNSS.

V súčasnosti sa vo veľkej miere využívajú na zber dát, navigáciu a interaktívne zobrazovanie mapových zdrojov mobilné geografické informačné technológie v spojení s GNSS prijímačmi. Medzi mobilné GIS môžeme zaradiť smart zariadenia, ako napríklad tablety a smartphony a aj tzv. handheld GIS / GNSS prijímače.

V prípade mobilného mapovania ide o rozvoj zberu údajov pomocou metód a nástrojov GNSS. Pôvodne málo požívateľsky prívetivé a zrozumiteľné GNSS prijímače sa menia na zjednodušené GIS – y v prenosných počítačoch do ruky (handhelds), takže používateľ môže priamo v teréne skontrolovať priebeh mapovania, prípadne vyhľadať v databáze doplnkové informácie, ktoré potrebuje pri mapovaní. (HOFIERKA, 2003)

## 2.2 Globálne navigačné satelitné systémy

GNSS predstavujú vo všeobecnosti družicové navigačné systémy vybudované na určovanie polohy a času kedykoľvek na Zemi, nezávisle od aktuálnych meteorologických podmienok.

Poloha meraného bodu je vypočítaná ako poloha priesečníka guľových plôch, ktorých polomer je daný meranými vzdialenosťami medzi družicou a určeným bodom. Z geometrického hľadiska je nutné poznať polohu minimálne troch družíc na určenie polohy určeného bodu. Pretože určenie vzdialenosti medzi družicou a určeným bodom spočíva vo využití presných časových informáciách, je nutné pre výpočet poznať polohu štyroch družíc. Na dosiahnutie vysokej presnosti určenia polohy je dôležité, aby sme využívali čo najväčší možný počet viditeľných družíc, ktoré musia byť vhodne rozložené na sfére.

Aplikácie založené na technológii GNSS sú skoro neobmedzené. Môžu sa uplatniť vo všetkých oblastiach ľudskej činnosti. (TOMAŠTÍK, J., 2009)

### 2.2.1 Kinematická metóda v reálnom čase – RTK

Pri meraniach RTK metódou sa využívajú dva prijímače, pričom jeden je referenčný, teda sa nepohybuje a druhý je pohybujúci sa a oba vykonávajú simultánne fázové meranie. Medzi oboma prijímačmi prebieha prenos údajov, ktoré sú prenášané rádiovým spojením prostredníctvom modemov.

Princíp RTK tkvie v okamžitom prenose odmeraných údajov referenčného prijímača prostredníctvom rádiového spojenia do pohybujúceho sa prijímača. Tento má v sebe zabudovaný softvér na spracovanie fázových meraní, takže hneď po inicializácii sa z meraní prijatých z referenčného prijímača a z vlastných meraní môžu tvoriť diferencie a uskutočniť celkové spracovanie relatívneho určovania polohy. (PISCA, 2005)

Pri tejto metóde ide prakticky o meranie v reálnom čase, keď že spracovanie údajov je vykonané niekoľko sekúnd po meraní. Meranie RTK metódou sa môže vykonávať statickým alebo kinematickým meraním. Polohová presnosť pri statickom meraní je určená vzťahom  $5mm + 2tpm * b$  a pri kinematickom vzťahom  $10mm + 2tpm * b$ , kde  $b$  je vzdialenosť medzi referenčným a pohybujúcim sa prijímačom.

### **2.3 Použité súradnicové systémy**

WGS – 84 je globálny celosvetový geodetický systém, ktorého orientácia osí je zhodná s orientáciou konvenčného terestrického systému. Vzťahujú sa k nemu všetky polohy družíc a tým aj polohy určovaných bodov. Tento súradnicový systém definuje referenčný elipsoid a geoid pre geodéziu a navigáciu (ŽIHLAVNÍK, MELUŠ, 2009). Pre Európu sa používa Európsky terestrický referenčný systém 1989 (ETRS89), ktorý používa elipsoid identický so systémom WGS – 84. Pri riešení úloh v pravouhlom rovinnom systéme, akým je aj u nás využívaný S – JTSK, je potrebná transformácia súradníc. Realizácia súradnicového systému Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej predstavuje súbor rovinných súradní vybraných bodov štátnej priestorovej siete spracovaných k určitému dátumu, s jednoznačným vzťahom k realizácii ETRS89 a s primárnym určením na meračské geodetické práce (VYHL. 300/2009 Z.z.). Táto realizácia systému JTSK je vhodná na využitie v lokálnom rámci, avšak nevyhovuje z hľadiska globálneho využitia, pri vedeckej činnosti a medzinárodnej spolupráci. Z tohto dôvodu bol v roku 2003 zrealizovaný nový systém JTSK03, ktorý bol vytvorený pomocou GNSS. Zrealizovanie nového systému s väzbou na využitie GNSS zabezpečil vysokú presnosť a homogenitu súradníc bodov a jednoznačné prepojenie S – JTSK03 na ETRS89, čím odpadá použitie transformačných kľúčov.

## **3. Experimentálny materiál a metodika**

### **3.1 Tvorba bodového pola**

Bodové pole bolo založené kombináciou metód polygonizácie a rajónov so zohľadnením rôznych štruktúr, rastových fáz a rôznych terénnych reliéfov. Zastúpená je hranica medzi LPF a bezlesím, hranice jednotlivých rastových fáz a hranice vedené lesnou cestou. Body boli stabilizované dreveným kolíkom, príp. oceľovou rúrkou a na ceste farebným krížom a meračským klincom. Zameranie bodov bolo vykonávané pomocou univerzálnej meračskej stanice TOPCON GPT 3002. Údaje sa použili ako porovnávací etalón pri meraní pomocou GNSS prístrojov. Pre účely práce bolo požitých 70 podrobných bodov. Získané údaje boli použité ako porovnávací rovina pre ďalšie merania. (podľa TOMAŠTÍK, 2009; TUNÁK 2010)

### **3.2 Hardwarové vybavenie a software**

Na merania boli použité 4 prístroje: geodetický prijímač, handheld GIS prijímač a dva smartphony. Smartphony ZTE Blade a LG G2 boli použité aby sa poukázalo na vývoj chytrých

telefónov vo využití pri určovaní polohy bodov pomocou GNSS technológie a tiež v závislosti na dostupnosti pre autora. Prijímač Trimble Nomad 900GLE bol zvolený na účely experiment vzhľadom na to, že handheld GIS prijímače GNSS sú dnes pravdepodobne najpoužívanejšie nástroje pre operatívne určovanie polohy v lese a prijímač Topcon Hiper GGD bol vybraný z dôvodu používania v geodetickej praxi pre poukázanie na presnosť, efektivitu použitia a cenu oproti ostatným použitým prístrojom

### **3.3 Metodika merania**

Experimentálne merania boli založené na princípe RTK metódy. Táto metóda bola vybratá pre účely merania z dôvodu časovej nenáročnosti a znížených nárokov na kancelárske spracovanie. Meranie bolo uskutočnené vo vegetačnom aj mimovegetačnom období, pre posúdenie vplyvu zatienenia bodu korunami. Pri meraní GNSS prístrojmi bola ako porovnávacía charakteristika použitá otvorenosť prostredia pre príjem GNSS merania nad bodom, ktorá bola hodnotená percentuálnym odhadom so zohľadnením svetových strán. Pri vyhodnotení boli vytvorené skupiny bodov, charakterizované miestopisom bodu a percentuálnym odhadom projekcie. Rozdelenie bodov je v tabuľke 1. Výsledky boli vyhodnotené aj pre celé bodové pole. Meranie bolo s výnimkou geodetického prijímača vykonávané prijímačmi bez použitia referenčných údajov, pričom pri použití prijímača Topcon Hiper GGD boli referenčné dáta zabezpečované službou SKPOS. Dáta z SKPOS boli prenášané do prijímača Topcon Hiper GGD cez dátové spojenie s mobilným telefónom, ktorý prijíma referenčné dáta cez GSM pripojenie. Pri meraní s SKPOS bola použitá koncepcia VRS a korekcie boli prijímané z riadiaceho servera SKPOS. Zariadenia Trimble Nomad 900GLE, ZTE Blade a LG G2 pracujú tiež na princípe RTK metódy s autonómnym riešením bez použitia referenčných dát. Pre meranie boli použité 10 sekundové observácie, ktoré sa ukazujú ako postačujúce vzhľadom na veľkosť polohových chýb, ktoré sa ani po predĺžení intervalu merania na 60 sekúnd pozitívne nezmenia ako na tento fakt poukazujú napríklad TOMAŠTIK – ŠKARBOVÁ (2013).

**Tab. č. 1 Rozdelenie meraných bodov podľa percenta voľne pozorovateľnej oblohy**

<b>% voľne pozorovateľnej oblohy</b>	<b>Číslo bodov</b>
5	10, 12, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 67, 68, 69, 71, 715, 721
10	11, 13, 14, 16, 37, 64, 65, 66, 70, 704, 705, 710, 711, 716, 717, 718, 723
20	4, 5, 8, 38, 39, 72, 73, 74, 714, 722, 724
30	3, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 40, 41, 43, 44, 45, 707, 712, 713
50	52, 53, 54, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 75, 76

### **3.4 Spracovanie údajov**

Export údajov bol zabezpečovaný cez vlastný meračský software jednotlivých prístrojov. Všetky dáta sme potrebovali spracovať do textového formátu pre potrebu exportu do MS Office Excel, v ktorom prebiehali ďalšie výpočty. Software Topsurv, ktorý bol použitý pri meraní prijímačom Topcon poskytol ako výstup dáta vo formáte \*txt so súradnicami bodov v systéme JTSK03. Pri software Terrasync bol výstupom súborový systém uloženia vektorových geografických údajov (\*Shp, \*Shx, \*Dbf) v súradnicovom systéme JTSK03, pri ktorom bolo potrebné zmeniť výstupný formát uloženia dát do \*Csv súboru. Export údajov zo \*Shp súboru bol vykonaný v prostredí programu QGIS, kde bolo možné \*Shp súbor uložiť ako \*Csv súbor obsahujúci súradnice bodov v S – JTSK03. Pri meraní s obidvomi smartphonmi bol použitý software Locus, ktorý ukladá dáta vo formáte \*Gpx. Pre spracovanie súborov v \*Gpx formáte bol použitý program ArcMap 10.1, v ktorom sme cez nástroj GPX to Feature vytvorili shape súbor a ten bol následne v prostredí programu QGIS exportovaný ako \*Csv súbor so súradnicami bodov vo WGS84, resp. ETRS89. Po exportovaní dátovo vhodnom formáte bolo potrebné vykonať transformáciu súradníc z WGS84 / ETRS89 do S – JTSK03.

Transformácia bola vykonaná pomocou Rezortnej transformačnej služby, ktorá vykonáva transformáciu súradníc medzi realizáciou ETRS89 a S – JTSK.

### Posúdenie presnosti a správnosti

Na posúdenie presnosti a správnosti nameraných údajov boli použité vzťahy uvedené v práci ŠMELKO (1998)

- I. Výpočet súradnicových rozdielov  $\epsilon x_i, \epsilon y_i$

$$\epsilon x_i = X_{Ei} - x_i \quad \epsilon y_i = Y_{Ei} - y_i \quad (1)$$

$x, y$  – namerané súradnice

$X_E, Y_E$  – súradnice porovnávacej roviny

Výpočet aritmetického priemeru  $\bar{\epsilon x}, \bar{\epsilon y}$ , chýb  $\epsilon x_i, \epsilon y_i$

(2)

$$\bar{\epsilon x} = \frac{\sum \epsilon x_i}{n} \quad \bar{\epsilon y} = \frac{\sum \epsilon y_i}{n}$$

- II. Výpočet polohového posunu bodov (3)

$$O_p = \sqrt{\Delta x_i^2 - \Delta y_i^2}$$

- III. Posúdenie správnosti určenia súradníc bodov, t.j. rozbor možnej systematickej chyby pomocou štatistického testu o zhodnosti vypočítaného aritmetického priemeru voči známej požadovanej hodnote. Pri tomto teste nulová hypotéza  $H_0$

zníe, že aritmetické priemery  $\bar{\epsilon x}, \bar{\epsilon y}$ , sa rovnajú nule voči alternatívnej hypotéze

$H_A$ :

$$H_0 : \bar{\epsilon x} = 0 \quad H_0 : \bar{\epsilon y} = 0 \quad (4)$$

$$H_A : \bar{\epsilon x} \neq 0 \quad H_A : \bar{\epsilon y} \neq 0 \quad (5)$$

Výpočet testovacieho kritéria  $t$ :

$$t = \frac{\bar{\epsilon x}}{\frac{s_{\epsilon x}}{\sqrt{n-1}}} \quad t = \frac{\bar{\epsilon y}}{\frac{s_{\epsilon y}}{\sqrt{n-1}}} \quad (6)$$



Smerodajné odchýlky súradnicových chýb  $s_{\varepsilon x}$ ,  $s_{\varepsilon y}$ , sa určia podľa vzťahu:

$$s_{\varepsilon x} = \sqrt{\frac{\sum (\varepsilon x_i - \bar{\varepsilon x})^2}{n}} \quad s_{\varepsilon y} = \sqrt{\frac{\sum (\varepsilon y_i - \bar{\varepsilon y})^2}{n}} \quad (7)$$

Kritická hodnota  $t_{\alpha/2; f}$  sa určí z tabuľky kritických hodnôt *Studentovho rozdelenia*, pre zvolenú hladinu významnosti  $\alpha$  a stupeň voľnosti  $f = n - 1$ . Nulovú hypotézu prijímame ak  $t \leq t_{\alpha/2; f}$  a môžeme tvrdiť, že meranie kúmanou metódou nevykazuje systematickú chybu s pravdepodobnosťou  $P = 1 - \alpha$ . Naproti tomu nulovú hypotézu zamietame ak  $t > t_{\alpha/2; f}$  a prijíma sa alternatívna hypotéza, že meranie je zaťažené systematickou chybou.

IV. Výpočet  $m_x$ ,  $m_y$  – stredných chýb určenia súradníc

$$m_{x(y)} = \sqrt{\frac{\sum \Delta_{xi(yi)}^2}{n}} \quad (8)$$

V. Výpočet  $m_{xy}$  – strednej súradnicovej chyby

$$m_{xy} = \sqrt{\frac{m_x^2 + m_y^2}{2}} \quad (9)$$

#### 4. Výsledky a diskusia

Po zhodnotení celkových výsledkov po jednotlivých prístrojoch bol vykonaný rozbor stredných súradnicových chýb  $m_{xy}$  pre jednotlivé prístroje vo vegetačnom aj mimovegetačnom období. Z tabuľky č. 2 je zrejmé, že najlepšie hodnoty boli dosiahnuté meraním pomocou prijímača Topcon Hiper GGD, ktorý patrí medzi geodetické prístroje. Jeho presnosť na voľnom priestranstve je udávaná v centimetroch, no z výsledkov je viditeľný značný vplyv lesného prostredia. V mimovegetačnom období prijímač Topcon vykazoval strednú súradnicovú chybu 1,20 m a vo vegetačnom období 1,95 m. TOMAŠTIK (2009) vo svojej práci dosiahol pri 10 sekundovom intervale merania metódou RTK s použitím referenčných dát zo služby SKPOS vo vegetačnom období celkovú  $m_{xy}$  1,34 m. Škarbová (2013) dosiahla tou istou metódou s rovnakou

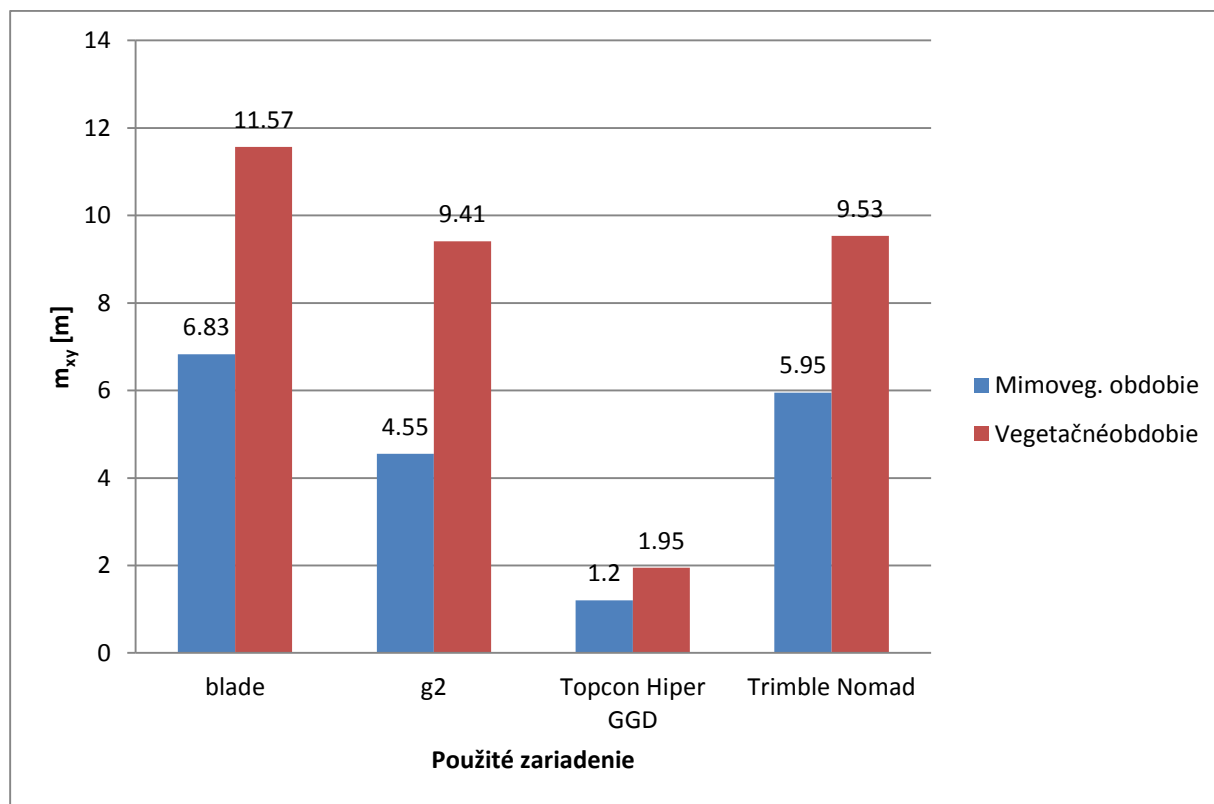
dĺžkou observačnej doby hodnotu strednej súradnicovej chyby 0,8 m. Na voľnom priestranstve bola v práci KOŽIENKOVÁ (2011) dosiahnutá stredná súradnicová chyba 0,056 m spadajúca do 2. triedy presnosti a v práci ŠKARBOVÁ (2013) dosiahnutá  $m_{xy}$  0,09 m, čo predstavuje 3. triedu presnosti.

Prijímač Trimble Nomad a smartphon LG G2 vykazujú porovnateľné výsledky. Vo vegetačnom období je rozdiel v  $m_{xy}$  pri týchto prístrojoch 0,12 m a v mimovegetačnom období je to 1,4 m. Dalo by sa predpokladať, že v mimovegetačnom období bude presnosť určenia  $m_{xy}$  lepšia ako vo vegetačnom období. Tento rozdiel stredných súradnicových chýb v jednotlivých obdobiach môže byť spôsobený počtom pozorovateľných družíc ako aj použitou technológiou prijímu GNSS signálu v týchto prístrojoch.

**Tab. č. 2 Stredné súradnicové chyby  $m_{xy}$  ( v metroch ) jednotlivých prístrojov podľa vegetačného obdobia**

	<b>ZTE Blade</b>	<b>LG G2</b>	<b>Topcon Hiper GGD</b>	<b>Trimble Nomad</b>
Mimoveg. obdobie	6.83	4.55	1.20	5.95
Vegetačnéobdobie	11.57	9.41	1.95	9.53

**Graf č. 1** Prehľad stredných súradnicových chýb jednotlivých prístrojov podľa období



Jednotlivé body boli rozdelené do piatich skupín, podľa percentuálneho odhadu voľne pozorovateľnej oblohy (vid'. Tab. 1). Rozdelenie meraných bodov do jednotlivých skupín voľne pozorovateľnej oblohy bolo vykonané vo vegetačnom období. Pre mimovegetačné obdobie nebol vykonaný odhad percent voľne pozorovateľnej oblohy ale boli použité skupiny rozdelenia bodov vo vegetačnom období. Z tabuliek č. 5 a 6 je vidieť, že stredné súradnicové chyby po jednotlivých skupinách značne kolíšu a nie je možné jednoznačne určiť, pri akom percente voľne pozorovateľnej oblohy boli dosiahnuté najlepšie presnosti. Pri prijímači Topcon Hiper GGD boli vo vegetačnom období dosiahnuté stredné súradnicové chyby, ktoré prevažovali 5. triedu presnosti mapovania, no mohli by zodpovedať požiadavkám pre mapovanie nevlastníckych hraníc JPRL a ostatného lesného detailu, pri ktorom je požiadavka  $m_{xy} = 1,5$  m. Prístroje Trimble Nomad a LG G2 vykazujú veľmi podobné výsledky hlavne pri 5% a 50% voľne pozorovateľnej oblohy mimo vegetačné obdobie a v ostatných skupinách dosiahol pri našom meraní smartphon LG G2 menšie stredné súradnicové chyby. Aj keď stredná súradnicová chyba vyšla pri

smartphone LG G2 menšia ako pri prijímači TrimbleNomad, nie je možné jednoznačne zhodnotiť, že LG G2 je presnejší.

**Tab. Č. 5 Stredné súradnicové chyby  $m_{xy}$  ( v metroch ) meraní pre jednotlivé prístroje mimo vegetačného bdbodie**

Prístroj	Percento voľne pozorovateľnej oblohy					koef. Determinácie
	5	10	20	30	50	
Topcon Hiper GGD	1.20	1.38	0.90	1.49	0.58	0.23
Trimble Nomad	4.88	6.25	6.10	7.28	4.36	0.00
ZTE Blade	10.56	4.99	4.00	5.50	7.18	0.15
LG G2	4.81	5.21	4.36	3.84	4.27	0.54

**Tab. Č.6 Stredné súradnicové chyby  $m_{xy}$  ( v metroch ) meraní pre jednotlivé prístroje vo vegetačnom období**

Prístroj	Percento voľne pozorovateľnej oblohy					koef. Determinácie
	5	10	20	30	50	
Topcon Hiper GGD	2.33	1.87	2.88	1.21	1.14	0.42
Trimble Nomad	7.41	11.53	7.66	12.35	4.53	0.06
ZTE Blade	10.19	15.42	11.50	12.49	4.17	0.32
LG G2	12.27	8.16	8.10	10.40	6.50	0.42

Na zistenie korelácie medzi percentom voľne pozorovateľnej oblohy a výslednou presnosťou bol vypočítaný koeficient determinácie  $R^2$ . Tento koeficient získame umocnením korelačného koeficientu a udáva, na koľko percent zmena jednej premennej ovplyvní druhú. Koeficient  $R^2$  bol počítaný pre každý prístroj vo vegetačnom aj mimovegetačnom období. Z hodnôt vypočítaného koeficientu determinácie môžeme zhodnotiť, že pri rozsahu % voľne pozorovateľnej oblohy nášho výberového súboru bodov nebol preukázaný významný vplyv na výsledné hodnoty  $m_{xy}$ . Pri väčšom rozsahu % voľne pozorovateľnej oblohy je možné predpokladať zmenu koeficientu  $R^2$  a preukázanie vplyvu zatienenia na výslednú  $m_{xy}$ .

Prijímač TopconHiper GGD dosiahol najmenšiu  $m_{xy}$  pri 50 % voľne pozorovateľnej oblohy mimo vegetačné obdobie. Pri 30 % voľne pozorovateľnej oblohy dosiahla  $m_{xy}$  o 0,28 m

menšie hodnoty pri olistení ako bez olistenia. Ostatné hodnoty boli mimo vegetačné obdobie menšie ako vo vegetačnom období. Z hodnoty koeficientu determinácie môžeme vidieť 23% vplyv zatienenia v mimovegetačnom období na výslednú strednú súradnicovú chybu a vo vegetačnom období má zatienenia o 19% vyšší vplyv. Môžeme povedať, že prijímač Topcon vykazuje miernu reakciu zmeny zatienenia na výslednú presnosť merania.

Prijímač Trimble Nomad nepreukázal reakciu na zmenu percenta voľne pozorovateľnej oblohy, čo je vidieť z výsledkov koeficientu determinácie, ktoré vyšli veľmi blízko 0. Najnižšie hodnoty  $m_{xy}$  pri tomto prijímači boli dosiahnuté pri 50 % voľne pozorovateľnej oblohy a to vo vegetačnom období 4,53 m a mimo vegetačné obdobie 4,36 m. Najvyššie hodnoty stredných súradnicových chýb boli dosiahnuté pri 20 % voľne pozorovateľnej oblohy, mimo vegetačné obdobie dosiahla  $m_{xy}$  7,28 m a vo vegetačnom období 12,35 m.

Pri smartphone LG G2 vyšli výsledky stredných súradnicových chýb porovnateľné s výsledkami prijímača Trimble Nomad, aj keď koeficient determinácie poukazuje na väčší vplyv zatienenia na výslednú presnosť pri smartphone LG.

Pri smartphone ZTE Blade vyšiel koeficient determinácie vo vegetačnom období 0,32, čo predstavuje 32 % vplyv zatienenia na výslednú strednú súradnicovú chybu a mimo vegetačné obdobie tvoril tento vplyv len 15 % z celkovej chyby. Z dosiahnutých výsledkov nie je možné jednoznačne určiť skupinu, v ktorej bola dosiahnutá najmenšia  $m_{xy}$ . Vo vegetačnom období bola najmenšia stredná súradnicová chyba 4,17 m dosiahnutá pri 50 % voľne pozorovateľnej oblohy, zatiaľ čo mimo vegetačné obdobie bola  $m_{xy}$  najnižšia pri 20 % voľne pozorovateľnej oblohy. Je pravdepodobné, že kolísanie hodnôt  $m_{xy}$  bolo spôsobené okrem iného aj počtom pozorovateľných družíc zo systému NAVSTAR GPS, keďže smartphon ZTE Blade umožňuje iba príjem signálu zo systému NAVSTAR GPS.

**Tab. 7** Prehľad polohových posunov mimo vegetačné obdobie

Prístroj	max	min	Sx	aritmet. priemer
Topcon Hiper GGD	5.66	0.06	1,22	1.18
Trimble Nomad	22.51	0.77	4,75	6.96
ZTE Blade	48.58	0.8	6,52	7.12
LG G2	13.37	0	3,14	5.62

**Tab. 8** Prehľad polohových posunov vo vegetačnom období

Prístroj	max	min	Sx	aritmet. priemer
Topcon Hiper GGD	11.67	0.08	2,04	1.79
Trimble Nomad	36.56	1.11	7,37	11.29
ZTE Blade	47.84	1.59	10,54	11.27
LG G2	30.97	0.79	7,07	12.84

Zo súradnicových rozdielov boli počítané polohové posuny každého bodu, ktoré predstavujú posun bodov voči polohe bodov porovnávacieho etalónu. Z týchto posunov boli vypočítané smerodajné odchýlky, ktoré sa použili na zhodnotenie miery variability dosiahnutých výsledkov jednotlivých prístrojov. V tabuľkách č. 7 a č. 8 sú pre jednotlivé prístroje zobrazené maximálne a minimálne hodnoty, vypočítané smerodajne odchýlky a aritmetické priemery polohových posunov. Dvojnásobky smerodajných odchýlok nám popisujú s 95 % spoľahlivosťou a 5 % hladinou významnosti variabilitu polohových posunov okolo ich aritmetického priemeru, to znamená, že 95 % hodnôt sa nachádza v intervale dvojnásobku smerodajnej odchýlky okolo aritmetického priemeru.

Jednotlivé prístroje boli zhodnotené aj z cenového hľadiska, čo môže byť jeden z rozhodujúcich aspektov výberu prístroja pre koncového užívateľa. Cena použitých prístrojov v čase výskumu boli nasledovné: ZTE BLADE Obstarávacia cena smartphonu ZTE BLADE je menej ako 100 € a cena LG G2 sa pohybuje do 300 €. Prijímač Trimble Nomad 900G stojí približne 2000 €. Cena prijímača Topcon Hiper GGD sa pohybuje okolo 4000 €, pričom k tomuto prijímaču je potrebné dokúpiť ešte aj kontrolér. Výber zariadenia však ostáva na

koncovom užívateľovi, pričom sa berie do úvahy požiadavka na presnosť, obstarávaciu cenu, prevádzkové náklady a ďalšie požiadavky.

Z priebežných testovanií je možné zo zistených výsledkov a zhodnotení navrhnúť využitie smartphonov a handheld GIS prijímačov na určovanie výmer plôch narušeného lesného prostredia. TOMAŠTÍK pri svojich experimentálnych meraniach zistil, že okulárny odhad určenia výmer kalamitných plôch bol vo väčšine prípadov podhodnotený oproti skutočnej hodnote.

Stanovenie výmer v situáciách, kedy je takmer nemožné použiť aj základné orientačné body je veľmi obtiažne a závisí vo veľkej miere od skúseností lesníka. Riešením tohto problému môže byť využitie GNSS v narušenom území, kde je väčšia otvorenosť pre príjem signálu z družíc.

Analýza použitia smartphonov a handheld GIS prijímača ukázala, že vypočítané plochy boli nadhodnotené. Toto bolo spôsobené potrebou zamerania celého polygónu tvoriaceho vonkajší okraj plochy, čo však nie je vždy možné, vzhľadom na vysokú koncentráciu ležiacich stromov. Na elimináciu vplyvu neprístupných častí sa javí ako vhodné riešenie pri praktickom meraní zaviesť korekcie GNSS stanovenej výmery zo satelitných snímok. Na vyhodnocovanie snímok bežným užívateľom je možné použiť softvare Google Earth Pro, prípadne iné vyhodnocovacie GIS software. Ďalším riešením je meranie dobre prístupných lomových bodov, čo by však vyžadovalo ďalšie spracovanie.

Podľa zistených výsledkov TOMAŠTÍKA sa meranie malých výmer (asi pod 0,5 ha) preukázalo ako nevhodné. Pri meraní veľkých otvorených plôch je vplyv otvorenosti porastu porovnateľný ako pri meraní vonkajšieho porastového okraja.

Výslednú presnosť použitých smartphonov a handheld GIS nie je možné pri vyšších nárokoch na presnosť považovať za dostačujúcu pre určenie polohy bodov. Avšak v prípade, že cieľom je iba stanovenie výmery polygónov, pričom ich presné umiestnenie nie je rozhodujúce, vzniknuté polohové posuny nemusia byť problém. Pri požiadavke na presnú lokalizáciu, by mohlo byť riešením napríklad použitie kontrolných bodov, ale to by sa zvýšila náročnosť práce merania a následné spracovanie, pričom účinok je diskutabilný vzhľadom k presnosti použitých prístrojov.

Ako jednu z nevýhod použitia smartphonov pre koncového užívateľa je možné vidieť požitie transformácie z WGS – 84 do S – JTSK, ako aj nemožnosť využitia diferenciálnych korekcií pre zlepšenie presnosti určenia polohy bodu.

## Záver

Mobilné technológie sú v súčasnosti jedným z najdynamickejšie sa rozvíjajúcich odvetví. Prítomnosť GNSS technológie pre určovanie polohy môže byť výrazným prínosom pre niektoré činnosti v lesníctve. Keďže presnosť merania závisí okrem podmienok nad meraným bodom aj od času merania, nie je možné stanovenie presnosti meraní pomocou GNSS zovšeobecniť. Na základe uvedených výsledkov je možné konštatovať, že súčasné high-end smartfóny (príp. tablety) dosahujú v určovaní polohy úroveň porovnateľnú so staršou generáciou GIS handheld GNSS prijímačov, ktoré sú ale aj v súčasnosti niekoľkonásobne drahšie. Súčasný smartfóny disponujú len obmedzenými technologickými riešeniami pre príjem signálu GNSS. V prípade použitia rovnakých chipsetov pre príjem GNSS signálu v rôznych zariadeniach, je možné predpokladať dosiahnutie rovnakej presnosti. Okrem hardvérových komponentov môže byť presnosť ovplyvňovaná aj operačným systémom a aplikáciami používanými na zber dát (ZANDBERGEN, 2009; BAUER, 2013).

. Pozitívom použitia smartfónov je aj otvorenosť pre tvorbu užívateľských aplikácií, ktoré môžu byť prispôbené konkrétnym potrebám. Nevýhodou sú niektoré technické parametre, napr. výdrž batérie, odolnosť voči pádu, vode prachu a podobne. Aj keď z dosiahnutých výsledkov je zrejmé, že využitie mobilných technológií nie je vhodné pri vytváraní máp z dôvodu prísnych kritérií presnosti, môžu byť účinným nástrojom lesného hospodárstva. Už v súčasnosti sa ukazuje, že by mobilné technológie mohli byť použiteľné aj pri zisťovaní priestorových údajov v lesnom prostredí, ako napríklad predbežné prešetrovanie smerovania liniek, určenie výmer, navigácia pod clonou lesného porastu a podobne. Nakoľko sa táto oblasť stále rozvíja, je potrebné venovať úsilie posudzovaniu presnosti a použiteľnosti takýchto zariadení pre rôzne účely.



## Použitá literatúra

1. BAUER CH (2013). On the (In-) Accuracy of GPS Measures of Smartphones: A Study of Running Tracking Applications. In: *Proceedings of International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia (MoMM '13)*. ACM, New York, NY, USA, pp. 335-340.
2. CHUDÝ, F. 2013. Mapovanie a diaľkový prieskum zeme. Prvé. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2013. 201 s. ISBN 978 – 80 – 228 – 2621 – 1.
3. GERHÁTOVÁ, Ľ. – HEFTY, J. 2006. Súčasnýstav a perspektívy globálnych navigačných družicových systémov. In *GPS + GLONASS + Galileo: nové obzory geodézie*. Bratislava: STU Bratislava, 2006. ISBN 80 – 227 – 2519 – 6. s. 9 – 18.
4. HEFTY, J. – HUSÁR, L. 2003. Družicová geodézia (Globálny polohový system). Bratislava: STU Bratislava, 2003. 188 s. ISBN 80 – 227 – 1823 – 8.
5. RAPANT, P. 2002. Družicové polohové systémy. Prvé. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2002. 200 s. ISBN 80 – 248 – 0124 – 8.
6. ŠMELKO, Š. 1998. Štatistické metódy v lesníctve. Štvrté. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 1998. 276 s. ISBN 80 – 228 – 0684 – 6.
7. TOMAŠTÍK, J. – ŠKARBOVÁ, I. 2013. Problematika použiteľnosti metódy GNSS – RTK v lesnom prostredí. In *Aktuálne problémy lesníckeho mapovania*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2013. ISBN 978 – 80 – 228 – 2569 – 6, s. 79 – 106.
8. TOMAŠTÍK, J. 2009. Problematika určovania hraníc jednotiek priestorového rozdelenia lesa v lesníckom mapovaní. Dizertačná práca, TU Zvolen. 141 s.
9. TOMAŠTÍK, J. 2010. Špecifiká statickej metódy GNSS s veľmi krátkou observačnou dobou v lesnom prostredí. In *Aktuálne problémy lesníckeho mapovania*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2010. ISBN 978 – 80 – 228 – 2162 – 9, s. 51 – 60.
10. TUNÁK, D. 2010. Aktuálnosť geometrických parametrov pre polygónové ťahy. In *Aktuálne problémy lesníckeho mapovania*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2010. ISBN 978 – 80 – 228 – 2162 – 9, s. 73 – 84.
11. ZANDBERGEN PA (2009). Accuracy of iPhone locations: A comparison of assisted GPS, WiFi and cellular positioning. *Transactions in GIS*13( s1): 5-25.

12. ŽÍHLAVNÍK, A. 2006. Problematika priestorového rozdelenia lesa v súčasnom období vo väzbe na lesnícke mapovanie. In Geodézia v lesníctve. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolen, 2006. s. 99 – 105
13. ŽÍHLAVNÍK, Š. – MELUŠ, J. 2009. Využitie GNSS pri lesníckom mapovaní (Utilization of GNSS at forest mapping). Prvé. Zvolen: technická univerzita vo Zvolene, 2009. 77 s. ISBN 978 – 80 – 228 – 2013 – 4.
14. PISCA, P. 2005. Globálne navigačné systémy [online]. Prvé. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2005. [19. 4. 2015]. Dostupné na internete: [http://svf.utc.sk/kgd/skripta/Globalne\\_navigacne\\_systemy.pdf](http://svf.utc.sk/kgd/skripta/Globalne_navigacne_systemy.pdf)
15. KLOBUŠIAK, M. – LEITMANNOVÁ, K. – FERIANC, D. Realizácia záväzných referenčných systémov na území Slovenska prostredníctvom permanentnej služby na určovanie presnej polohy v reálnom čase. Dostupné na internete: [http://www.gku.sk/docs/referaty/2004/realizacia\\_zavaznych\\_systemov\\_prostrednictvomSPGS.pdf](http://www.gku.sk/docs/referaty/2004/realizacia_zavaznych_systemov_prostrednictvomSPGS.pdf)