PREDIKCIA STREDNEJ SÚRADNICOVEJ CHYBY PRI POUŽITÍ RÝCHLEJ STATICKEJ METÓDY GNSS V LESNOM PROSTREDÍ

Peter Kamenský

Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 01, Zvolen, Slovenská republika, kamensky3@gmail.com

Abstract

The technology of global navigation satellite systems represents an effective means for determination of position as a defining characteristic for all geoobjects. Therefore forest enviroment with its conditions creates constraints on the use of this technology, a high-class receiving of satellite signal is not enabled. The present work assesses the possibility of mean coordinate error (m_{xy}) prediction, depending on factors that influence its size in terms of forest rides. The object of this work includes also quantification of the strength dependency between m_{xy} and factors that determine its size. Factors such as the number of U.S. NAVSTAR GPS system satellites, the number of Russian system GLONASS satellites, the stocking degree of forest and its degree of density, percentage of the visible sky, distance and thickness of shading tree were evaluated by regression and correlation analysis. The most important factors influencing the resulting size of mean coordinate error are the number of U.S. NAVSTAR GPS system satellites and stocking degree. The size of m_{xy} depending on the expected terms of measuring can be predicted after construction of prediction bands.

Keywords: GNSS, mean coordinate error, prediction

1 Úvod

Technológia globálnych navigačných satelitných systémov (GNSS) si našla uplatnenie v mnohých oblastiach života človeka: v doprave, geodézii, manažmente krízových situácií (v spojení s geografickými informačnými systémami), pri určovaní polohy pri rekreácii človeka, pri riešení rozličných úloh vedeckého bádania, v časových službách a v celej rade ďalších aplikácií [4]. Od konkrétneho účelu použitia technológie GNSS závisí i požadovaná presnosť určenia polohy. Jednoduché prijímače dokážu dnes pri prístupe kvalitného družicového signálu určiť horizontálnu polohu s presnosťou okolo 10 až 15 m, čo je hodnota postačujúca pre väčšinu aplikácii. Odlišné, podstatne vyššie nároky na presnosť sú v oblasti geodetických meraní. Sú špecifikované kritériami jednotlivých tried presnosti mapovania. Pri mapovaní podrobných polohových bodov stanovuje napr. 4. trieda presnosti požadovaná pre mapovanie hraníc pozemkov extravilánov obcí maximálnu strednú súradnicovú chybu m_{xy}= 0,26 m. V lesníctve pre mapovanie nevlastníckych hraníc jednotiek priestorového rozdelenia lesa požadovaná 5. trieda presnosti je špecifikovaná maximálnou strednou súradnicovou chybou m_{xy}= 0,50 m. Na dosiahnutie submetrovej až subcentimetrovej presnosti pri meraní technológiou GNSS je potrebné relatívne určovanie polohy, a teda použitie súpravy dvoch prijímačov. Nutnosť použitia dvoch aparatúr odpadá pri využití služby siete referenčných staníc GNSS, na Slovensku

pomenovanej SK*POS* (Slovenský priestorový observačný systém), ktorá umožňuje generovanie virtuálnej referenčnej stanice so zvolenou priestorovou polohou. Treba podotknúť, že bezproblémové dosiahnutie vysokej presnosti je možné len v podmienkach voľného priestranstva, kde je možný prístup neblokovaného satelitného signálu.

Lesné prostredie svojimi podmienkami významne vplýva na kvalitu prijímaného družicového signálu a tým aj na presnosť určenia polohy. Výskumné práce rôznych autorov poukazujú na faktory determinujúce veľkosť dosahovanej strednej súradnicovej chyby v lesnom prostredí: použitá metóda merania a dĺžka observácie, vegetačné obdobie, hrúbka a vzdialenosť tieniacich drevín k určovanému bodu, použitý družicový systém, počet a usporiadanie satelitov, zakmenenie porastu a jeho zápoj, geomorfológia terénu [7].

Cieľom predkladanej práce bolo zostrojenie prakticky upotrebiteľného regresného modelu a následne posúdenie možnosti predikcie strednej súradnicovej chyby m_{xy} od očakávaných podmienok merania v podmienkach lesného prieseku pri použití rýchlej statickej metódy merania GNSS s 3 minútovou observačnou dobou. Predmetom skúmania bola aj kvantifikácia sily závislosti medzi strednou súradnicovou chybou a faktormi vplývajúcimi na jej veľkosť.

2 Materiál a metóda

2.1 Charakteristika použitých prístrojov a softvéru

Pre získanie pravouhlých súradníc porovnávacích bodov metódou polygónových ťahov sme použili kompaktnú totálnu stanicu od firmy Geodis Slovakia, spol. s. r. o. – TOPCON GPT 3002. Dosahovaná presnosť pri meraní dĺžok týmto prístrojom pomocou odrazového hranola je ±3 mm pri meraní vzdialenosti do 3 km, uhlová presnosť je dvojsekundová [2].

Pre statickú metódu merania GNSS sme použili prijímač TOPCON Hiper GGD. Jedná sa o moderný duálny dvojfrekvenčný prístroj, teda zariadenie schopné prijímať signály oboch dostupných GNSS na oboch používaných frekvenciách. Obsahuje 40 sledovacích kanálov, čo znamená teoretickú možnosť simultánneho prijímania signálov 40 satelitov. Anténa prijímača umožňuje elimináciu prijímania odrazeného signálu družíc vnášajúceho nepresnosť do meraní. Výrobcom udávaná presnosť pre statickú metódu merania je 3 mm + 0,5 ppm v horizontálnej polohe a 5 mm + 0,5 ppm vo vertikálnej polohe [2].

Na konfiguráciu prijímača sme použili softvér PC – CDU. Prostredníctvom tohto programu je možné nastavovať rôzne parameter pre zber dát – interval registrácie, výškový filter, použitý družicový systém, názov stanoviska a výšku antény. Umožňuje tiež monitorovanie stavu viditeľných satelitov. Slúži aj na sťahovanie súborov z prijímača do počítača cez sériový kábel pre ďalšie spracovanie nameraných údajov [6].

Samotné spracovanie dát získaných meraním prebehlo v softvérovom produkte TOPCON Tools 7.3 určenom na post–processingové spracovanie dát získaných statickou metódou merania. Táto aplikácia prevádza výpočet určovaných vektorov a následne súradníc meraných bodov.

Výpočet pravouhlých súradníc vrcholov zameraného polygónového ťahu na lesnom prieseku prebehol v geodetickej aplikácii GROMA 7.0. Spracovanie a vyhodnotenie výsledkov bolo realizované v softvérovom produkte Microsoft Office EXCEL 2007, štatistická časť vyhodnotenia v štatistickom softvéri STATISTICA 7.

2.2 Terénne merania

Terénne merania boli vykonané v septembri roku 2009, teda vo vegetačnom období. Záujmová lokalita sa nachádzala v blízkosti Zvolena, na území medzi obcami Sielnica a Kováčová. Predmetom merania boli vrcholové body polygónového ťahu vedeného prevažne popri lesnej odvoznej ceste. Les, ktorého priesekom bol vedený predmetný polygón, môžeme charakterizovať ako zmiešaný, na 3/4 plochy dvojetážový porast. Prvá etáž bola tvorená hrubou kmeňovinou vo veku 80 až 110 rokov, druhá rastovou fázou žrďovina vo veku 40 až 60 rokov [3]. Meranie sa realizovalo v dvoch fázach. V prvej bol polygónový ťah zameraný totálnou stanicou, v druhej fáze boli na identickom polygónovom ťahu vykonané observácie GNSS prijímačom. Pre transformáciu súradníc zo systému ETRS 89 do systému S-JTSK bol použitý lokálny transformačný kľúč charakterizovaný strednou chybou v horizontálnej polohe m_0 = 0,042 m a vo vertikálnej polohe h_0 = 0,027 m.

2.3 Spracovanie nameraných údajov

Pri spracovaní údajov sme postupovali podľa zásad klasického postupu vyrovnávacieho počtu [1], pričom sme navyše overili kvalitu nameraných údajov.

a) Výpočet súradnicových rozdielov (diferencií) d_{xi}, d_{yi}, d_{zi}
b) Overenie kvality nameraných údajov – vylúčenie extrémnych hodnôt niektorých odchýlok vzniknutých po hrubých chybách merania. Celkovo bolo vylúčených 15% hodnôt (pochádzajúcich zo 4 stanovíšť z celkového počtu 27 stanovíšť na lesnom prieseku).
c) Výpočet aritmetického priemeru $\overline{d}_{x(y,z)}$ súradnicových rozdielov a ich smerodajných odchýlok $s_{\overline{d}_{x(y,z)}}$
d) Stanovenie nulovej hypotézy o výskyte systematickej chyby a jej posúdenie pomocou Studentovho t– testu
e) Výpočet stredných súradnicových chýb pre jednotlivé osi (m_x, m_y, m_z) a strednej súradnicovej chyby (m_{xy})

Pre účel splnenia cieľov práce bola zvolená metóda regresnej a korelačnej analýzy, nakoľko závislý znak (stredná súradnicová chyba) i nezávislé znaky (faktory vplývajúce na jej veľkosť) majú kvantitatívny charakter. Vykonanú analýzu možno rozdeliť do štyroch etáp.

V prvej etape bolo vykonané hľadanie predbežného tvaru regresného modelu grafickým spôsobom na základe posúdenia tvaru závislostí medzi m_{xy} a jednotlivými faktormi sériou grafov.

V rámci druhej etapy boli určené koeficienty regresnej rovnice.

V tretej etape sme použitím grafu "predpovedané vs. pozorované" overili vhodnosť tvaru regresného modelu. Testovali sme, či vybraný model svojím priebehom odpovedá nameraným údajom. Následne bol vykonaný všeobecný F-test pre overenie štatistickej významnosti celého regresného modelu. Pri viacnásobnej závislosti sme v ďalšom kroku posúdili opodstatnenosť zavedenia jednotlivých nezávislých premenných do regresnej rovnice pomocou *t*–testov významnosti jednotlivých regresných koeficientov. Ďalej sme zmerali silu závislosti medzi m_{xy} a vybranými faktormi pomocou výberového korelačného koeficienta a koeficienta determinácie. Pri viacnásobnej závislosti sme na zmeranie sily korelácie použili viacnásobný korelačný koeficient. Na kvantifikáciu sily individuálneho vplyvu konkrétnej nezávislej premennej vyskytujúcej sa v lineárnej kombinácii nezávislých premenných sme použili tzv. semi – parciálny korelačný koeficient.

V poslednej, štvrtej etape sme zovšeobecnili výsledky regresnej a korelačnej analýzy zostrojením pásov spoľahlivosti predikcie.

3 Výsledky

Pri zameraní polygónového ťahu totálnou stanicou bola dosiahnutá 4. trieda presnosti určenia polohy bodov PPBP. Týmto spôsobom získané súradnice sme v ďalšom postupe považovali za presné a správne. Po získaní súradníc vrcholových bodov identického polygónového ťahu technológiou GNSS boli predmetom porovnávania stredná súradnicová chyba m_{xy} a stredná výšková chyba m_z pri zohľadnení použitého družicového systému a výškového filtra.

Tab. 3.01 Prehľad m_{xy} a m_z pri meraní polygónu na lesnom prieseku pri rôznych satelitných systémoch a výškových filtroch
Table 3.01 Summary of the m_{xy} and m_z at measurement of polygonal course at forest ride at various satellite systems and elevation mask

Objekt merania	Dĺžka observácie (min.)	Výškový filter (°)	Použité satelitné systémy				Rozdiel m_{xy}		Rozdiel m_z	
			GPS + GLONASS		GPS					
			m_{xy} (m)	m_z (m)	m_{xy} (m)	m_z (m)	(m)	(%)	(m)	(%)
Polygón na lesnom prieseku	3	10	0,6797	1,5880	0,5590	1,3593	0,1207	21,6	0,2287	16,8
		15	0,6425	1,6638	0,5995	1,3697	0,0430	7,2	0,2941	21,5
		20	0,6900	1,9110	0,7646	1,4742	0,0746	9,8	0,4368	29,6

- zníženie m_{xy} a m_z pri využití GLONASSu (decrease of the m_{xy} and m_z values at utilization of the GLONASS system)

- zvýšenie m_{xy} a m_z pri využití GLONASSu (increase of the m_{xy} and m_z values at utilization of the GLONASS system)

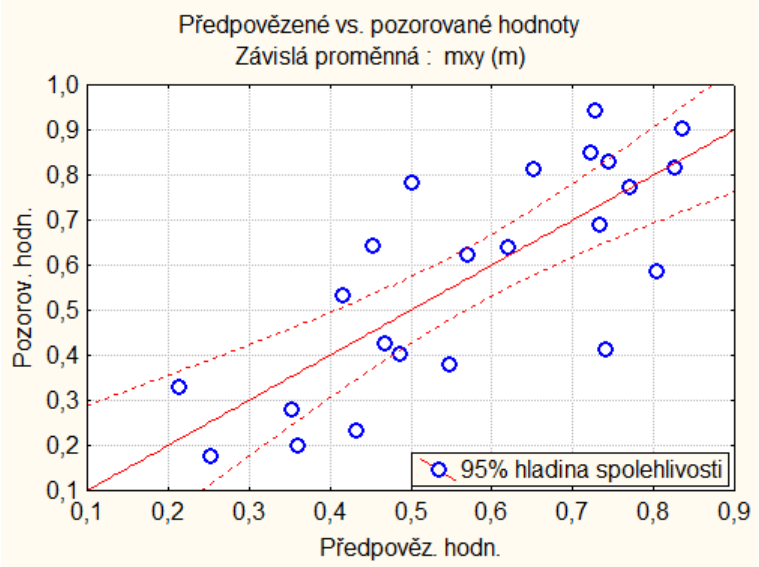
Ako môžeme vidieť z tabuľky 3.01, vplyv ruského systému GLONASS sa prejavil pozitívne len pri určení horizontálnej polohy pri 20° výškovom filtri, celkovo môžeme jeho vplyv hodnotiť negatívne. Najlepšie hodnoty stredných chýb boli dosiahnuté pri nižšom, 10° nastavení výškového filtra (výnimku tvorí len hodnota m_{xy} pri 15° nastavení). Z dôvodu dosiahnutia minimálnych stredných chýb pri 10° výškovom filtri boli práve tieto použité pre výpočet m_{xy} pre jednotlivé stanovištia. Vďaka tejto voľbe budeme môcť po neskoršom zhotovení pásov spoľahlivosti predikcie predpovedať menšie budúce hodnoty m_{xy} v porovnaní s inými nastaveniami výškového filtra, pri ktorých boli dosiahnuté horšie výsledky.

Prvým skúmaným modelom bol regresný model závislosti medzi strednou súradnicovou chybou m_{xy} a všetkými faktormi, ktoré sme kvantifikovali v teréne. Po predbežnom zistení jeho tvaru boli vypočítané koeficienty regresnej rovnice:

$$m_{xy} = 0{,}3520 - 0{,}0267\,k + 0{,}0024\,l + 1{,}0119\,m + 0{,}0110\,n + 0{,}0335\,o - 0{,}1100\,p - 0{,}0120\,q$$

k – vzdialenosť tieniacej dreviny
l – hrúbka tieniacej dreviny
m – zakmenenie porastu
n – viditeľná obloha
o – zápoj porastu
p – počet GPS satelitov
q – počet GLONASS satelitov

Následne sme grafom typu „predpovedané vs. pozorované“ overili vhodnosť tvaru regresného modelu. Model svojím tvarom vhodne odpovedá nameraným údajom vtedy, ak porovnávacia priamka prechádza počiatkom súradnicovej sústavy a stúpa grafom pod 45° uhlom, pričom zobrazené body kolíšu okolo nej náhodne [5]. Z obrázka 3.01 môžeme dedukovať vhodný tvar nami skúmaného regresného modelu.

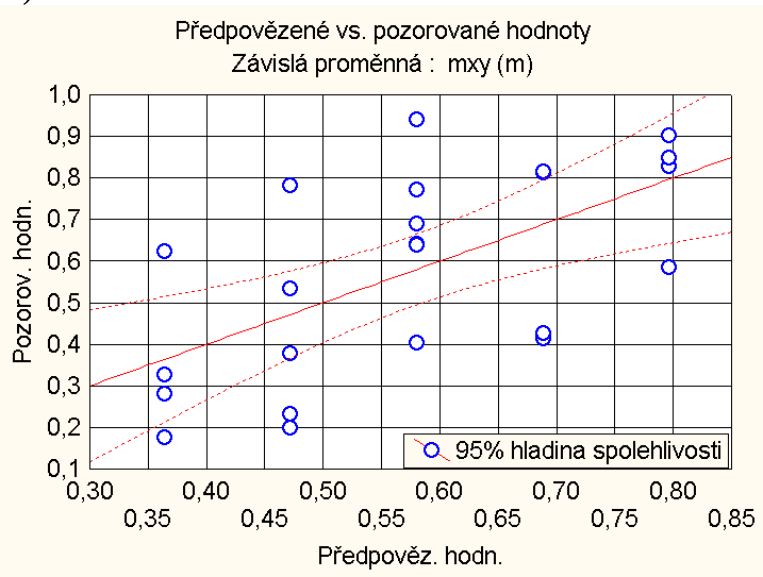


Obr. 3.01 Graf „predpovedané vs. pozorované“ modelu závislosti m_{xy} od všetkých faktorov
Fig. 3.01 Diagram „predicted vs. observed“ of model of m_{xy} dependency on the all factors

Štatistická významnosť celého modelu bola potvrdená všeobecným F-testom. Z prevedených t-testov významnosti jednotlivých regresných koeficientov bol významný len test premennej počtu satelitov amerického systému NAVSTAR GPS. Tento fakt indikuje prítomnosť problému multikolinearity a redundancie nezávislých premenných. Multikolinearita je jav, pri ktorom nezávislé premenné neovplyvňujú len závislú premennú, ale zároveň sa do určitej miery lineárne ovplyvňujú medzi sebou navzájom. Ideálnym stavom pri skúmaní viacnásobných závislostí je stav nulovej multikolinearity medzi nezávislými premennými, pretože multikolinearita spôsobuje v rámci viacnásobnej regresnej a korelačnej analýzy niekoľko nežiaducich efektov. Navonok sa prejavia tak, že príspevok a sila vplyvu konkrétnej premennej *x* na znak *y* môže byť rozličným spôsobom maskovaná závislosťou na iných nezávislých premenných zavedených do regresnej rovnice. Charakteristikou tolerancie T boli následne identifikované premenné, ktoré boli vo vzťahu multikolinearity. Vzťah multikolinearity sa preukázal medzi faktormi zakmenenia (T = 0,25), zápoja (T = 0,28) a percenta viditeľnej oblohy (T = 0,20). Tolerancia nadobúda hodnoty z intervalu <0;1>. Čím viac sa blíži hodnota tolerancie T k nule, tým je problém multikolinearity a redundancie skúmanej premennej väčší. V prípadoch skúmania viacnásobného modelu, kedy je všeobecný *F*–test celého regresného modelu významný a *t*–testy významnosti jednotlivých regresných koeficientov sú nevýznamné, je potrebné regresný model upraviť alebo celkom zmeniť [5].

Viacnásobný korelačný koeficient charakterizujúci závislosť medzi m_{xy} a faktormi vplývajúcimi na jej veľkosť nadobudol hodnotu 0,77, koeficient determinácie 0,6. Jednalo sa teda o silnú až stredne silnú závislosť. Semi-parciálny korelačný koeficient nadobudol významné hodnoty u troch premenných – počtu satelitov amerického systému (–0,5), percenta viditeľnej oblohy (0,34) a zakmenenia (0,32).

V ďalšom postupe boli z modelu odstránené premenné, medzi ktorými sa preukázal vzťah multikolinearity a premenné, u ktorých bol t-test nevýznamný. Vznikol tak celkom nový model len s jednou premennou a to počtom satelitov systému NAVSTAR GPS. Postup nasledovnej regresnej a korelačnej analýzy bol podobný postupu analyzovania predchádzajúceho modelu. Po predbežnom zistení tvaru modelu boli vypočítané koeficienty regresnej rovnice (m_{xy} = 1,3379 – 0,1082 *x*, kde *x* je počet satelitov NAVSTAR GPS) a skonštruovaný graf "predpovedané vs. pozorované" (obr. 3.02).

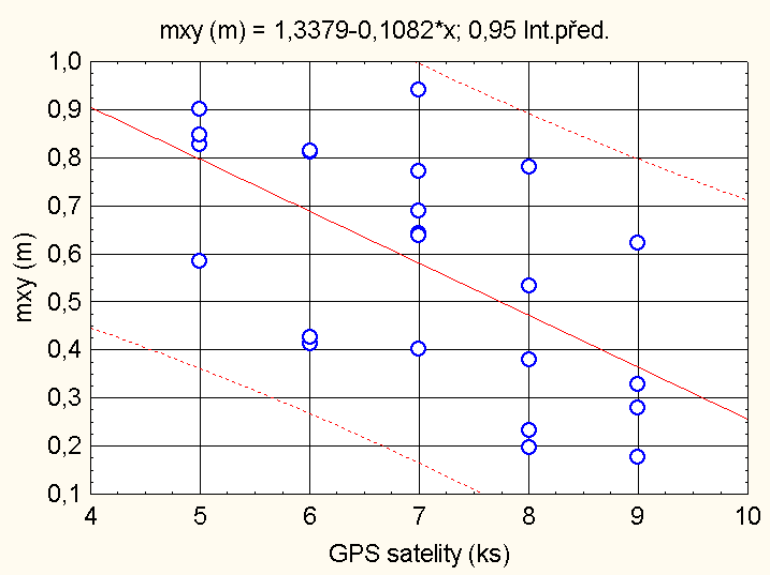


Obr. 3.02 Graf „predpovedané vs. pozorované" modelu závislosti m_{xy} od počtu satelitov systému NAVSTAR GPS
Fig. 3.02 Diagram „predicted vs. observed" of model of m_{xy} dependency on the number of satellites of NAVSTAR GPS system

Zo skonštruovaného grafu môžeme dedukovať nie celkom vhodný priebeh nami skúmaného modelu. Badáme systematický odklon modelových hodnôt od nameraných. Svedčí to o prítomnosti vplyvu neuvažovaných faktorov na veľkosť m_{xy}. Pre účel teoretického skúmania možnosti predikcie m_{xy} v závislosti od faktorov na ňu pôsobiacich nepovažujeme zistený odklon predpovedaných hodnôt od skutočných za relevantný.

Všeobecný *F*–test potvrdil štatistickú významnosť celého modelu. Silu závislosti m_{xy} od počtu družíc amerického systému charakterizujú hodnoty výberového korelačného koeficienta r = 0,61 a koeficienta determinácie r^2 = 0,37. Jedná sa teda o stredne silnú závislosť.

V záverečnej fáze analýzy sme zovšeobecnili výsledky na základný súbor konštrukciou pásov spoľahlivosti predikcie (obr. 3.03). Ide o pásy vymedzené okolo regresného modelu, ktoré so zvolenou spoľahlivosťou vytyčujú rámce možných chýb predikcie neznámych hodnôt závislého znaku (strednej súradnicovej chyby m_{xy}) pomocou známych hodnôt nezávislého znaku (počet NAVSTAR GPS satelitov) nameraných na novej výberovej vzorke nezaradenej do predošlého výberového súboru [5]. Z obrázka 3.03 môžeme usudzovať, že pri zameriavaní ďalšieho polygónového ťahu na inom prieseku lesného porastu, kde bolo realizované meranie, môžeme očakávať pri počte napr. 5 satelitov amerického systému minimálnu chybu približne 0,36 m, pri počte 9 satelitov maximálnu chybu 0,8 m.



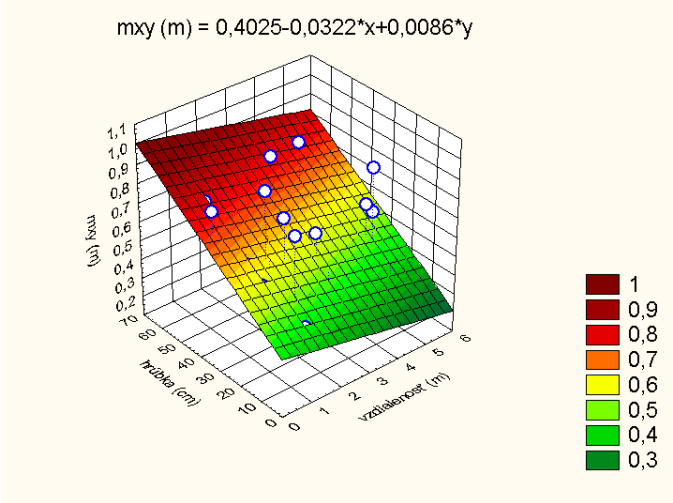
Obr. 3.03 Pásy spoľahlivosti predikcie m_{xy} pomocou počtu satelitov systému NAVSTAR GPS
Fig. 3.03 Prediction bands of m_{xy} by number of satellites of NAVSTAR GPS system

Predmetom nasledovného skúmania boli tiež modely s rôznymi kombináciami na strane nezávislých premenných. Postup analýzy bol identický s postupom uvedeným pri už skúmaných modeloch. Cieľom bolo získanie modelu, v ktorom by bola závislosť medzi strednou súradnicovou chybou m_{xy} a ostatnými faktormi čo najtesnejšia a zároveň sme sledovali minimalizáciu vstupov. Pri zistení javu multikolinearity bolo našou snahou ju oslabiť a až následne sme sa rozhodovali pre vylúčenie jednotlivých nezávislých premenných z modelu. Nezískali sme však model, ktorý by bol charakterizovaný výrazne vyššou hodnotou viacnásobného korelačného koeficienta v porovnaní s modelom závislosti m_{xy} od počtu satelitov amerického systému NAVSTAR GPS.

V prípade viacnásobných závislostí, kedy sa na strane nezávislých premenných nachádza väčšie množstvo faktorov, z ktorých každý má malý vplyv na hodnotu závislej premennej, možno predpokladať nízke hodnoty semi – parciálnych korelačných koeficientov u viacerých nezávislých premenných, takže ani *t*–testy významnosti jednotlivých regresných koeficientov nepotvrdia opodstatnenosť predmetných premenných v regresnej rovnici. V prvom nami skúmanom modeli sa nachádzalo niekoľko takýchto premenných (faktorov pôsobiacich na veľkosť m_{xy}). Ich vplyv na hodnotu strednej súradnicovej chyby možno vidieť na nasledujúcich obrázkoch.

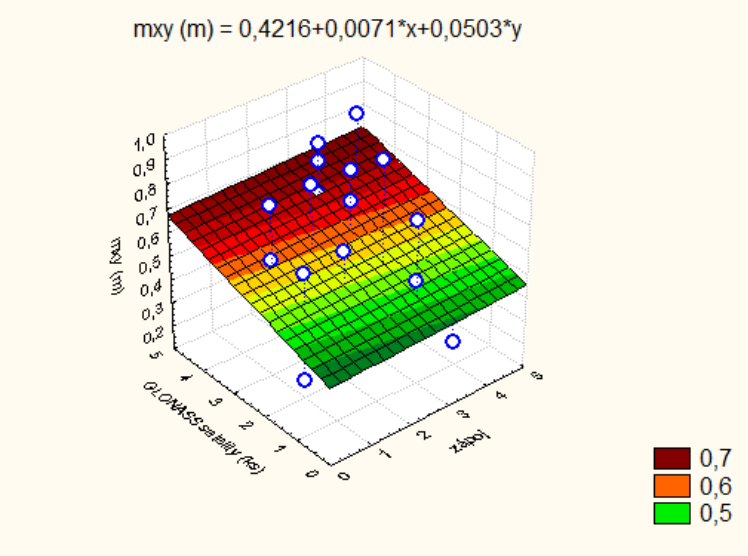
Ako môžeme vidieť z obrázka 3.04, s klesajúcou vzdialenosťou a najmä rastúcou hrúbkou tieniacej dreviny rastie aj hodnota m_{xy}. Hodnota korelačného koeficienta *r* závislosti medzi m_{xy} a hrúbkou a vzdialenosťou tieniacej dreviny nadobudla veľkosť 0,50, hodnota koeficienta determinácie r^2 veľkosť 0,25. Jednalo sa teda o slabú až stredne silnú závislosť. Z tvaru regresnej rovnice vidno, že ak sa zvýši napr. hrúbka najbližšej tieniacej dreviny o 10 cm pri konštantných hodnotách absolútneho koeficienta a regresného koeficienta vzdialenosti, zvýši sa hodnota strednej súradnicovej chyby m_{xy} o 8,6 cm. V prvom kroku sme do skúmania závislosti zahrnuli všetkých 152 drevín zo všetkých 23 stanovíšť, jednalo sa teda o všetky dreviny z 8 metrového okruhu okolo meraných bodov polygónového ťahu. V tomto prípade korelačný koeficient *r* nadobudol veľkosť 0,16, koeficient determinácie r^2 veľkosť 0,02. Na základe vyššej hodnoty semi – parciálneho korelačného koeficienta vzdialenosti oproti hodnote semi – parciálneho

korelačného koeficienta hrúbky sme sa rozhodli v ďalšom kroku pre účel skúmania závislosti pre selekciu stromov na základe vzdialenosti od meraného bodu. Predmetom nasledovného skúmania už nebola závislosť medzi m_{xy} a hrúbkou a vzdialenosťou všetkých 152 drevín, ale len 3 najbližších drevín k meranému bodu na každom stanovišti, teda 3 dreviny x 23 stanovíšť= 69 drevín. Hodnota *r* sa zvýšila na 0,31, hodnota r^2 na 0,09. Následne sme do skúmania závislosti vybrali len dreviny rastúce najbližšie k meraným bodom. Túto závislosť zachytáva obrázok 3.04. Zvyšovanie hodnôt charakteristík sily korelácie (*r* z 0,16 na 0,50 , r^2 z 0,02 na 0,25) zapríčinené selekciou stromov rastúcich bližšie k meraným bodom svedčí o fakte, že na veľkosť m_{xy} majú vplyv najmä dreviny rastúce blízko pri určovaných bodoch.



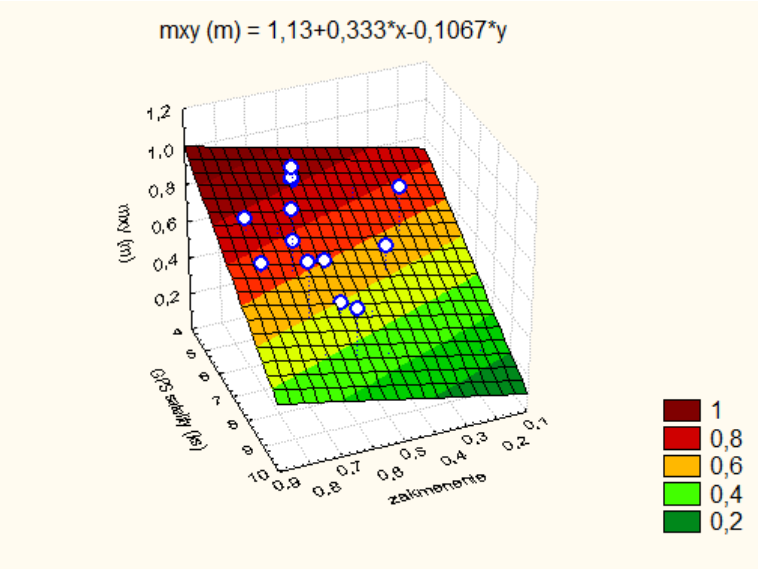
Obr. 3.04 Graf závislosti m_{xy} od hrúbky $d_{1,3}$ a vzdialenosti tieniacej dreviny
Fig. 3.04 Diagram of m_{xy} dependency on the thickness $d_{1,3}$ and distance of shading tree

Na ďalšom obrázku 3.05 môžeme sledovať závislosť m_{xy} od počtu observovaných GLONASS družíc a od zápoja. Badáme negatívny vplyv ruského systému – so zvyšujúcim sa počtom satelitov sa zvyšuje aj hodnota m_{xy}. Tento fakt bol potvrdený aj pri skúmaní vplyvu GLONASSu v kapitole 3.2.2. Vplyv zápoja porastu je nepatrný. Charakteristiky sily závislosti nadobudli nasledovné hodnoty: $r = 0,23$, $r^2 = 0,05$.



Obr. 3.05 Graf závislosti m_{xy} od zápoja a počtu družíc systému GLONASS
Fig. 3.05 Diagram of m_{xy} dependency on the degree of density and number of the GLONASS satellites

Nasledujúci obrázok 3.06 zachytáva závislosť medzi m_{xy} a zakmenením a počtom satelitov systému NAVSTAR GPS. So zvyšovaním sa hodnôt zakmenenia a znižovaním počtu družíc amerického systému rastie veľkosť strednej súradnicovej chyby. Charakteristiky sily závislosti nadobudli nasledovné hodnoty: r = 0,65, r^2 = 0,42.



Obr. 3.06 Graf závislosti m_{xy} od zakmenenia a počtu družíc systému NAVSTAR GPS
Fig. 3.06 Diagram of m_{xy} dependency on the stocking degree and number of the NAVSTAR GPS satellites

4 Záver

Pred konštrukciou pásov spoľahlivosti predikcie, ktoré nám umožňujú predpovedať veľkosť strednej súradnicovej chyby m_{xy} v závislosti od očakávaných hodnôt faktorov merania, bolo potrebné modelovať závislosť medzi m_{xy} a faktormi determinujúcimi jej veľkosť. Pri modelovaní metódou regresnej a korelačnej analýzy a použití rýchlej statickej metódy s 3- minútovou observačnou dobou v podmienkach lesného prieseku bolo potrebné riešiť dva problémy. Prvým bola multikolinearita niektorých faktorov merania (zakmenenia, zápoja a percenta viditeľnej oblohy). Druhým problémom je fakt, že len pri jednom faktore, pri počte satelitov amerického systému NAVSTAR GPS, sa potvrdila opodstatnenosť jeho zavedenia do regresnej rovnice t-testom významnosti regresného koeficienta. Vylúčením ostatných premenných došlo k výraznému poklesu percenta variability, ktoré model vysvetľuje. Riešenie problému multikolinearity je relatívne jednoduché. Spočíva v zavedení len jednej, najvýznamnejšej premennej do regresnej rovnice z trojice faktorov, ktorých sa dotýka problém multikolinearity. Riešenie druhého problému je zložitejšie. Ostáva otázne, či by daný problém existoval aj v prípade použitia metódy s dlhšou dobou observácie, resp. pri vykonaní väčšieho počtu meraní, nakoľko rozsah výberového súboru bol malý (27 meraní, 4 vylúčené pre dosiahnuté extrémne hodnoty odchýlok). Problematika môže byť predmetom ďalšieho výskumu.

Pri používanie rýchlej statickej metódy možno na základe dosiahnutých výsledkov uviesť pre prax nasledovné odporúčania:

- pristupovať k plánovaniu meraní, vyhýbať sa meraniu medzi 11.00 – 14.00 hod, kedy je v podmienkach Slovenska na oblohe najmenej družíc amerického systému NAVSTAR GPS
- nebudovať bodové polia v blízkosti drevín s veľkou hrúbkou $d_{1,3}$
- pristupovať k dlhším časovým observáciám, pri ktorých je predpoklad spoľahlivejšieho

vyriešenia ambiguít a teda presnejšieho určenia geodetickej polohy bodov
- využívať nižší interval registrácie dát (3 sekundy) počas observácií
- nastavovať nižšiu hodnotu výškového filtra (10°)
- nepoužívať pri aplikácii nami skúmanej metóde ruský GNSS GLONASS

5 Referencie

[1] Böhm, Josef – Radouch, Vladimír – Hampacher, Miroslav: *Teorie chyb a vyrovnávací počet.* Geodetický a kartografický podnik Praha, s. p., Praha 1990. ISBN 80–7011–056–2
[2] Firemná literatúra pre prístroje TOPCON HIPER GGD a TOPCON GPT 3002
[3] *LHP pre LÚC Sliač – Hájniky*. Lesoprojekt, Zvolen 2002.
[4] Rapant, Petr: *Geoinformatika a geoinformační technologie.* Institut geoinformatiky. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2006. ISBN 80–248–1264–9.
[5] Scheer, Ľubomír – Sedmák, Róbert: *Biometria.* Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen 2007. ISBN 978–80–228–1723–3
[6] Užívateľský manuál softvéru PC– CDU
[7] Žíhlavník, Štefan – Meluš, Jozef: *Využitie GNSS pri lesníckom mapovaní – Utilization of GNSS at forest mapping.* Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen 2009. ISBN 978–80–228–2013–4