

# Testování aparatur GPS pro navigační systémy a mobilní sběr geodat

Pavel Vaniš<sup>1</sup>, Milan Kocáb<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Útvar GIS a KN, Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, Ústecká 98,  
250 66, Zdiby, Česká republika  
pavel.vanis@vugtk.cz

<sup>2</sup>Útvar GIS a KN, Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, Ústecká 98,  
250 66, Zdiby, Česká republika  
milan.kocab@vugtk.cz

**Abstrakt.** Důležitou součástí při využívání technologií GPS je znalost polohové přesnosti a spolehlivosti jednotlivých aparatur. Metody určení polohové přesnosti a spolehlivosti aparatur v sobě zahrnují mnoho aspektů: vytvoření kvalitního etalonu pro statická i dynamická měření, sofistikovanou metodiku provádění testovacích prací a vyhodnocení výsledků zvolenou metodou. Článek uvádí praktické uplatnění teoretických poznatků při testování nových neověřených aparatur GPS jak statickým, tak dynamickým měřením.

Testovací výsledky naznačují vhodnost popisovaného řešení a objektivní posouzení testovaných aparatur pro praktické využití s ohledem na jejich deklarované parametry.

**Klíčová slova:** přesnost GPS aparatur, testování, etalony

**Abstract.** GPS Devices Testing for Navigation Systems and Geodata Mobile Acquisition. An important part of GPS technology exploitation is knowledge of positioning accuracy and dependability of individual devices. The methods of investigation of positioning accuracy and dependability consist of many aspects: establishment of high-quality etalons for static and dynamic measurements, sophisticated methodology of testing process and evaluation of results by selected method. The article describes practical exploitation of theoretic knowledge in testing of new unverified GPS devices by static and dynamic measurements.

The results of testing indicate usability of described solution and an objective evaluation of tested devices for practical use with respect to their declared parameters.

**Keywords:** GPS devices accuracy, testing, measurement standard

## 1 Úvod

Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický (VÚGTK) řeší v rámci výběrové soutěže v oboru Informační společnost, který vyhlásila Akademie věd

České republiky v tematickém programu "II. Národní program výzkumu - TP2" projekty „Navigační a logistické systémy (NAVLOG)“, registrační číslo 1ET109890411, a „Mobilní sběr prostorových dat pro mapování v reálném čase (MOBILDAT)“, registrační číslo 1ET101630421.

Cíle obou projektů se doplňují. U projektu NAVLOG se vyvíjí modulární logistický GIS systém, v řešení českého aplikovaného a průmyslového výzkumu sloužící pro potřeby optimálních praktických řešení pro energetiku a dopravní telematiku. Jedná se tedy o sběr informací, u kterých není nutné data po dlouhou dobu uchovávat, ale zabezpečit jejich on-line využitelnost pro navigaci v různých oborech. Cílem projektu MOBILDAT je vytvořit základní infrastrukturu pro on-line vkládání naměřených prostorových dat zájmovými skupinami prostřednictvím mobilních zařízení.

V rámci projektu byl vytvořen i GPS přijímač, u kterého bylo třeba určit jeho přesnost při určení polohy a porovnat jej s dalšími existujícími aparaturami GPS v různých podmínkách. Podmínky příjmu signálu z družic byly voleny tak, aby při ideálních pozorovacích podmínkách co nejvíce odpovídaly nejčastěji dosahovaným hodnotám Position Dilution of Precision (PDOP) s vyloučením extrémů.

Při tvorbě metodiky testování bylo nutno brát v úvahu, že uživatelé víceméně náhodně provádějí výběr, kde a kdy bude měření prováděno. Měření polohy pohybujících se objektů v čase a místě je prováděno nezávisle na ideálních příjmových podmínkách příjmu signálu z družic. Ve většině případů měření GPS např. v projektu NAVLOG je uspokojivé i dosažení přesnosti v řádu prvních desítek metrů. Proto bylo testování provedeno v terénech o různých konfiguracích, aby se postihly pokud možno všechny případné možnosti. Dále byly testy prováděny na stejných místech znovu s různými měřickými metodami zpřesnění.

## **2 Metodika testování GPS**

### **2.1 Statická měření**

Jako základ pro vyhodnocení výkonových parametrů přístrojů jsme zvolili statické měření. Při této metodě byly přijímače umístěny na bod o známých souřadnicích státního souřadnicového systému s předem ověřenou přesností. Měření se provedlo po předem definovanou dobu pro každý přijímač. Poté se měření vyhodnotilo a výsledky jednotlivých přijímačů se porovnaly. Pro vzájemnou porovnatelnost výsledků bylo nutné dodržet zhruba stejné podmínky příjmu – tedy testovací měření provést všemi přístroji na daném bodě a danou metodou bezprostředně za sebou a veškerá měření uskutečnit za běžně dosahovaných hodnot PDOP při stejných podmínkách. Při změně konstelace satelitů se měření celé skupiny opakuje. Hodnoty jednotlivých PDOP se určí dle nejčastěji dosahovaných údajů, abychom mohli konstatovat, že výsledky jsou platné v nejširším možném časovém úseku (pokud nedošlo k extrémním podmínkám např. vyřazení více družic apod.). Ačkoliv výkonnostní standardy GPS zaručují po 98% dne PDOP 6 a lepší, zvolili jsme rozsah PDOP do 4, což odpovídá cca 90% denní doby. Tyto standardy též zajišťují funkčnost minimálně 21 družic s 98% pravděpodobností v ročním průměru [2]. Pokud bylo možné nastavit elevační masku, nastavila se maska na všech přístrojích jednotně. Vlastní měření musí proběhnout v

podmínkách, v jakých se předpokládá použití aparatur. To znamená, že měření se uskutečnilo v různých terénních podmínkách, a to i takových, které jsou pro použití GPS nepříznivé. Pro měření je nutno, aby byl ve všech přístrojích stažen aktuální almanach již před prvním měřením. Současně byla zajištěna poloha antény v přístroji tak, aby byl přístroj opravdu centrován na polohu antény.

**Způsob určení a kontroly testovacích bodů.** Do testování byly zahrnuty body již vybudované a ověřené při zřízení testovací základny VÚGTK a dále body zhušťovací a trigonometrické se známými souřadnicemi v terénu již vybudované trigonometrické sítě. Body se volily tak, aby byly zajištěny různé terénní podmínky pro příjem signálů družic. Odzkoušení bylo připraveno na následujících typických lokalitách:

- a) testovací základna VÚGTK – zde jsou ideální observační podmínky a přesně určené souřadnice bodů
- b) městská zástavba
- c) hluboké údolí
- d) lesní porosty

Přesnost určení zhušťovacích bodů je dána střední souřadnicovou chybou, která činí pro zhušťovací body 2 cm vzhledem k okolním zhušťovacím bodům s mezní odchylkou do 2,5x2 cm = 5 cm. U trigonometrických bodů je střední souřadnicová chyba 1,5 cm a mezní odchylka do 2,5x1,5 cm = 3,5 cm. Přesnost výškové složky je dána u obou bodů na 10 cm [7]. Tyto hodnoty zajišťují pro účely testování přístrojů předpokládané kategorie dostatečnou přesnost, ale před testováním se musí ověřit přímým trigonometrickým měřením, zda nedošlo k nekontrolovanému posunu či jiné chybě v určení.

Pro testování byly vybrány následující body:

- a) volné prostranství (ideální podmínky): 3 body ze základny VÚGTK v Ondřejově (body 11, 13 a 31)
- b) městská zástavba: bod 1425 413 - křižovatka Dělnické a Osadní, střední zelený pás  
bod 1425 414 - křižovatka Komunardů a Jateční, střední zelený pás
- c) údolí – v údolí Vltavy severně od Prahy
- d) les: trigonometrický bod 2207 009 - jehličnatý, mezi Kostelními Střimelicemi a Zvánovicemi, na hřbetu  
trigonometrický bod 2207 012 - jehličnaté mlází u silnice mezi Stříbrnou Skalicí a Konojedy.

Z výsledků analýz zaměření vychází, že přesnost určených souřadnic je pro vnitřní základnu (body s nucenou centrací na Skalce) asi 0,5 mm v poloze a 1 mm ve výšce, pro vnější základnu asi 1,5 - 3 mm v poloze a 5 - 6 mm ve výšce [3].

**Průběh vlastního měření.** Před začátkem vlastního měření byly vybrané body zkontrolovány, zda nejsou poškozeny a zda splňují požadavky definované při výběru. Měření probíhalo v termínu od 13. do 28.7.2005 převážně od 7 do 13 hodin, zpočátku však cca o 2 hodiny později. Vzhledem k tomu, že korekce EGNOS není většinou možné přijímat v lese z důvodu zastínění nízko položeného geostacionárního satelitu (cca 30° nad obzorem), nebyly korekce EGNOS v lese měřeny.

Vlastní měření bylo provedeno jako měření 180 záznamů – tedy 3 minuty na každém bodě v intervalu záznamu 1 s. Každá aparatura měří samostatně na každém bodě, aby byly dodrženy stejné podmínky pro všechny přístroje. Před vlastním měřením je nutné, aby byl přístroj již zapnutý a měl dosažený signál s přijatým almanachem. Všechny přístroje měly nastavenou elevační masku na 15°, pokud toto nastavení umožňovaly. Během měření se operátor od aparatury musí opatrně vzdálit, aby nedocházelo k zakrytí přístroje tělem. Měření bylo organizováno tak, aby po návratu na již měřený bod byla změněna geometrie družic a zároveň, aby hodnota PDOP odpovídala definovanému kritériu nejčastěji dosahovaných hodnot do 4.

Přístroje byly testovány s užitím následujících technologií (pokud je umožňovaly):

- a) bez upřesnění
- b) EGNOS
- c) korekce z CZEPOS v reálném čase

Před vlastním měřením byla ověřena NANU (Notice Advisory to NAVSTAR Users), zda není plánována odstávka některé družice, což by ovlivnilo teoreticky určené hodnoty DOP z almanachu. NANU je třeba ověřit též po měření, zda nedošlo k výpadku nějaké družice. Pokud bychom měření zatížené chybnými údaji vysílanými porouchanou družicí nijak neošetřili, mohli bychom významně zpochybnit výsledky celého srovnávacího testu.

V případě zjištění chyby je možné postupovat třemi způsoby, resp. posuzovat skutečně dosažené hodnoty DOP a měření zohlednit:

1. zopakovat celé měření daným přijímačem a pro srovnání použít pouze výsledky nového měření,
2. pokusit se vyřadit ze zpracování porouchanou družici, posoudit, nakolik jsou takto získané výsledky věrohodné a případně je použít bez opakování měření.
3. vyřazení družice zanedbat, pokud se jedná o běžnou odstávku.

Při každém měření je potřeba uvést následující údaje, na základě kterých je určena platnost testování:

- a) čas
- b) stav počasí (teplota, oblačnost, srážky, případně zvláštní atmosférické jevy – bouřky apod.)
- c) hodnoty DOP
- d) konfiguraci satelitů – obrázek tzv. skyplot (důležité zvláště při měření v úzkých údolích a ulicích)
- e) orientace přístroje ke světovým stranám

## 2.2 Dynamické měření

Problematika posouzení dynamických měření je složitější, neboť nelze s dostatečnou přesností určit, v jakém bodě se v okamžiku měření přístroj nacházel.

Ideální by bylo testování na kolejovém vozidle s počítačově řízenou rychlostí. Pak by bylo možné na základě rychlosti a zrychlení určit přesné souřadnice v bodě, kde se

vozidlo nacházelo v čase  $t$  od startu. Podobně existují systémy pro sledování pohybu automobilu, které jsou založeny na gyroskopu a odometru [1].

Naše měření bylo založeno na pohybu aparatur v automobilu po zaměřeném polygonu s možností porovnat alespoň příčnou odchylku od předpokládané osy. Vzhledem k tomu, že testy probíhaly na silnici za provozu, byly vedeny poznámky o případných vychýleních z osy z důvodu vyhýbání se překážce apod. Lze předpokládat, že dynamická měření budou vykazovat posun, systematickou chybu, způsobenou výpočtem ambiguit na počátku měření. Úkolem je zároveň zjistit a vyhodnotit, jak se daná aparatura chová v různých podmínkách za různých rychlostí s ohledem na běžné provozní podmínky.

Polygon by měl procházet vrcholovou partií s dobrými observačními podmínkami, svahem, údolím, lesem.

Měření musí proběhnout opět několikrát za různých konfigurací družic (při nejčastěji dosahovaných hodnotách DOP) za různých rychlostí a vyhodnoceno, zda došlo k zvětšení příčné odchylky či nikoliv. Vlastní numerické zpracování je velmi obtížné a časově náročné (např. s použitím výše uvedených gyroskopů). Důležitou součástí hodnocení je i experimentální vyhodnocení a slovní vyjádření.

**Výběr testovací trasy pro dynamické měření.** Trasa byla vybrána tak, aby pokrývala všechny typy krajiny (les, údolí, volný obzor) a zároveň aby bylo možné ji projet i ve vyšších rychlostech.

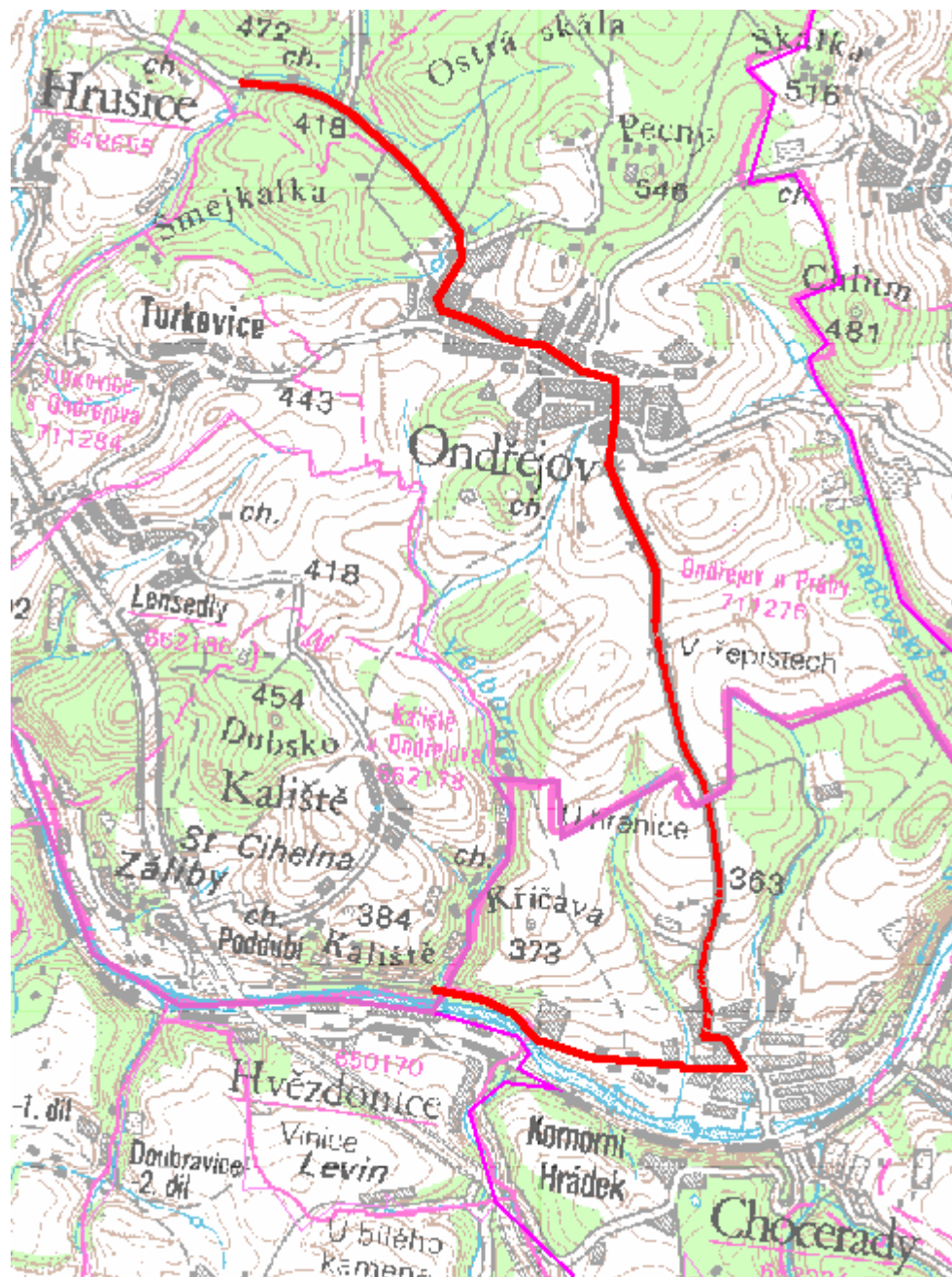
Jako nejvhodnější byla vybrána trasa mimo město od mostku přes potok Šmejalka na silnici č. 335 mezi Mnichovicemi a Ondřejovem (les), po silnici do Chocerad (volný obzor) a pak podél Sázavy do osady Kaliště u Ondřejova, kde u hřiště měřená trasa končí příčným zpomalovacím prahem (údolím). Testování je nutno provádět za provozu, což odpovídá podmínkám využití. V údolí je úzká a relativně hrbolatá s úseky s omezenou max. povolenou rychlostí na 20 km/h. Přesto však v okolí Prahy není možné najít ideální okruh, kde by se projíždělo hlubokým nezalesněným údolím (tento požadavek splňuje silnice Praha-Roztoky podél Vltavy) a v blízkosti by byl úsek s lesem relativně na rovině.

**Postup testování GPS aparatur v dynamickém režimu.** Interval záznamu poloh je zvolen po 1 s a v automobilu se projíždí zvolenou trasu. Vzhledem k možné změně podmínek je zvláště v zástavbě potřeba, aby se vozidlo vždy pohybovalo po stejné straně silnice – přejetí mezi pruhy by mohlo výrazně ovlivnit výsledek.

I při dynamických měřeních je třeba uvést následující údaje, na základě kterých je určena platnost testování:

- a) čas
- b) stav počasí (teplota, oblačnost, srážky, případně zvláštní atmosférické jevy – bouřky apod.)
- c) hodnoty DOP
- d) konfiguraci satelitů (důležité zvláště při měření v úzkých údolích a ulicích)
- e) orientace přístroje ke směru jízdy.

Též je třeba před a po měření ověřit NANU a postupovat stejným způsobem jako u statických měření.



Obr.1. Mapa trasy etalonu pro dynamická měření

### 3 Zpracování výsledků měření

#### 3.1 Metodika zpracování naměřených dat

Vstupními údaji zpracování byla data z 10 kampaní měření s tříminutovým záznamem polohy v intervalu 1 s. Z každého měření určíme hodnotu znaku  $X_i$  ( $i=10$ ), kde  $X_i$  je výsledná (viz varianty dále) hodnota ze všech záznamů  $Y_j$  ( $j=180$ ) jednotlivého tříminutového měření, kdy se počítá s relativním rozdílem polohy  $Y_j$  od skutečné polohy bodu (S). Výpočet horizontální přesnosti můžeme provádět jak v kartézských souřadnicích (x,y), tak v polárních souřadnicích (l, $\rho$ ). Počátkem obou souřadnicových systémů je S. Úkolem testování je určit či se alespoň přiblížit k hodnotě  $\Delta$ , která odpovídá spolehlivosti přístroje (na  $p\%$  bude výsledek náhodného měření do vzdálenosti  $\Delta$  od skutečné polohy).

Vzhledem k tomu, že jsme testovali jen GPS aparatury a ne komplex od měření po přepočítání do S-JTSK, bylo třeba před zpracováním ještě přepočítat WGS 84 naměřené souřadnice pomocí spolehlivých transformací do S-JTSK. K tomu sloužil program vyvinutý ve VÚGTK, kde jsou integrovány transformace ze systému ETRS 89 do S-JTSK a převod dat z formátu NMEA. Transformace převádí eliptické souřadnice B,L, H na pravouhlé v ETRF89 a ty potom pomocí sedmiprvkové transformace, převodu na Besselův elipsoid, modifikovaného Křovákova zobrazení na přibližné rovinné souřadnice S-JTSK. Dále jsou aplikovány „zbytkové opravy“ interpolované z tabulky. Opravy byly určeny porovnáním transformovaných souřadnic S-JTSK se skutečnými souřadnicemi v S-JTSK pro 27000 trigonometrických bodů. Koeficienty sedmiprvkové transformace byly určeny na základě 176 identických bodů z kampaně DOPNUL. Přesnost těchto transformací je charakterizována střední kvadratickou odchylkou 5 cm v poloze a 10 cm ve výšce [4].

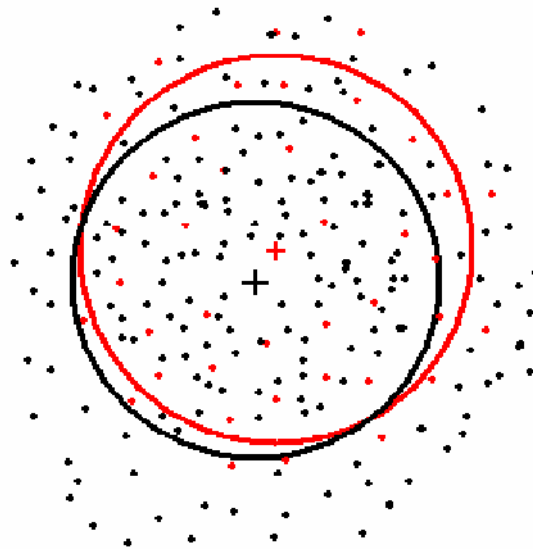
Hodnotu  $X_i$  lze určit několika způsoby:

- Charakteristická hodnota  $X_i$  se určí jako průměrná hodnota posledních 160 záznamů z daného měření – po odfiltrování prvních 20 měření,
- Jako průměrná hodnota z celého měření (dle počtu záznamů),
- Též je možno posuzovat pouze 68% nejlepších záznamů (výběr).

Demonstrujme si pojmy na příkladu. Máme k dispozici skupinu jednotlivých záznamů polohy, jejichž počet je limitně nekonečný. Mezi body je jeden bod, který je souřadnicí měřeného bodu. Se středem v tomto bodě lze vytvořit kružnici s poloměrem  $\Delta$  pro dané procento spolehlivosti (68%, 95% a 99%) ( $p\%$  všech bodů leží uprostřed kružnice). Vzhledem k časové omezenosti „náhodně“ vybereme  $n$  bodů a označíme je červeně – to jsou naměřené polohy bodu  $X_i$ . Průměrná poloha červených bodů je středem červeného kruhu (označme ji  $\bar{X}$ ) a  $p\%$  vybraných měření leží uprostřed červeného kruhu. Nyní analyzujeme potřeby úkolu.

Vzhledem k předpokládanému dynamickému použití testovaných přístrojů nás jako výsledek příliš nezajímá vzdálenost středů obou kružnic. Tato vzdálenost totiž znamená systematickou chybu měření způsobenou buď nevhodně změřenými body nebo systematickou chybu měření případně zpracování výsledků (transformace apod.). Jedná-li se o systematickou chybu měření, bude se vzdálenost středů obou

kružnic s přibývajícím  $n$  zmenšovat. Nás zajímají spíše rozptylové charakteristiky jednotlivých  $X_i$ .



Obr. 2. Ilustrace myšlenky měření, vysvětlení v textu

### 3.2 Možné způsoby zpracování naměřených dat

Při volbě nejvhodnějšího způsobu numerického vyhodnocení výsledků bylo analyzováno několik možností.

**Empirický pohled.** Na základě výběrového souboru určit empiricky odhad  $\Delta$ , označme jej  $\delta$ . To znamená, že se jednotlivá  $Y_i$  seřadí a v momentě, kdy bude dosaženo určeného procenta  $p$ , odečteme vzdálenost  $Y_p$  ( $p$ -tý percentil) a položíme jej jako hodnotu  $\delta$  pro dané procento.

**Statistický pohled** jako na výběrové šetření. Nabízí se možnost nahlížet na výběr hodnot  $X_i$  z měření jako na výběr reprezentativního vzorku z velmi vysokého počtu měření a na tento vzorek aplikovat statistické vzorce pro určení odhadu rozptylu, směrodatnou odchylku výběrového průměru. Vzhledem k omezenosti výběru lze určit interval spolehlivosti průměru, který popisuje jaké chyby jsme se mohli dopustit při odhadu střední hodnoty  $\mu$  vzhledem k počtu kampaní. Aplikací těchto metod na  $\bar{X}$  místo na  $S$ , tedy průměr všech jednotlivých záznamů by byla zanedbávána systematická chyba a měřila by se spíše spolehlivost přístroje – odchylka od měřeného průměru (ve vysvětlení pomyslná červená kružnice).

**Sledování „oscilace“ měření** kolem průměrné naměřené hodnoty. Lze zpracovat odchylky jednotlivých záznamů  $Y_j$  od příslušných průměrů  $X_i$ . Pro polární souřadnice se lze v empirickém pohledu zabývat vzdálenostmi  $l_i$  jednotlivých měření od



průměru a směry  $\rho$ . Tím jsou vyhodnocovány obě komponenty  $x$  a  $y$  dohromady. Tyto charakteristiky ukazují, jak v rámci jednoho měření kolísá měřená hodnota kolem průměru z daného tříminutového intervalu. Tak vznikne  $n$  hodnot charakteristik jako například průměr, medián, modus, percentily, rozpětí, průměrné odchylky od průměru, mediánu atd. Jejich průměr by určil jakousi souhrnnou charakteristiku oscilace při jednotlivých tříminutových měřeních.

Stejně hodnoty jde počítat i pro směr  $\rho$ . Průměrná hodnota značí směr systematické chyby.

Pro kartézské souřadnice lze počítat jak v absolutních hodnotách, tak ve skutečných hodnotách vzhledem k počátku souřadnicového systému v průměru. Absolutní hodnoty charakteristik spíše odpovídají polárním souřadnicím. V případě, že přístroj nevykazuje systematickou chybu, vyjde bez absolutních hodnot průměr obou souřadnic nula. Směrodatná odchylka bude odpovídat poloosám elipsy v jednotlivých složkách.

### 3.3 Zvolený způsob vyhodnocení naměřených dat

Pro určení vstupních hodnot  $X_i$  byl vybrán prostý průměr ze všech měření, neboť filtrací některých hodnot by bylo dosaženo lepších výsledků.

Pro vyhodnocení přístrojů byla zvolena varianta výběrového šetření na reprezentativním vzorku. Vzhledem k tomu, že lze očekávat kompaktní měření, nejsou oscilace kolem průměru příliš zajímavé, protože vůbec nezohledňují skutečnou hodnotu měřených souřadnic. Větší rozdíly v rámci jednoho tříminutového měření mohou nastat v lese, ale ty budou způsobeny zastíněním družic listím nebo posunem družice během intervalu měření. Avšak pro vyhodnocení bude zajímavé zjistit hodnotu nejpřesněji a nejméně přesně určených hodnot v jednotlivých komponentách ze všech záznamů provedených na daném bodě danou metodou a přístrojem.

Data byla zaznamenána do souborů ve formátu NMEA a dále bylo třeba jednotlivé výstupy převést do MS Excel, doplnit vzorce a spočítat výsledné hodnoty. Pro každý takto předpřipravený záznam byla spočítána odchylka všech tří souřadnic od skutečné hodnoty, vzdálenost od skutečné hodnoty jak v horizontální poloze, tak v třírozměrném prostoru a pro horizontální polohu ještě směr, ve kterém leží záznam proti skutečné hodnotě. Pro skupinu takovýchto hodnot z jednoho měření byl určen průměr těchto hodnot a tyto průměry pak byly statisticky vyhodnoceny. Z nich se spočítal průměr (odhad střední hodnoty), odhad rozptylu, standardní výběrová chyba a intervaly spolehlivosti pro 95% pravděpodobnost a 99% pravděpodobnost. Dále byly ze všech záznamů danou metodou daným přístrojem na daném bodě zjištěny extrémní hodnoty odchylky v každé souřadnici, nejpřesněji a nejméně přesně určená poloha (jak horizontální, tak třírozměrná).

Vyhodnocení dynamických měření proběhlo na základě porovnání trajektorií se zaměřeným polygonem. Data byla načtena do grafického programu MicroStation s připojeným výkresem zaměřené silnice a okolí. Pak byly sledovány velikosti odchylek a jejich charakter (systematické nebo náhodné, spojité nebo nespojité). Pro přístroj GeoXT byl použit program GPS Pathfinder Office. Toto vyhodnocení umožňuje především sledovat odchylky ve směru kolmém k trajektorii.

## 4 Výsledky testování

Pro testování byly vybrány GPS přístroje – 2 low-end: Haicom HI a NL-208P. Z vyšší třídy byl vybrán přístroj pro GIS mapování od firmy Trimble – GeoXT.

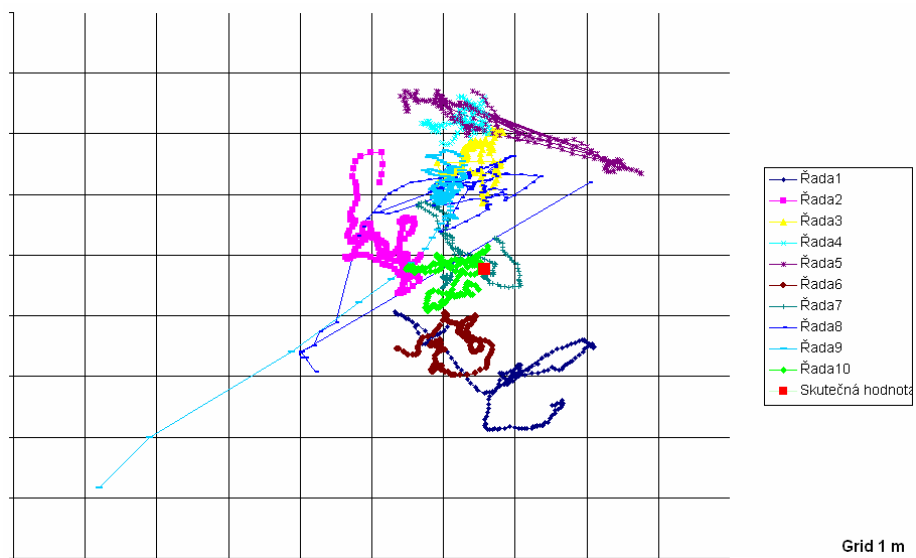
Haicom HI 203 je dvanáctikanálový paralelní přijímač L1/CA kódu založený na technologii EverMore HWTrack. Přesnosti jsou výrobcem uváděny následovně: horizontální: lepší než 25 m v 95%, vertikální: lepší než 40 m v 95%, rychlost – lepší než 0,1 m/s v 95%. Navilock NL-208P má přesnost definovanou střední kvadratickou chybou 10 m v horizontální poloze, rychlost stejně jako předchozí přístroj. Tento přístroj je dvanáctikanálový a vybaven Navilock s chipsetem Sony CXD2951

Trimble GeoXT je GPS přijímač integrovaný v pocket PC pro GIS měření. GPS je též dvanáctikanálová s integrovaným EGNOS a technologií EVEREST pro měření v lese a v zástavbě. Přesnost je výrobcem po posprocessingu definována jako 50 cm + 1ppm, při fázovém zpracování po 10 minutovém měření 30 cm

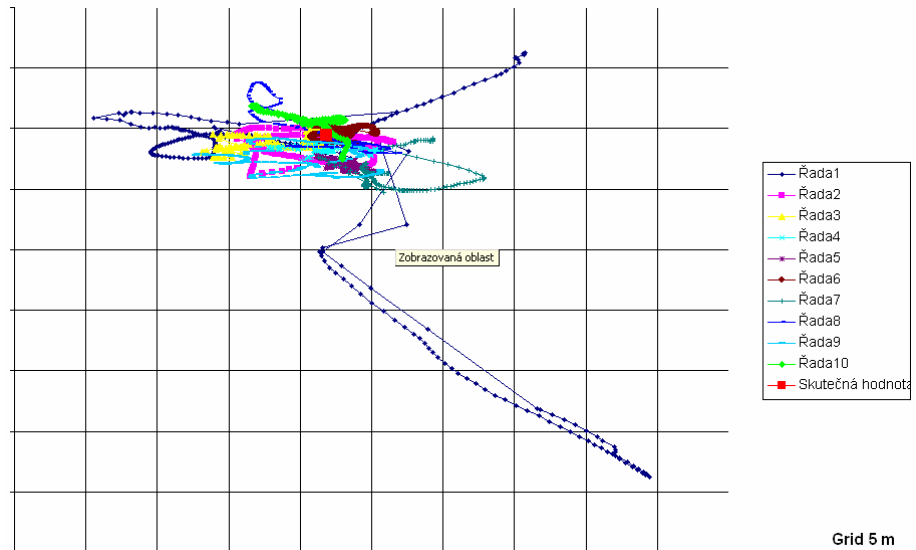
Výsledky testů byly zapsány do tabulek a okomentovány pro jednotlivé zaměřované body. V tabulkách jsou pro každý přístroj uvedeny průměrné hodnoty chyb ve všech 3 složkách (vzdálenosti v horizontální poloze) a vzdálenosti celkově. Při rovnoměrném rozložení chyb kolem skutečné hodnoty by teoreticky měly být průměrné hodnoty rozdílů v jednotlivých složkách nulové. Hodnoty vzdálenější od nuly ukazují na systematickou chybu v dané složce. O přesnosti přístroje vypovídají spíše hodnoty průměrných vzdáleností od skutečné hodnoty. Dále jsou uvedeny extrémní hodnoty a také intervaly spolehlivosti pro 95% a 99% hladinu pravděpodobnosti.

Pro vyvíjený přístroj byly pro měření bez korekcí na jednotlivých bodech testovací základny VÚGTK naměřeny průměrné odchylky horizontální vzdálenosti od skutečné hodnoty 1,82 m, 3,7 m a 4,3 m. Nejlepší hodnoty bylo dosaženo na bodě na vrcholu kopce. Záznam jednotlivých měření na tomto bodě je ukázán na obrázku 3. Interval spolehlivosti zde pro 95% je 1,2-2,4 m.

V lesním porostu byla průměrná horizontální vzdálenost 5,26 m v řídkém, vzrostlém lese a 9,65 m v hustém mlázi (interval spolehlivosti 3,2-16,1 m).



**Obr. 3.** Zobrazení měření pro vyvíjený přístroj GPS na bodě 31 základny VÚGTK. Barevné body odpovídají záznamům z tříminutových měření a pro přehlednost a demonstraci posunu od začátku do konce měření jsou pospojovány příslušnou barvou. Velký červený bod je skutečná hodnota souřadnic.



**Obr. 4.** Zobrazení měření pro vyvíjený přístroj GPS v hustém lese. Barevné body odpovídají záznamům z tříminutových měření a pro přehlednost a demonstraci posunu od začátku do konce měření jsou pospojovány příslušnou barvou. Velký červený bod je skutečná hodnota souřadnic.

Při dynamických měřeních byly zvlášť sledovány charakteristiky pro les, obec a údolí. Testování ve vzrostlém smrkovém lese na začátku trasy neumožnilo pozorování družice EGNOS, jinak byl signál EGNOS po zbytek trasy pozorován (pro GeoXT), u vyvíjeného přístroje místy docházelo ke krátkým ztrátám signálu.

Jako nejpřesnější se ukázala GPS GeoXT, a to jak v lese, tak ve volném terénu. Na druhou stranu u tohoto přístroje docházelo, zvláště v hustém lese k velkým jednotlivým extrémům oproti ostatním přístrojům. Extrémy ve volném prostoru byly u GeoXT nejmenší. Druhým nejpřesnějším přístrojem je vyvíjená aparatura. Low-end přístroje vykazují srovnatelnou přesnost (starší Haicom překvapivě o něco lepší) ve volném terénu a řídkém lese, avšak v hustém lese je rozdíl znatelnější ve prospěch novějšího přístroje Navilock. Co se týče spolehlivosti – schopnosti přijmout signál družic, nejlépe vycházejí levné přístroje.

Rychlost určení polohy vykazovaly nejmenší nejlevnější přístroje (v řádu několika sekund), přístroj vyvíjený v rámci projektu signál zachytil po 40 s, přístroj Geo XT po 50 s. Přístroj GeoXT zachytil signál EGNOS po téměř 3 minutách, přístroj vyvíjený v rámci projektu až po 7 minutách.

## 5 Závěr

Navržená technologie testování GPS přístrojů pro navigační a měřicí účely byla odzkoušena pro různé typy přístrojů a výsledky ukázaly vhodnost použití této metody. Pro dynamická měření je třeba vybudovat etalon s nároky na přesnost podrobných bodů minimálně do +/- 14 cm. Tyto technologie testování byly odzkoušeny na 4 přístrojích, pro které byla určena jejich přesnost, spolehlivost a charakteristiky jejich chování, na základě čehož je možno rozhodnout pro jaké účely je který přístroj vhodný.

**Recenzi provedl:** Prof. Ing. Jan Kostelecký, DrSc., profesor Katedry vyšší geodézie ČVUT, člen vědecké rady

## Reference

1. Abol, V.V., Bermišev, A.A., Itin, P.G., Lapšin, P.G.: Mobile Diagnostic Laboratory for Testing of User's GPS/GLONASS Receivers. *12<sup>th</sup> Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems*, St. Petersburg 2005. ISBN 5-900780-59-7
2. GPS Standard Positioning Service Performance Standard. <http://www.navcen.uscg.gov/gps/geninfo/2001SPSPPerformanceStandardFINAL.pdf>
3. Karský, G.: *Testovací základna pro technologii GPS, Výzkumná zpráva 1007*. VÚGTK Zdiaby 2000.
4. Kostelecký, J., Cimbálník, M.: Převod souřadnic mezi S-JTSK a ETRS-89. *GaKO, roč. 42, č.2*. Praha 1996. ISSN 0016-7096.

5. Pavlík, Z., Kühnl, K.: *Úvod do kvantitativních metod pro geografii*. SPN Praha 1982. bez ISBN.
6. Vyhláška Českého úřadu zeměměřického a katastrálního, kterou se provádí zákon č. 200/1994 Sb., o zeměměřictví a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením, ve znění vyhlášky č. 212/1995 Sb., vyhlášky č. 365/2001 Sb. a vyhlášky č. 92/2005 Sb.  
[http://www.cuzk.cz/GenerujSoubor.ashx?NAZEV=10-YHLASKA31\\_1995\\_PDF](http://www.cuzk.cz/GenerujSoubor.ashx?NAZEV=10-YHLASKA31_1995_PDF)
7. Vyhláška Českého úřadu zeměměřického a katastrálního, kterou se provádí zákon č. 265/1992 Sb., o zápisech vlastnických a jiných věcných práv k nemovitostem, ve znění zákona č. 210/1993 Sb. a zákona č. 90/1996 Sb., a zákon č. 344/1992 Sb., o katastru nemovitostí České republiky (katastrální zákon), ve znění zákona č. 89/1996 Sb., ve znění pozdějších předpisů.  
[http://www.cuzk.cz/GenerujSoubor.ashx?NAZEV=10-190\\_1996\\_PDF](http://www.cuzk.cz/GenerujSoubor.ashx?NAZEV=10-190_1996_PDF)