

Vysoká škola: Univerzita Karlova v Praze
Katedra: Aplikované geoinformatiky a kartografie

Fakulta: Přírodovědecká
Školní rok: 2005/2006

Zadání magisterské práce

pro **Janu Horkou**

obor **Kartografie a geoinformatika**

Název tématu:

Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů

Zásady pro vypracování:

- seznámení se s technologií GPS a jeho využití v turistice,
- popis stávajícího stavu značení a mapování turistických tras v Česku,
- několikanásobné měření provedené různými metodami na testovacím území, určení nejvhodnější metody využitelné pro daný účel,
- zaměření rozsáhlejšího území vybranou metodou,
- srovnání výsledků měření se stávajícími dostupnými turistickými mapami a ortofotem.

Rozsah grafických prací: úměrný zadanému tématu

Rozsah průvodní zprávy: 60 – 80 stran

Seznam odborné literatury:

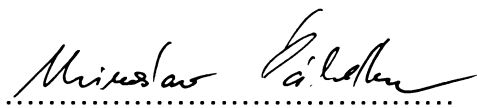
- Zdroje na Internetu
- Manuály a literatura poskytnutá firmou PICODAS Praha s.r.o.
- Mervart, Leoš: Základy GPS, ČVUT
- Švábenský, O., Fixel, J., Weigel, J.: Základy GPS a jeho praktické aplikace VUT Brno

Vedoucí magisterské práce: Ing. Miroslav Čábelka, Přf UK

Konzultant magisterské práce:

Datum zadání magisterské práce: prosinec 2005

Termín odevzdání magisterské práce: podzimní termín 2006



.....
Ing. Miroslav Čábelka
Vedoucí magisterské práce



.....
Doc. Ing. Jan Kolář CSc.
Vedoucí katedry

V Praze dne 15. 12. 2005

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Jana Horká

**Metodika mapování turistických značených tras
pomocí GPS přijímačů**

magisterská práce

Praha 2006

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Čábelka

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškerou použitou literaturu a zdroje.

V Šumperku dne 28.8.2006

.....*Jana Švabíková*.....

Děkuji vedoucímu magisterské práce Ing. M. Čábelkovi za připomínky ke znění práce, V. Králi za pomoc při tvorbě programu Porovnání, firmě Picodas Praha s.r.o., jmenovitě Mgr. J. Černému za cenné rady a poskytnutí ručních GPS přijímačů, firmě Geoprojekt s.r.o. za zapůjčení geodetické GPS aparatury.

Obsah

1. ÚVOD.....	5
2. CÍLE PRÁCE.....	6
3. UVEDENÍ DO PROBLEMATIKY.....	8
4. DISKUZE LITERATURY.....	10
5. GLOBÁLNÍ NAVIGAČNÍ SATELITNÍ SYSTÉMY.....	12
5.1 ZÁKLADNÍ PŘEHLED GNSS.....	12
5.2 PRINCIP GPS.....	18
5.3 VYŠŠÍ PŘESNOST V URČENÍ POLOHY.....	28
6. GPS PŘIJÍMAČE.....	32
6.1 GPS PŘIJÍMAČE PRO TURISTIKU.....	32
6.2 NĚKTERÁ NASTAVENÍ GPS PŘIJÍMAČŮ.....	34
7. TURISTICKÉ ZNAČENÍ.....	37
8. MAPY POUŽÍVANÉ S GPS PŘIJÍMAČI.....	39
9. MAPOVÁNÍ POMOCÍ RUČNÍCH GPS PŘIJÍMAČŮ.....	42
10. MĚŘENÍ POMOCÍ GPS PŘIJÍMAČŮ A POSTUPY POROVNÁNÍ ZÍSKANÝCH DAT.....	45
10.1 POUŽÍVANÉ GPS PŘIJÍMAČE, ROZDÍLNÉ ZPŮSOBY ZÁZNAMU DAT.....	45
10.2 VÝBĚR A POPIS TRAS MĚŘENÝCH TRAS.....	46
10.3 JAK BYLY MĚŘENY JEDNOTLIVÉ ZÁZNAMY.....	48
10.4 PRINCIP POROVNÁNÍ MĚŘENÝCH TRAS.....	51
11. POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT, ZJIŠTĚNÍ PŘESNOSTI MAPY TOPO50 V OBLASTI MĚŘENÍ.....	56
11.1 POROVNÁNÍ BODOVÝCH ZÁZNAMŮ.....	56
11.2 POROVNÁNÍ MAPY TOPO50 SE SKUTEČNOSTÍ, VIZUÁLNÍ POROVNÁNÍ MĚŘENÝCH TRAS.....	57
11.3 ČÍSELNÉ POROVNÁNÍ MĚŘENÝCH TRAS.....	73
12. DISKUZE METODICKÝCH POSTUPŮ A VÝSLEDKŮ, HODNOCENÍ HYPOTÉZ.....	84
13. APLIKOVÁNÍ VYBRANÉ METODY.....	89
13.1 POPIS TRASY, NASTAVENÍ GPS PŘIJÍMAČE A POSTUP PRÁCE.....	89
13.2 VÝSLEDKY MĚŘENÍ, POROVNÁNÍ S MAPAMI.....	91
13.3 DÍLČÍ ZÁVĚR.....	98
14. METODIKA MAPOVÁNÍ TURISTICKY ZNAČENÝCH TRAS POMOCÍ GPS PŘIJÍMAČŮ.....	99
15. ZÁVĚR.....	103
16. LITERATURA A PRAMENY.....	105
16.1 LITERATURA.....	105
16.2 PRAMENY.....	106
17. SEZNAM ZKRATEK.....	111
18. SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ.....	113
19. SEZNAM PŘÍLOH.....	115
ABSTRAKT.....	116

1. Úvod

Od devadesátých let minulého století, kdy byl GPS (Global Positioning System, globální polohový systém) uvolněn k civilnímu použití, prodělal tento systém ohromný vývoj a dnes velmi dynamicky pokračuje jeho integrace do mnoha oborů lidské činnosti. Velmi významnou skupinou uživatelů jsou i turisté. Tito uživatelé GPS přijímačů pracují zároveň s turistickými mapami, ať již papírovými, opatřenými souřadnicovou sítí, nebo digitálními, speciálně vytvářenými pro použití v mapových GPS přístrojích.

Turistické mapy určené pro použití s GPS přijímači jsou odvozené z klasických papírových map nebo ze stejných podkladových dat. S těmito daty přebírají i jejich nepřesnosti v absolutním umístění mapových prvků, které jsou zanedbatelné při klasickém použití. V kombinaci s GPS přijímačem, který umožňuje znalost absolutní pozice uživatele, však tyto chyby nabývají na významu. Při snaze o zpřesnění zakresu alespoň některých mapových prvků došlo k porušení relativní přesnosti mapy, objekty o stejných souřadnicích se v mapě svým zákresem liší. Tyto mapy tak kromě negativního pocitu uživatele mohou přinést i ztížení navigace.

Snahou kartografických firem, zabývajících se mapami do GPS přijímačů, je zvýšení přesnosti map. Kromě fotogrammetrických a geodetických metod je používáno i mapování pomocí samotných GPS přijímačů. Zpřesňována je především silniční a uliční síť, což klade na mapování i použité GPS přijímače jiné nároky než zaměřování lesních cest a pěšin, po kterých jsou vesměs vedeny turistické trasy. Přitom hlavní přednost mapování pomocí GPS přijímačů je právě v možnosti relativně snadného a přesného určení polohy v místech, kde fotogrammetrie selhává. Avšak ani GPS technologie není všemocná a jejímu použití v těchto oblastech brání nejistota, s jakou přesností zde budou přijímače měřit. Cílem této práce je určit metodiku mapování turisticky značených tras, případně jiných, především liniových prvků map, s pomocí GPS přijímačů. V konečném důsledku by tak mělo dojít ke zvýšení přesnosti stávajících map a zlepšení jejich kvality.

2. Cíle práce

Tato práce má za cíl zjistit, jakých chyb dosahují GPS přijímače v prostředí běžném pro turistické trasy, zda je vůbec možné tento způsob mapování použít a jak co nejvíce eliminovat chyby vzniklé měřením s GPS přijímačem. Také podává přehled nastavení GPS přijímače, které je důležité pro toto užití. Výsledkem by měla být kompletní metodika pro mapování turistických tras pomocí GPS přijímačů, což v důsledku pomůže pro zvýšení polohové přesnosti stávajících turistických i dalších map.

Veškeré dosavadní práce zabývající se zjišťováním polohové přesnosti GPS přijímačů se věnovaly bodovému určení polohy. Většina aplikací tohoto systému (navigace po trase) se však provádí po liniových prvcích a ty je zapotřebí zaměřit během pohybu po trase. Záznamy trasových bodů jsou prováděny v nenulové rychlosti, přesnost se tak zásadně liší od přesnosti při bodových záznamech. Práce má za cíl zjistit, které přijímače, za jakých nastavení a při jakém zacházení budou poskytovat nejlepší výsledky v záznamu tras. K tomu je zapotřebí také určit způsob porovnání trasových záznamů, jež se již ze samé podstaty záznamu bude zásadně lišit od porovnání bodových záznamů.

Jednotlivé cíle praktické části zjištění chyb GPS přijímačů jsou tyto:

- vybrat dostatečně různorodou trasu, která bude reprezentovat typický průběh turistických stezek, vhodnou pro srovnávací měření
- provést měření s ručními GPS přijímači
- získat referenční trasu, kterou bude možné pokládat za přesnou
- vymyslet a aplikovat způsob srovnávání naměřených tras
- vybrat nejvhodnější způsob záznamu tras
- výsledky aplikovat na rozsáhlejším území
- provést srovnání měřených tras se stávajícími mapami

Hypotézy:

- chyby v určení polohy nebudou větší než 25 m (odpovídá 0,5 mm v mapě měřítko 1:50 000)
- přijímač GPSmap60Cx bude celkově přesnější než GPSmap76S
- čip SiRFstarIII (GPSmap60Cx) bude vykazovat horší příjem, nižší přesnost při nízkých rychlostech (< 3 km/hod)
- nejvhodnější bude použití automatického nejčastějšího záznamu
- korekce EGNOS nebudou přijímány na severní straně svahů
- na severní straně budou celkově horší podmínky pro příjem satelitního signálu než na jižní straně
- použití externí antény nezlepší přesnost v určení polohy
- mapy budou dosahovat vysokých nepřesností (i 50 – 70 m). TOPO50 nebude přesnější než papírové mapy

Měřítko 1:50 000 bylo zvoleno jako nejčastěji používané pro turistické mapy. Digitální mapa, která má možnost podrobnějšího zoomu, by měla dosahovat vyšší přesnosti než mapa papírová. Chyba 25 m je tedy tolerována jen pro malou část měření, běžná přesnost by se měla pohybovat kolem deseti metrů.

Přijímač GPSmap60Cx je vývojově mladší než přijímač GPSmap76S, navíc je v něm integrován čip SiRFstarIII, který by měl zajistit vyšší citlivost přijímače na satelitní signál a tím i zvýšit přesnost měření v porostech či zástavbě.

Podle internetových zdrojů však přijímače s čipem SiRFstarIII hůře reagují při nízkých rychlostech pohybu. Práce si proto klade za cíl ověřit toto tvrzení seriózním měřením.

Automatické nastavení záznamu dat se jeví jako výhodnější, neboť přijímač sám podle aktuálních podmínek volí interval záznamu. Častý záznam pozice je důležitý pro přesné vykreslení tvaru tras.

Korekce EGNOS jsou vysílány geostacionárním satelitem, který je v našich podmínkách poměrně nízko nad jižním obzorem. Proto je pravděpodobné, že tyto korekce budou dostupné pouze při dobrém výhledu na jih.

Externí antény, používané pro ruční GPS přijímače, mají parametry odpovídající anténám zabudovaným v těchto přijímačích. Jejich použití bude tedy výhodné pouze jako prostředku pro zvýšení komfortu uživatele, kdy není nutné umísťovat na místo s dobrým výhledem na oblohu celý přijímač, ale pouze anténu.

Nízká přesnost map je dána způsobem jejich zpracování. Jelikož se do nedávné doby využívaly pouze papírové mapy klasickým způsobem, nebyly chyby v absolutní poloze prvků v řádu prvních desítek metrů příliš zřetelné a u map se tedy bez problémů tolerovaly. U map používaných v kombinaci s GPS přijímači jsou však tyto chyby již velmi významné.

V první části podává práce základní přehled globální navigačních satelitních systémů, blíže se věnuje NAVSTAR GPS. Na tomto systému je popsán princip fungování satelitní navigace a možnosti dosažení vyšší přesnosti v určení polohy. Dále práce popisuje GPS přijímače určené pro turistiku a uvádí některá nastavení přijímačů důležitá pro mapování. Další kapitoly se věnují značení turistických tras v Česku a mapám používaným v kombinaci s GPS přijímači. Kapitola 9 představuje další autory a jejich práce, které se dotýkají tématu tohoto textu.

Další kapitoly jsou věnovány praktické části práce. Jsou popsány použité GPS přijímače, způsoby měření s nimi a také princip porovnání naměřených tras. Kapitola 11 přináší výsledky porovnání měřených tras s mapou a také s referenční trasou. Navazuje kritické zhodnocení metodických postupů a výsledků, je uvedeno, zda bylo dosaženo stanovených hypotéz a jaká měření dosahují nejlepších výsledků. Třináctá kapitola popisuje aplikaci vybrané metody na několika turistických trasách. Následuje samotná metodika mapování turisticky značených tras pomocí GPS přijímačů.

Na závěr, kde je zhodnocena práce jako celek, navazuje seznam literatury a pramenů, zkratk, tabulek a obrázků, seznam příloh a abstrakt.

3. Uvedení do problematiky

Pod pojmem GPS si většina z nás představí americký systém NAVSTAR GPS (Navigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System). I proto je tento pojem, ještě nedávno všeobecně přijímaný jako synonymum k obecnému pojmu globální polohové systémy, dnes nahrazován zkratkou GNSS (Globální Navigační Satelitní Systémy) a pojem GPS je ponechán jako synonymum NAVSTAR GPS. Mezi GNSS totiž nepatří pouze zmiňovaný NAVSTAR GPS, ale i další systémy (GLONASS - Globální navigační družicový systém, Galileo, DORIS – Doppler Orbotigraphy and Radio-positioning Integrated by Satellite, ...).

Protože přijímače používané mimo geodetický sektor obvykle komunikují pouze se systémem NAVSTAR GPS, příp. s EGNOS (The European Geostationary Navigation Overlay Service, předchůdce evropského Galilea), tato práce se bude věnovat převážně právě systému NAVSTAR GPS (základní principy však platí i pro ostatní GNSS) a bude pro něj používat zkratku GPS.

Hračka pro dospělé. I za to byly do nedávné doby považovány GPS přijímače. V posledních několika málo letech se však pohled na ně mění. Jejich počet přibývá, používají se ve větším množství aktivit, jednotlivé přijímače se stále více specializují na konkrétní potřeby zákazníků. V geodetické praxi jsou již dnes prakticky nenahraditelné, pro navigaci je používají turisté, lidé na moři, zemědělci, piloti, botanici a zoologové, geologové, motoristé, GPS přijímače již dnes pomáhají zachraňovat životy a podíl jejich opravdu „užitečného“ uplatnění bude dále růst.

Díky nárůstu zájmu o tuto technologii v posledních letech významně klesla cena přijímačů a ty jsou dnes dostupné opravdu prakticky každému (cena těch levnějších se pohybuje na úrovni cen mobilních telefonů, existuje již i trh s použitým zbožím, kde jsou ceny výrazně nižší, než při koupi nového přístroje).

Globální navigační systémy byly původně určeny pro použití na moři. Zde jsou samozřejmě poněkud odlišné podmínky pro příjem satelitního signálu i nároky na GPS přijímače (velikost displeje, spolupráce se sonarem). Teprve po přenesení systému „na zem“ a zpřístupnění širokému spektru uživatelů nastal opravdu dynamický vývoj systému.

Pozemní využití klade na GPS jiné nároky. V první řadě bylo zapotřebí způsobit velikost GPS přijímače, který už nenesou pouze stroje, ale často samotní uživatelé. Dalším velkým problémem pozemního užití, se kterým se vývojáři potýkají dodnes, je kvalita příjmu signálu a s tím související přesnost v určení pozice. Narozdíl od moře se na zemi velmi často setkáváme se stíněním GPS přijímače budovami, rostlinným pokryvem, terénními nerovnostmi, a přístroj musí být schopen přijímat slabé signály a počítat pozici z menšího počtu satelitů, než je běžně k dispozici na širém moři.

Přesnost určení polohy pomocí GPS přijímače se velmi liší podle použitých přístrojů, místa měření, momentálního rozložení satelitů a mnoha dalších faktorů. Některé z nich můžeme přímo ovlivnit (použití jiného přijímače), jiné potlačit např. uzpůsobením času měření konstelaci satelitů, jiné faktory jsou mimo náš dosah a s chybami jimi způsobenými se prostě musíme smířit.

Přesto lze říci, že přesnost určení polohy se za poslední roky výrazně zvýšila. Velkou roli hrálo odstranění záměrné chyby (Selective Availability, SA) vnášené do

vysílaného signálu dne 1. května 2000, kdy se skokově zlepšila určovaná polohová přesnost dostupná pro civilní uživatele z dosavadních 50 - 100 m na přibližně 10 m.

Výhodou může být použití supercitlivých čipových sad v přijímači, kdy se zvýší citlivost přijímače na signál vysílaný satelity a tím se může zlepšit i přesnost v určení polohy.

Velká část přijímačů je schopna přijímat diferenční korekce WAAS/EGNOS (Wide Area Augmentation System), čímž se opět zlepší přesnost v určení polohy.

Uživatelé geodetických GPS přijímačů mohou využít i dalších korekcí, ať už při zpracování dat v reálném čase nebo pomocí postprocessingu.

K plnému využití funkcí GPS přijímače je potřeba také mapa. Využít lze papírové mapy, jejich skeny, nebo mapy v digitální podobě vytvářené často přímo pro GPS přijímače. Jedna, tzv. základní podkladová mapa je pevnou součástí přístroje, obsahuje celý svět, a jako taková je také velmi generalizovaná. Mapové přístroje pak umožňují uživateli dohrání dalších, různě podrobných, tematických i topografických map dle vlastního výběru do paměti přístroje. Tyto mapy jsou obvykle poměrně drahou záležitostí, především proto, že se na rozdíl od klasických papírových map prodávají po větších celcích (obvykle po státech). Uživatel je pak velmi často zklamán, protože očekává vysokou kvalitu map a té se mu nedostává. Tyto mapy totiž velkou část svého mapového obsahu přebírají ze stejných zdrojů jako analogové mapy, uživatel je navíc pomocí GPS přijímače schopen odhalit mnohem větší nepřesnosti v absolutním umístění objektů a jevů na mapě (ty mu v papírové verzi mapy při klasickém použití nevadí, protože při zachování relativní přesnosti všech mapových prvků není schopen určit nepřesnost absolutní polohy).

Dalším handicapem digitálních map je jejich velikost. Kompaktní přijímače, vhodné pro turistiku, mají omezenou volnou paměť, proto je možné z mapy vybrat jen právě potřebnou část a tu přehrát do paměti přístroje. Pokud byste tedy chtěli procestovat některý stát, aniž byste měli k dispozici počítač na dohrávání jednotlivých map, budete se muset smířit s méně podrobnou mapou, která na úkor podrobnosti a hustoty zobrazovaných mapových prvků bude obsahovat větší územní celek.

Variantou komerčních map jsou mapy vytvářené samotnými uživateli GPS. Ve snaze získat zadarmo podrobné a přesné mapy vytvářejí uživatelé mapy svého okolí a na internetových stránkách jsou pak nabízeny všechny nashromážděné mapy. Přes počáteční nadšení však tyto snahy pomalu upadají, neboť se tento způsob tvorby map ukázal jako velmi neefektivní, pomalý a náročný, a původní předpoklad, že se do projektu zapojí velká část majitelů GPS přijímačů, se ukázal mylný.

Výsledkem obdobných, avšak mnohem úspěšnějších snah jsou seznamy bodových objektů (waypointů), které jsou mnohem rozsáhlejší, na rozdíl od běžných mapových podkladů je jejich polohová přesnost velmi vysoká, nevýhodou je opět jejich nekomplexnost.

4. Diskuze literatury

Globální polohové systémy je téma poměrně nové, a proto i většina použitelné tištěné literatury pochází z devadesátých let minulého století, nebo z let pozdějších. V tištěné formě se však objevují převážně informace o historii vývoje systému, jeho popis a princip fungování. Pokud chceme získat nejnovější informace o současném vývoji systému, o novinkách na trhu s GPS přijímači či o porovnání jednotlivých přijímačů, nezbyvá nám než hledat informace na internetu.

Při použití tohoto zdroje však musíme být velmi opatrní, informace mohou být značně zavádějící a je potřeba prověřit zdroj těchto informací. V lepším případě nalezneme stejné informace na více nezávislých serverech, i po té je však potřeba zachovat dostatečnou míru kritičnosti.

Základní informace o GNSS nalezneme v Úvodu do GNSS (Tesař, 2006), v NAVSTAR GPS, User Equipment Introduction, 1996, v první části dokumentu Bernese GPS Software (Hugentobler et al., 2001), ve studijních materiálech Českého vysokého učení technického (KTR – laboratorní cvičení, GPS přijímač, 2005) a na mnoha internetových stránkách, kde nalezneme nejčastěji informace o NAVSTAR GPS (Global Positioning System – Wikipedie, otevřená encyklopedie, 2005, Garmin: What is GPS?, 2006), ale také o dalších systémech patřících do skupiny GNSS (GLONASS - Wikipedie, otevřená encyklopedie, 2006).

O projektu Galileo, resp. jeho první fázi, EGNOS, nalezneme velké množství informací na stránkách Evropské vesmírné agentury (ESA – Navigation – The present – EGNOS, 2005, ESA – Navigation, 2005). Další informace přináší Gakstatter, 2006, EADS SPACE – The European Satellite Navigation System Galileo, 2004, EADS SPACE – GNSS, 2005, Galileo – Kontaktní bod, 2006. O české účasti na projektu informuje Vejražka, 2005.

Dostupných zdrojů, informujících o aktuálním vývoji systému GLONASS je poměrně málo a údaje se často velmi liší (De Jong, 1999, Moisejev, 2004, Puricer, 2000, Revnivikh, 2005, ATM on-line, 2006, Global View, 2006).

Uživatelé geodetických GPS přijímačů na území České republiky mohou pro zvýšení přesnosti měření při poměrně krátkých observacích využít služeb CZEPOS (Česká permanentní síť pro určování polohy). Informace o této síti nalezneme na stránkách věnovaných této službě (Janda, 2006a, b), v prezentaci Řezníčka, 2005. Hanslian, 2005 nebo také bkg – GPS/GLONASS Data Center, 2005, nás seznamuje s protokolem Ntrip, který je nezbytný pro příjem korekcí CZEPOS. Součástí sítě CZEPOS jsou i čtyři stanice provozované v rámci VESOG (Výzkumná a experimentální síť pro observace s GNSS, 2005). Praktické informace o využití služeb CZEPOS podává Tabara, 2006.

Samotnému NAVSTAR GPS je věnován velký počet internetových stránek, ale i tištěných dokumentů. Množství užitečných informací o signálech GPS (frekvence, kódy, obsah navigační zprávy) je možné nalézt v dokumentu Global Positioning Service, Standard Positioning Service, Signal specification, 2006. Informace o kosmickém segmentu systému nalezneme na stránkách GPS Block II R, v práci Vacka, 2004, aktuální stav na stránkách GPS Operational Advisory, 2006, nebo Navstar GPS Constellation Status, 2006.

Velké množství článků se věnuje zdrojům chyb systému. Nalezneme jak teoretický popis chyb (Bain, 2006b, Kostelecký et al., 2006, Koukl, 2001, Mehaffey,

2006, Rak, 2003, Vejražka, 2000, DGPS on Garmin Receivers, 2006, How GPS works: Error sources, 2005, NPS GPS Support Facility – What is EPE?, 2006), tak články či práce věnované konkrétním testům přesnosti GPS přijímačů (Horká, 2004, Tesař, 2001, Wilson, 2006, Wormley, 2006, eTrex vs. Sportrak, 2006, GPS – Accuracy, 2006).

Systém NAVSTAR GPS využívá souřadný systém WGS84. Potřebné informace o tomto systému podává Maršíková, 2006 a WGS-84 – CZCacheWiki, 2006. Důležité informace, týkající se převážně geodézie a přímo související se systémy GNSS, nalezneme ve skriptech Českého vysokého učení technického (Cimbálník et al., 2002). Více o prostorových vztazích geografických objektů nalezneme v prezentaci Úvod do GIS, 2006.

Zajímavé informace zvláště z vesmírného výzkumu získáme na internetových stránkách Aldebaranu (Ionosféra – Aldebaran Glossary, 2006, Žáček, 2004). Další informace je možné získat z materiálů vydávaných pod záštitou Armády České republiky (Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, 2005).

Praktické informace o měření s geodetickou GPS aparaturou získáme ze článků Slámy et al., 2006, Mervarta et al., 2006 a Bureše et al., 2006.

O použití ručních GPS přijímačů informuje na různé úrovni kvality velké množství internetových článků. Dobrým zdrojem informací jsou např. internetové stránky GPS web (Bain, 2006a, b, c). Praktické rady pro měření s ručními GPS přijímači přináší Vojta, 2006.

Malý návod pro použití GPS přijímačů na turistických trasách napsal Guldan, 2002.

Odpovědi na mnoho častých otázek týkajících se GPS přijímačů a jejich použití, ale také map, využívaných v kombinaci s GPS přijímači, nalezneme v materiálech firmy Magellan (Harrelson et al., 2003).

Při použití ručních GPS přijímačů v automobilu nemusí být uživatel závislý pouze na příjmu satelitního signálu. Přístroje je možné propojit s dalšími senzory a s jejich pomocí zvýšit kvalitu navigace. O takovémto způsobu navigace informuje Bonsen et al., 2005.

Informace o samotných GPS přijímačích nalezneme na stránkách výrobců a prodejců (GPS Centrum, 2006, Garmin Česká republika, 2006).

Ruční GPS přijímače se velmi často používají při turistice. Definici turistiky a informace o jejím přínosu k udržitelnému rozvoji cestovního ruchu přináší Štěpanovská, 2003. Nezbytné informace o organizované turistice a značení turistických tras nalezneme na internetových stránkách Klubu českých turistů, 2006.

5. Globální navigační satelitní systémy

5.1 Základní přehled GNSS

Jak již bylo uvedeno, pod pojmem GNSS rozumíme celou řadu globálních navigačních systémů, všechny však fungují na podobném principu – šíření signálu mezi satelity na oběžné dráze Země a přijímači na zemském povrchu, měření vzdáleností mezi nimi a následné určení polohy přijímače.

Jedním z těchto systémů je i ruský **GLONASS** (Globální navigační družicový systém). Na rozdíl od GPS používá GLONASS jiný souřadnicový systém PZ-90, odlišuje se také drahami satelitů, jejichž konfigurace se opakuje jednou za osm dnů – oproti jednomu siderickému dni (23 hod 56 min) jak je tomu v případě GPS (De Jong, 1999). K plnému provozu GLONASS je zapotřebí 24 družic, počet dnes aktivních družic tohoto systému se podle různých zdrojů liší. De Jong (1999) uvádí, že v roce 1996 bylo dosaženo celkového počtu 24 družic, zároveň ale připouští, že v roce 1999 jich je prakticky k dispozici pouze 15. Puricer (2000) uvádí dokonce pouhých deset funkce schopných družic. Moisejev (2004) udává počet 11 družic, z nichž 8 je využíváno pro stanovený účel. K dubnu 2006 uváděla Otevřená encyklopedie Wikipedie (GLONASS - Wikipedie, otevřená encyklopedie, 2006) celkem 13 aktivních družic (další tři na oběžné dráze, ale ne plně zprovozněny), v červnu 2006 již 14 aktivních a dvě mimo provoz. Na stránkách ATM on-line (2006) se hovoří o 17 operačních družicích na oběžných drahách a o oznámení ruského ministra obrany Sergeje Ivanova, že systém má být v plném provozu již v roce 2008. Stejně datum nalezneme i v systémových novinkách za únor 2006 na stránkách GPS World (Global View, 2006).

Jisté je tedy jediné to, že systém v dnešní době není kompletní a geodetické přijímače, které jsou schopny zpracovávat signál GLONASS, mohou využívat pouze satelity, jež jsou dnes v provozu.

Podle Revnivykh (2005) je od roku 2003 poskytován pro civilní uživatele druhý signál na frekvenci L2, čímž je zajištěna vyšší přesnost v určení polohy. Třetí signál s frekvencí L3 má být k dispozici od roku 2008. Diferenční korekce tohoto signálu by měly zaručit sub-metrovou přesnost pro mobilní uživatele.

Jelikož NAVSTAR GPS i GLONASS jsou vyvinuté pro vojenské účely, je možnost při válečném konfliktu kdykoli skokově snížit přesnost určení pozice pro civilní uživatele. Toto nebezpečí omezuje využití navigačních systémů u civilních dopravních služeb (silniční, železniční, letecká a námořní doprava). Proto se ukázala potřeba vybudovat nezávislý navigační systém, garantující provozuschopnost i v krizových situacích. Tímto systémem se má stát evropský **Galileo** (pojmenován po Galileu Galileovi, označení evropský se stává poněkud zavádějící, jelikož na projektu se již kromě států Evropské unie podílí Čína, Izrael a Ukrajina a probíhají jednání i s dalšími státy světa, např. Austrálií, Brazílií, Indií a dalšími). Systém má spolupracovat s GPS i GLONASS a zvyšovat jejich přesnost, integritu, dostupnost a redundanci (Galileo – Kontaktní bod, 2006). Při vyřazení některého ze systémů však je Galileo plnohodnotným navigačním satelitním systémem.

Podle tiskové zprávy České kosmické kanceláře ze dne 28.12.2005 (Galileo – Kontaktní bod, 2006) byla tohoto dne vypuštěna na oběžnou dráhu Země první družice

systemu Galileo. Pro zkoušky systému by měly být vypuštěny celkově čtyři družice (tj. minimální počet, při němž lze určit třírozměrnou pozici), cílem testů je ověřit nové technologie, prokázat schopnost určovat přesně oběžnou dráhu, charakterizovat radiální prostředí na středních oběžných drahách a zajistit komunikační frekvence pro operační systém (v případě nevyužití do konce roku 2005 hrozilo jejich „propadnutí“, Galileo – Kontaktní bod, 2006).

Při plném provozu by pak měl Galileo zahrnovat celkový počet třiceti družic (27 operačních a tři aktivní zálohy), které budou obíhat Zemi ve výšce přes 23 000 km (přesné údaje se v různých zdrojích liší) ve třech rovinách po kruhových drahách. Každá rovina pak bude svírat s rovinou rovníku úhel 56° , což umožní spolehlivou navigaci až do míst ležících na 75° zeměpisné šířky. Velké množství satelitů a existence tří náhradních zajišťuje, že výpadek jednoho satelitu nebude mít na uživatele žádný vliv (ESA – Navigation, 2005).

Podle Gakstatter (2006) by mělo být při plné konstelaci Galilea viděno vždy nejméně osm satelitů. Plné konstelace by podle tohoto zdroje mělo být dosaženo mezi lety 2007 - 2010, přičemž reálně se jeví datum 2010 a později.

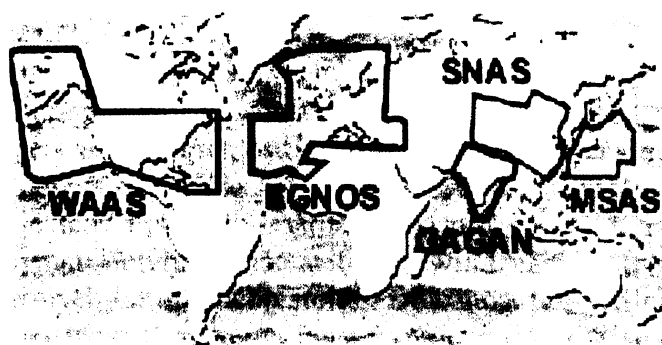
Galileo bude poskytovat služby ve dvou skupinách. První skupina nebude chráněná proti rušení a bude poskytovat Volné služby (standardní signál s vysokou přesností a dostupností zdarma), Komerční služby (standardní signál s ověřenou integritou a dalšími službami – placený), Zabezpečení životních služeb (Safety of Life – SoL, standardní signál s ověřenou a certifikovanou integritou – kontrolní intervaly cca každých 6 s), Pátrání a záchrana (Search and Rescue – SAR, SoL-signál, kompatibilní s existujícími SAR-Systemy). Druhou skupinou je tzv. Veřejně řízená služba (Public Regulated Service – PRS), která bude mít přístup k šifrovanému signálu pro vládní účely technicky chráněnému proti rušení. (Galileo – Kontaktní bod, 2006).

Podle Vejražky (2005) se zmíněné služby řadí společně pod služby kosmického segmentu, k dalším službám projektu Galileo pak podle tohoto zdroje patří služby EGNOS, služby s místní (lokální) podporou a kombinované služby.

Služby Galilea budou využitelné nejen pro osobní navigaci, transport a logistiku (ve vzduchu, na moři i na souši – na silnicích a v železniční dopravě), ale např. i v peněžnictví, bankovníctví a pojišťovnictví - časový systém založený na vysoce přesných atomových hodinách usnadní vzájemné spojení a synchronizaci telekomunikačních sítí, dodávek elektřiny a bankovních systémů. Kombinace polohové a časové informace umožní mnohem bezpečnější kódování dat elektronických podpisů pro elektronický obchod (EADS SPACE – The European Satellite Navigation System Galileo, 2004).

Prvním stupněm (GNSS-1) k vytvoření vlastního satelitního navigačního systému pod hlavičkou Evropské Unie je EGNOS (the European Geostationary Navigation Overlay Service), jež je součástí SBAS (Satellite-Based Augmentation System, obr. 1). SBAS zahrnuje několik obdobných systémů, každý operující v jiné části Země, takže si navzájem nemohou konkurovat. Známý je americký WAAS (Wide Area Augmentation System, často se v literatuře i samotných přijímačích setkáváme se zkratkou WAAS/EGNOS, která obvykle uvádí informaci, zda je přístroj schopen přijímat signály příslušných satelitů). Později (2006 - 2008) bude EGNOS integrován do druhé fáze GNSS-2, kterým je systém Galileo (EADS SPACE – GNSS, 2005). EGNOS lze tedy chápat jako první praktickou etapu systému Galileo. Jak již bylo zmíněno výše, podle některých zdrojů se jedná o jednu ze služeb projektu Galileo.

Obr. 1: Oblasti SBAS



Oblasti SBAS

Zdroj: Bain, 2006c

EGNOS je společným projektem Evropské vesmírné agentury (ESA, European Space Agency), Evropské komise a Eurocontrol, Evropské organizace pro bezpečnost letecké navigace (ESA – Navigation – The present – EGNOS, 2005).

Systém EGNOS nemá za úkol konkurovat stávajícím satelitním navigačním systémům (GPS, GLONASS), ale měl by je doplňovat a vylepšovat. Potřeba vytvořit systém EGNOS pochází z letecké dopravy, kde přesnost získaná pomocí GPS je nedostačující především pro fáze vzletu a přistání, příp. rolování, kde jsou požadavky na přesnost a spolehlivost v získání polohy opravdu vysoké. Na stránkách Evropské vesmírné agentury (ESA – Navigation – The present – EGNOS, 2005) se dočteme, že dosavadní přesnost, získaná pomocí samotného GPS nebo GLONASS, se při použití korekcí EGNOS zvýší z 20 m na 5 m, systém také informuje uživatele o chybách v měření polohy a do šesti vteřin upozorní na poruchu satelitního signálu.

Podle Vejražky (2005) je v rámci Výzkumu pokročilých metod zpracování signálu v GNSS řešena dostupnost signálu EGNOS pro pozemní uživatele (problémem je rychlost reakce na přítomnost signálu). Podle zprávy je také mimo jiné naplánováno „řešení problematiky příjmu a zpracování signálu v obtížných podmínkách (indoor navigace)“.

Systém EGNOS se skládá ze tří geostacionárních satelitů (dva Inmarsat-3 – nad východní částí Atlantiku a nad Indickým oceánem, jeden ESA Artemis nad Afrikou), asi třiceti pozemních monitorovacích stanic (RIMS, Ranging and Integrity Monitoring Station), tři řídicích center (z nich jsou dvě záložní) a šesti vysílacích stanic (tři záložní, jedna stanice je určena právě pro jeden satelit).

Každá stanice RIMS měří pozici každého ze satelitů EGNOS a současně porovnává přesnost polohy každého z GPS a GLONASS satelitů s pozicí získanou výpočtem z GPS nebo GLONASS satelitu. Získaná data posílá komunikační síť do řídicího centra. Zde je určena přesnost GPS a GLONASS signálu přijatého každou stanicí a jsou také určeny nepřesnosti způsobené poruchami v ionosféře. Data o odchylkách jsou začleněna do signálu, který je zabezpečenou komunikační sítí poslán do vysílacích stanic. Odtud je signál vyslán k EGNOS satelitům, které je přepošlou zpět k Zemi, kde je uživatel GPS či GLONASS přijímače s podporou EGNOS může použít v reálném čase pro korekce údajů přijatých z GPS/GLONASS satelitů.

Signál vysílaný EGNOS satelity bude obsahovat informace o přesnosti pozice GPS/GLONASS satelitů, přesnost atomových hodin, informace o poruchách v atmosféře (ESA – Navigation – The present – EGNOS, 2005). Podle odhadnuté polohové přesnosti měření se tak uživatel bude moci rozhodnout, zda je měření dostatečně přesné, aby se na něj mohl spolehnout.

Nejrozšířenějším a dnes jediným plně funkčním globálním navigačním satelitním systémem je **GPS NAVSTAR**.

„GPS je navigační systém, pracující s prostorovými daty, fungující za každého počasí, vyvíjený americkým Ministerstvem obrany k uspokojení požadavků armádních sil pro přesné určení pozice, rychlosti a času v obvyklém souřadném systému kdekoli a kdykoli na Zemi nebo v její blízkosti.“ (Hugentobler et al, 2001)

Přestože je tedy systém primárně určen pro vojenské užití, je dnes s jistými restrikcemi poskytnut i civilním uživatelům. Civilní užití GPS zaznamenává největší rozvoj od osmdesátých let minulého století. Důležitost pro civilní uživatele se ukázala ještě zřetelněji po vypnutí záměrné chyby vnášené do GPS signálu (SA – Selective Availability, americká vláda si stále ponechává možnost tuto chybu znovu zavést, ať už globálně, nebo pro určité strategicky významné oblasti). Podle Hugentobler et al. (2001) „jednou z nejdůležitějších událostí, které vedly ke zvýšení přesnosti civilních aplikací GPS bylo ustanovení Mezinárodní GPS služby (IGS – International GPS Service).“

První radionavigace (LORAN – Long Range Aid to Navigation), která umožňovala mořeplavcům určení směru k pobřežním vysílačům, které byly v dosahu, je datována do dvacátých let minulého století. Novou éru navigačních technologií umožnil až vývoj umělých satelitů. Ty byly poprvé použity u námořního systému Transit (šedesátá léta minulého století), který umožňoval dvourozměrné určení pozice. Transit tak položil základ pro revoluční systém NAVSTAR GPS.

K civilnímu užití byl systém Transit uvolněn roku 1967, velmi rychle se rozšířil mezi komerčními námořními navigátory i mezi vlastníky malých lodí a byl úspěšně používán až do roku 1996. Pro použití v letectví a jiných oblastech měl však tento systém mnohé nedostatky (příliš dlouhá doba observace, pouze dvourozměrná poloha atd.).

Proto je od roku 1973 vyvíjen nový systém, který kombinuje nejlepší vlastnosti z dřívějších systémů užívaných v letectví a na moři (struktura signálu byla přejata z letectví, kdežto dráhy satelitů byly odvozeny od drah používaných systémy námořnictva). Pro satelity byly použity atomové hodiny, užívané dříve systémy námořnictva i letectva, později testované námořnictvem. Tento systém je dnes znám jako NAVSTAR GPS.

Zprvu byly pro testy použity satelity z předchozích systémů, v roce 1978 odstartoval první NAVSTAR GPS satelit Bloku I (celkově do roku 1985 odstartovalo jedenáct těchto satelitů, dnes již žádný z nich není aktivní).

První testy uživatelského zařízení proběhly ještě před vypuštěním prvních satelitů Bloku I (satelity nahrazovaly vysílače umístěné na zemi), později, po vypuštění prvních čtyř satelitů v roce 1978, pokračovaly testy i se signálem vysílaným z vesmíru. Těžké přijímače byly umístovány převážně na lodě, helikoptéry, auta. V tomto období byl také zprovozněn prototyp pozemního kontrolního zařízení.

Mezi lety 1980 a 1989 následovalo utlumení vývoje systému, konečný počet satelitů byl zredukován na 18 (oproti 24 předpokládaným satelitům) a vývoj satelitů Bloku II byl zpomalen.

V roce 1983 oznámil prezident USA Reagan, že po zprovoznění systému bude umožněno bez jakýchkoli poplatků jeho využití v civilním letectví (stalo se tak po sestřelení Korejského letadla, které zabloudilo nad Sovětské území).

První satelity druhé generace (Blok II) vystartovaly až v roce 1989. Od svých předchůdců se liší především tvarem, vahou, bezpečností a integritou. Satelity

vypuštěné po roce 1989 patří k Bloku IIA (Advanced - pokročilý) a jsou schopny provozu až 180 dní bez potřeby komunikovat s kontrolním segmentem (oproti 3,5 dne u předchozích satelitů). (NAVSTAR GPS, User Equipment Introduction, 1996)

Další vývoj byl zaměřen na kontrolní a uživatelský segment. V roce 1989 představila společnost Magellan první ruční GPS přijímač. Významným milníkem bylo také použití GPS přijímačů při operaci Pouštní bouře za války v Perském zálivu. Pro toto období byla deaktivována záměrná chyba SA – důvodem byla omezená možnost určení třírozměrné polohy kvůli špatné konstelaci satelitů a také skutečnost, že armáda v té době vlastnila velmi omezené množství přijímačů, které by byly schopny určovat přesnou pozici i přes zapnutou SA.

V roce 1994 bylo dosaženo počtu 24 satelitů Bloku II/IIA. V roce 1997 byl vypuštěn první satelit Bloku IIR (Replenishment – doplnění, lepší radiační ochrana, schopnost měřit vzdálenosti k ostatním družicím a tak opravovat zprávy o svých parametrech oběžné dráhy; celkem vypuštěno třináct satelitů, jeden z nich selhal již při startu, Navstar GPS Constellation Status, 2006). Od roku 2005 jsou vypouštěny satelity IIR-M (podporuje vývoj M-kódu pro vojenské užití na L1 a L2 signálu a civilního kódu na L2, GPS Block II R, 2005; celkového počtu osm má být dosaženo v roce 2008), dnes je již připravována další generace satelitů IIF (Follow – sledovat), která má být vypuštěna mezi lety 2008 a 2012. Tyto satelity budou vysílat na třech frekvencích dostupných civilním uživatelům (oproti dnešním dvěma), díky nimž bude možné přesněji určit chyby vzniklé působením ionosféry. Uvažuje se o ukončení výroby družic typu IIF a o urychlení vývoje satelitů Bloku III, které jsou zatím ve fázi návrhů (Vacek, 2004)

Od března 1996 je systém vyjmut z výlučné pravomoci Ministerstva obrany USA a podřízen IGEB (Interagency Executive Board).

Velmi významným krokem pro využití GPS v civilním sektoru bylo zrušení záměrné chyby SA (Selective Availability) k 2. květnu 2000 (poprvé aktivována 25. března 1990).

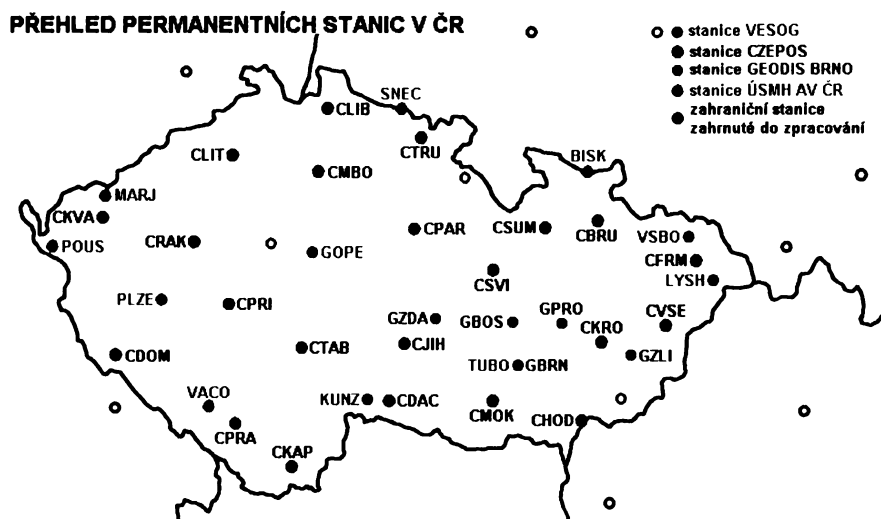
Pro zpřesnění pozice získané prostřednictvím některého z GNSS je možné na území České republiky využít služeb České permanentní sítě pro určování polohy (CZEPOS), kterou spravuje a provozuje Český úřad zeměměřičský a katastrální. Jedná se o síť permanentních stanic GPS, umožňující uživatelům přesné určení pozice (obr. 2).

Hlavní cíle CZEPOS jsou podle Řezníčka et al. (2005) implementace GNSS techniky v ČR, podpora širokého spektra aplikací založených na GNSS, snížení nákladů na přesné geodetické vyměřování, harmonizace národní geodetické infrastruktury se zeměmi Evropské unie a usnadnění implementace ETRS (European Terrestrial Reference System). Geodeti díky síti CZEPOS dosáhnou zrychlení a ekonomizace při přesných geodetických metodách (mimo jiné tím, že jim při použití služeb CZEPOS stačí k přesnému zaměření pouze jedna GPS aparatura namísto dosavadních dvou aparatur).

Součástí sítě je 26 permanentních stanic. Ty jsou rovnoměrně rozmístěny na celém území ČR ve vzdálenostech cca 60 km (Janda, 2006b) a jsou umístěny na budovách katastrálních úřadů, součástí jsou i čtyři externí stanice (Brno, Pecný, Plzeň, Ostrava), provozované vědeckými či akademickými pracovišti v rámci Výzkumné a experimentální sítě pro observace s GNSS (VESOG, služba pro podporu a provoz sítě permanentních stanic, na kterých jsou observovány signály globálních navigačních družicových systémů, Výzkumná a experimentální síť pro observace s GNSS, 2005).

Na všech těchto stanicích se provádí nepřetržité observace GPS, registrují se každou vteřinu, maximální zakrytí horizontu je 5°. Data se průběžně zpracovávají v řídicím centru CZEPOS a dále poskytují uživatelům (pro služby v reálném čase jsou data přenášena bezprostředně po pořízení, data pro postprocessing jsou přenášena v hodinových intervalech na server).

Obr. 2: Mapa permanentních stanic v ČR



Zdroj: Výzkumná a experimentální síť pro observace s GNSS, 2005

Užití CZEPOS je pro přesné určení pozice pevného či pohybujícího se stanoviště v reálném čase. S ohledem na různé poskytované služby je možné CZEPOS využít v širokém spektru oborů lidské činnosti od dopravy, záchranných systémů, přes stavebnictví, hydrologii až po geodynamiku či GPS meteorologii.

Instalace všech šestadvaceti stanic CZEPOS byla dokončena 1.1.2006, do konce tohoto roku bude síť v testovacím provozu, během kterého budou její služby poskytovány zdarma (Janda, 2006a).

Služby sítě lze rozdělit do tří skupin podle poskytované přesnosti v určení pozice. Pro navigaci a geografické informační systémy (GIS), kde je vyžadována přesnost do 10 cm, postačuje služba DGPS (diferenční GPS). Uživatel získává korekce v reálném čase, využít lze jednodušších přijímačů umožňujících kódová měření, které jsou schopné přijímat a zpracovávat DGPS korekce v reálném čase. Uživatel zvolí nejbližší CZEPOS stanici a z ní přijímá DGPS korekce pomocí mobilního internetového připojení GPRS (General Packet Radio Service, mobilní datová služba přístupná pro uživatele GSM – the Global System for Mobile Communications - mobilních telefonů, vyžaduje samozřejmě dostupnost mobilního signálu některého z operátorů na místě observace). DGPS korekce ve formátu RTCM 2.1 (The Radio Technical Commission for Maritime Services) jsou přijímány přes síťový protokol NTRIP – Networked Transport of RTCM via Internet Protocol.

NTRIP je protokol aplikační úrovně, který podporuje šíření GNSS dat pomocí internetu (bkg – GPS/GLONASS Data Center, 2005).

Jako NtripSource se označuje zdroj GNSS dat, zpravidla tvořen GNSS přijímačem. Výstupem z přijímače mohou být např. diferenční korekce RTCM 2.1, určené pro zpřesnění měření uživatelů. NtripServer je klientem zprostředkujícím přenos GNSS dat z datového zdroje do NtripCasteru. Na straně uživatele je používán NtripClient, který umožňuje přístup k GNSS datům některého z datových zdrojů.

NtripCaster je pak HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) server, který podle požadavku klienta (NtripClient a NtripServer) přijímá či odesílá data (Hanslian, 2005).

Pokud je v zeměměřičství, katastru či geografických informačních systémech požadována centimetrová přesnost v určení polohy, je možné využít některou z dalších služeb založených opět na korekcích v reálném čase. K dosažení této přesnosti je však již zapotřebí dvoufrekvenční GPS aparatura schopná zpracovávat a přijímat RTK (Radio Time Kinematic) korekce. Data jsou přenášena pomocí protokolu NTRIP ve formátu RTCM 2.3.

„Tato aplikace (RTK s využitím CZEPOS) nevyžaduje korektní stav síťového řešení a uživateli nahrazuje jeho vlastní základnovou stanicí umístěnou na bodě o známých souřadnicích v ETRS-89.“ (Tabara, 2006)

Služba RTK je dostupná jen v dostatečné blízkosti stanice CZEPOS (vzdálenost závisí na parametrech aparatury). S rostoucí vzdáleností se snižuje přesnost určení pozice. Při větší vzdálenosti lze využít jedné z dalších služeb, zajišťujících centimetrovou přesnost. Služba RTK – PRS (pseudoreferenční stanice) – na základě informace o pozici aparatury (pomocí NMEA – National Marine Electronics Association - zprávy) zašle řídicí centrum korekce z pseudoreferenční stanice (virtuální stanice, jejíž korekční data byla určena na základě síťového řešení ze všech stanic CZEPOS). Naproti tomu pomocí služby RTK – FKP (Flächenkorrekturparameter – plošné korekční parametry) poskytne řídicí centrum na základě NMEA zprávy aparatury korekce ze zvolené stanice doplněné o plošné parametry FKP (generované opět na základě síťového řešení ze všech stanic CZEPOS).

Pokud je požadována centimetrová až milimetrová přesnost (v zeměměřičství a katastru, ve vědě a výzkumu), je možné ji pomocí služeb CZEPOS získat po skončení měření (tzv. postprocessingem) na základě dat RINEX (Receiver Independent Exchange). Je potřeba dvoufrekvenční GPS aparatura a vhodný zpracovatelský software. Po skončení měření si klient může stáhnout z internetových stránek data pro požadovanou dobu observace a jejich prostřednictvím zpřesnit svá měření. K dispozici jsou data z konkrétních stanic CZEPOS, nebo je vypočtena virtuální stanice o zadaných souřadnicích. (Janda, 2006a)

5.2 Princip GPS

Definice polohy

Země je nepravidelné těleso, jež nahrazujeme jednodušším geoidem (těleso, jehož povrch je v každém bodě kolmý na směr tíže). Pro účely určování polohy bodu nahrazujeme toto těleso tvarově podobným elipsoidem. K němu pak vztahujeme polohu bodu. Snahou je, aby referenční elipsoid svým tvarem co nejlépe odpovídal tvaru geoidu, resp. Země. Kvůli nepravidelnému tvaru Země je však velmi obtížné tuto podmínku splnit, proto v minulosti vznikla celá řada lokálních referenčních elipsoidů. Ty vyhovují v určité části Země, pro jinou jsou však již zcela nepoužitelné (svým tvarem se příliš vzdalují tvaru Země).

Se vznikem globálního systému určování polohy bylo zapotřebí definovat referenční elipsoid, který by vyhovoval pro všechny části Země. Tak vznikl (po několika zpřesněních s využitím novějších měření) elipsoid WGS84 (World Geodetic System 1984, Světový geodetický systém 1984) s parametry $a = 6378137,00000$ m, $b = 6356752,31425$ m.

Pro definování prostorových vztahů geografických objektů a jevů na Zemi je zapotřebí nejprve definovat souřadnicový systém. Ten musí splňovat tři požadavky: definice polohy musí být jednoznačná, kvantifikovatelná (měřitelná) a musí být definována metrika, která umožňuje měřit vzdálenosti (Úvod do GIS, 2006). Souřadnicovým systémem používaným GPS je WGS84 (využívá stejnojmenný referenční elipsoid). V tomto systému jsou vysílány efemeridy GPS družic a jsou v něm předávána veškerá data mezi GPS přijímačem a programem na zpracování souřadnic. Nastavením odlišného souřadnicového systému v GPS přijímači pouze ovlivníme číselné vyjádření souřadnic na displeji přijímače nebo monitoru počítače.

Systém WGS84 má počátek v těžišti Země, osa Z směřuje ke konvenčnímu terestrickému pólu (CTP - Conventional Terrestrial Pole), osa X je průsečnicí referenčního poledníku WGS84 a roviny rovníku vztaženého k CTP, referenční poledník je nultý poledník definovaný BIH (Bureau International de l'Heure) a osa Y doplňuje systém na pravotočivý pravoúhlý souřadnicový systém, směr kladné části osy je 90° východně vzhledem k ose X (Maršíková, 2006).

Pokud chceme používat při práci s GPS jiný souřadný systém než je WGS84, musí tento systém splňovat několik podmínek, např. systémy musí mít matematicky definovaný vztah, zeměpisná šířka musí být definována s ohledem k rovníku dokumentovaného elipsoidu, délka s ohledem ke Greenwichskému poledníku nebo jinému poledníku s definovaným vztahem ke Greenwichskému.

Přestože se jsou v Česku dodnes rozšířeny převážně Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK, civilní) a Souřadnicový systém 1942/83 (S-42/83, vojenský), je „od 1.1.1998 systém WGS84 zaveden ve vojenském a civilním letectvu a v Armádě České republiky je běžně používán v rámci kooperace s armádami NATO (North Atlantic Treaty Organisation) a standardizace v geodézii a kartografii.“ (Cimbálník et al., 2002)

Při použití map s odlišným systémem než je WGS84 je zapotřebí definovat systém v nastavení GPS přijímače. To v případě, že budou odečítány souřadnice z papírové mapy a ručně zadávány do přístroje. V případě digitální mapy, která je přehrávána do přijímače, nebo bodů či trasy nad touto mapou vytvořené, je zapotřebí transformovat mapu do WGS84, protože – jak již bylo uvedeno – při přenosu jsou souřadnice vždy v tomto systému). V případě odlišného nastavení systému u mapy a GPS přijímače může dojít k významným rozdílům v polohách. Rozdíly mezi zeměpisnými souřadnicemi WGS84 a S-42 jsou v rámci Česka až 100 – 150 m (WGS-84 – CZCacheWiki, 2006). V praxi se pak stane, že bod zadaný v souřadnicích S-42 bude nad mapou v GPS přijímači posunut o desítky metrů oproti jeho skutečné poloze.

Celý NAVSTAR globální polohový systém lze rozčlenit do tří subsystémů – kosmického, řídicího a uživatelského.

Kosmický segment se skládá ze satelitů, které se pohybují na šesti oběžných drahách ve výšce 20 200 km nad zemským povrchem (Hugentobler, 2001, údaje o přesné výšce se v různých zdrojích liší). Dráhy jsou skloněny o 55° k zemskému rovníku. Doba oběhu je 11 hodin 58 minut (polovina siderického dne). Stejná konfigurace satelitů tedy na jednom místě nastane následující den o čtyři minuty dříve.

Počet satelitů se obvykle udává 24 (z toho 21 aktivních a tři záložní, tento počet udává tzv. plnou konstelaci, která umožňuje současnou observaci čtyř až osmi satelitů s elevací, stupněm stínění 15° kdekoli na Zemi, Hugentobler, 2001). Celkový počet funkčních satelitů na oběžných drahách Země byl ke dni 21. června 2006 dvacet devět (GPS Operational Advisory, 2006). Všechny satelity patří k druhé generaci satelitů

(Bloky IIA/IIR/IIR-M, ze satelitů Bloku II byl dne 2. 1. 2006 v provozu již jen jediný, Navstar GPS Constellation Status, 2006).

Satelity patřící Bloku I (dnes již mimo provoz) měly sklon k rovníku přibližně 63°, protože tato konfigurace byla nejvýhodnější pro Severní Ameriku. Později se ukázalo, že tato konfigurace není optimální pro zbytek světa, proto jsou dnes satelity vypouštěny na dráhu s menším sklonem vůči rovníku (Hugentobler et al., 2001).

GPS satelity nesou radiový vysílač, atomové hodiny, počítače a další zařízení pro korigování dráhy a pro vojenské účely (detekce atomového výbuchu).

Řídící/kontrolní segment tvoří hlavní kontrolní stanice (Master Control Station – MCS) na Letecké základně Falcon v Colorado Springs, pět monitorovacích stanic (Falcon, Havaj, Kwajalein, Diego Garcia a Ascension) a tři pozemní antény (Kwajalein, Diego Garcia a Ascension). Monitorovací stanice sbírají data ze všech viditelných satelitů, která pak posílají do MCS. Zde jsou předpovídány efemeridy satelitů a parametry hodin a ty se za použití pozemních antén vysílají satelitům a z nich zpět k Zemi uživatelům. Řídící segment tedy mimo jiné aktualizuje navigační zprávy vysílané satelity, kontroluje rekonfiguraci redundantního satelitního vybavení či manévry korigující dráhu satelitu.

Uživatelský segment tvoří všechny civilní i vojenské GPS přijímače, určené pro příjem, dekódování a zpracování GPS signálu.

GPS služby

Služby GPS jsou poskytovány na dvou úrovních

- Precise Positioning Service (PPS, přesná polohová služba)
- Standard Positioning Service (SPS, standardní polohová služba)

Precise Positioning Service umožňuje přesné určení polohy, času a rychlosti, je však určena pouze pro autorizované uživatele (armádní). PPS není limitována zavedením Selective Availability (SA) ani Anti-Spoofing (A-S). K odstranění systémové proměnlivé chyby SA došlo v květnu 2006, A-S (způsob ochrany vojenského P-kódu před případným zneužitím nepřítelem) je aktivován neustále (s výjimkou několika hodin týdně, to však nemá pro civilní využití velký význam).

Na území České republiky funguje pod Vojenským geografickým a hydrometeorologickým úřadem v Dobrušce GPS informační a sledovací středisko. „Zásadní službou plněnou v rámci MMPOC (Main Military Point of Contact) je zavádění GPS kryptografických klíčů do vojenských GPS přijímačů, což umožní příslušníkům AČR (Armády České republiky) přístup ke službě PPS. Tyto klíče poskytuje provozovatel systému podle bezpečnostních pravidel daných mezinárodní smlouvou.“ (Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, 2005)

Standard Positioning Service je poskytována zdarma všem GPS uživatelům. Spočívá v příjmu signálu na jediné frekvenci L1, modulovaného C/A kódem. Měření je tedy méně přesné. Do budoucna se plánuje civilní využití dalších dvou frekvencí (L2 a L5, frekvence L3 a L4 jsou využívány pro vojenské účely, nejsou určeny pro navigační funkce).

Přestože L2 signál není součástí SPS, jsou některé civilní GPS přijímače schopny použít L2 pro dvou-frekvenční měření, ovšem bez využití kódu.

V radiových navigačních systémech se využívá dvou metod pro určení polohy:

- dopplerovská metoda (využita u systému Transit)

- dálkoměrná metoda (GPS)
- kombinace obou metod (GPS jen výjimečně)

Výpočet polohy

GPS je pasivní dálkoměrný systém. Poloha přijímače je určována ze znalosti souřadnic družic a jejich vzdáleností, přičemž přijímač je opravdu pouze přijímačem (sám nevysílá žádný signál).

Naproti tomu každý satelit vysílá na dvou frekvencích L1 a L2 pseudonáhodné kódy (PRN - PseudoRandom Noise). PRN kódy jsou unikátní pro každou družici.

Základní frekvence L je rovna 10,23 MHz. Další frekvence jsou její násobky, konkrétně pro L1, resp. L2 154 násobek, resp. 120 násobek.

Mezi PRN kódy patří tzv. C/A (Coarse Acquisition – pro hrubé měření, Clear Access – volný přístup) kód a P (Precision - přesný, Protected - chráněný) kód a navigační zpráva.

C/A kód moduluje pouze L1 signál (nelze tedy s jeho pomocí potlačit vlivy ionosféry), zato je však možné jej v přijímači generovat bez spolupráce se správcem systému a je tedy přístupný všem.

P kód moduluje signály L1 i L2. Z periody 266 dní se využívá pouze sedmidenní část. Větší rychlost i délka umožňují přesnější měření, navíc měření na dvou frekvencích podstatně omezuje vliv ionosférické refrakce. Po zveřejnění algoritmu P kódu nastalo nebezpečí zneužití systému nepřitelem. Proto je od roku 1995 (Hugentobler, 2001) P kód překódován na tzv. Y kód (překódování se nazývá A-S - Anti-Spoofing), jehož dekódování je možné pouze při znalosti W kódu dostupného jen autorizovaným uživatelům. A-S je vypínán pouze výjimečně pro testy (Navstar GPS Constellation Status, 2006), pro civilní uživatele to však kvůli délce vypnutí nemá reálný význam.

Posledním kódem vysílaným GPS satelity je navigační zpráva obsahující čas počátku vysílání zprávy, efemeridy družice, almanach (údaje o stavu a poloze ostatních družic), koeficienty ionosférického modelu a stav družice, tzv. health (Tesař, 2006).

Kódová měření. Přijímač GPS zachytí signál ze satelitu, přijatou pseudonáhodnou posloupnost odpovídající použitému kódu porovná s posloupností generovanou přímo v přijímači a podle vzájemného posunu zjistí čas, za který se signál dostal od satelitu k přijímači. Pomocí znalosti času šíření signálu a jeho rychlosti je dopočítána vzdálenost družice. Ze tří takto získaných vzdáleností by bylo možné určit třírozměrnou polohu. Určená vzdálenost je však zatížena mnoha chybami (např. nesynchronnost časové základny družice a přijímače, kde nemohou být umístěny velmi přesné hodiny, jako je tomu u satelitů), nazývá se pseudovzdáleností a do výpočtů musí být zařazena další neznámá – chyba hodin přijímače. Pro získání třírozměrné pozice je tedy zapotřebí minimálně čtyř satelitů, k zjištění rychlosti pohybu musí být viditelný ještě jeden satelit navíc.

Některé přijímače jsou schopny provádět i tzv. fázová měření. Přijímač zjistí rozdíl fáze přijatého signálu a fáze signálu v čase vysílání družicí a tento rozdíl je použit pro zpřesnění výpočtu polohy uživatele. Po spuštění však musí přijímač určit počet celých cyklů sinusové vlny (ambiguit) mezi družicí a přijímačem, pro první odhad je využita vzdálenost vypočítaná kódovým měřením. Přijímač je schopen neznámou fázovou ambiguitu eliminovat, podmínkou je však nepřerušovaný příjem družicového signálu, což limituje využití přesného, fázového měření v zakrytém území (v lese, mezi zástavbou).

Měření s GPS je zatíženo mnoha chybami. Některé z faktorů způsobujících tyto chyby můžeme jako uživatelé systému ovlivnit (volbou přijímače, změnou podmínek měření), vždy však musíme počítat s určitou odchylkou od přesné hodnoty a uvážit, zda je pro naše účely tato odchylka podstatná, či zda ji můžeme zanedbat.

Jednotlivé chyby snižují přesnost v určení polohy, proto se také obvykle chyby kvantifikují nepřesnostmi, jíž přispívají k celkové nepřesnosti měření. Pro definici přesnosti je zapotřebí si nejprve ujasnit několik souvisejících pojmů.

Pokrytí (coverage) je definováno jako procento času, kdy uživatel kdekoli na Zemi či v její blízkosti, v kterýkoli čas může vidět satelity v počtu dostatečném pro určení polohy (Global Positioning Service, Standard Positioning Service, Signal specification (2006) uvádí standardní pokrytí větší než 99,9 % pro čtyři a více satelitů na celém světě, s elevační maskou 5°, přičemž satelity musí poskytovat PDOP šest a méně). Výraz „v blízkosti Země“ znamená přibližně do výšky 200 km nad povrchem Země.

Dostupnost služeb (service availability) – procento času, kdy je pokrytí poskytováno satelity, jež vysílají signál použitelný pro výpočet pozice (narozdíl od pokrytí tedy nestačí pouhá přítomnost satelitů).

Spolehlivost služeb (service reliability) – zde již nestačí pokrytí a dostupnost služeb, ale okamžitá předvídatelná horizontální chyba je do určité hranice.

Pokud je poskytováno dostatečné pokrytí, služba je dostupná a všechny satelity pracují s přípustnou odchylkou, představuje přesnost GPS řešení pozice shodnost výstupu z přijímače s očekávaným řešením.

Rozlišujeme

- předvídatelná přesnost (týká se rozdílu mezi pozicí měřenou a „skutečnou“)
- opakovatelná přesnost (přesnost, se kterou se uživatel může vrátit do pozice, jejíž souřadnice byly dříve změřeny stejným navigačním systémem. Jedná se vlastně o rozdíl mezi dvěma měřeními téhož bodu v různých časech)

- relativní přesnost (přesnost, se kterou uživatel může zaměřit pozici bodu v porovnání s pozicí měřenou ve stejnou dobu jiným uživatelem navigačního systému)

Někdy bývá udávána ještě tzv. přesnost časového přesunu. Jedná se o rozdíl mezi odhadem UTC – Universal Coordinated Time, koordinovaný světový čas – použitým pro výpočet polohy a UTC, který je řízen Americkou námořní observatoří (USNO – United States Naval Observatory).

Pro vědecké použití by se měla např. při definování hodnot přesnosti používat 95% hladina pravděpodobnosti. V materiálech o GPS však tato hladina obvykle není blíže specifikována, setkáváme se pouze s údaji v metrech vyjadřující, že měření se na nám neznámé hladině pravděpodobnosti uskuteční v rozsahu uvedené chyby. Na nižší hladině pravděpodobnosti bude samozřejmě velikost chyby nižší, proto je třeba brát hodnoty udávané výrobcem s rezervou a uvědomit si, že velmi často pracují s 50–60% hladinou pravděpodobnosti (DGPS on Garmin Receivers, 2006).

Podle NAVSTAR GPS, User Equipment Introduction (1996) jsou pro určení norem výkonu používány „dokonalé“ GPS přijímače, které počítají polohu ze čtyř satelitů a jsou omezeny elevační maskou 5°. Uživatel tedy musí počítat s těmito omezeními a uvažovat v souvislosti s vybavením, které má k dispozici. S měnící se elevační maskou se adekvátně mění i pokrytí a další služby, které s pokrytím přímo souvisí.

„Přesnost měření je třeba chápat jako charakteristiku vypočtenou z rozptylu série měření. V geodézii se obvykle používá jako charakteristika přesnosti směrodatná odchylka. Směrodatná odchylka vymezuje interval, ve kterém leží skutečná hodnota s 68% pravděpodobností, nejistota výskytu skutečné hodnoty mimo tento interval činí 32 %. (...) Spolehlivost měření je možné chápat jako dosažení skutečné přesnosti s určitou předem zvolenou pravděpodobností.“ (Bureš et al., 2006)

NAVSTAR GPS, User Equipment Introduction (1996) rozděluje zdroje chyb podle GPS segmentů – chyby kosmického segmentu (např. chyby z neurčitosti zrychlení satelitů), kontrolního (např. predikce efemerid) a uživatelského (korekce ionosférického/troposférického zpoždění, šum a rozlišení přijímače, multipath a další). Tyto chyby jsou specifické pro každý satelit a jsou minimální po zpracování nové navigační zprávy. Dalším zdrojem chyb stojícím mimo již zmíněné je tzv. GDOP (Geometric Dilution of Precision, geometrická odchylka od přesnosti).

Tesař (2006) rozděluje chyby na náhodné (složené z chyby měřené vzdálenosti – pseudorange error – a GDOP) a systematické (ionosférická/troposférická refrakce, nepřesná znalost dráhy družic, chyba družicových hodin, variace fázového centra antény a multipath).

Garmin: What is GPS? (2006) podává výčet jednotlivých chyb bez dalšího dělení, připomíná i chyby vzniklé úmyslnou degradací satelitního signálu (SA, Tesař 2006 tuto chybu uvádí mimo uvedené dělení).

Kostelecký et al. (2006) hovoří o objektivních příčinách rozdílných výsledků opakovaných měření, které vyplývají z povahy systému. Dělí je na aktuální, v čase proměnné faktory (počet pozorovaných družic, konfigurace družic, stav troposféry a ionosféry) a místní podmínky (zastínění oblohy, multipath, rušení pozemními vysíláči, SA, A-S).

Největší přirozenou chybou systému GPS je podle Bain (2006b) a KTR – laboratorní cvičení, GPS přijímač (2006) ionosférická refrakce. Ionosféra je slabě ionizovaná oblast atmosféry Země, nachází se přibližně ve výšce 60 – 800 km nad Zemským povrchem (Ionosféra – Aldebaran Glossary, 2006). Vrstvy ionosféry lámou satelitní signál a tím prodlužují dobu šíření signálu (How GPS works: Error sources, 2006). „Ionosférická refrakce je závislá na elevaci (minimálních hodnot nabývá při elevaci 90° - tedy v nadhlavníku) a na denní době (minimum v časných ranních hodinách, maximum kolem 14 hodin místního času), méně výrazná je závislost na roční době (maximum na podzim).“ (Tesař, 2006)

Družice vysílají koeficienty modelu atmosféry, díky nimž je uživatel schopen velkou část chyby korigovat.

Ionosférickou refrakci lze potlačit i použitím měření na dvou frekvencích. Elektromagnetické vlny jsou při průchodu ionosférou zpomalovány nepřímo ke čtverci jejich frekvence ($1/f^2$, How GPS works: Error sources, 2006). Při příjmu signálu dvou různých frekvencí a zpracování s ohledem na různý čas příjmu je možné vypočítat zpoždění způsobené průchodem signálu ionosférou.

Další chyby měření způsobuje troposférická refrakce. Troposféra je nejnižší část atmosféry, dosahuje od Zemského povrchu přibližně do výšek 9 - 18 km. Způsobuje další zpomalení elektromagnetických vln (vlivem vody obsažené v troposféře). Chyba není tak významná jako u ionosféry, nelze ji však eliminovat měřením na dvou frekvencích. Pro potlačení vlivu troposféry se zavádí hrubý, obecný model. Velikost chyby závisí na vzdálenosti, kterou signál v troposféře urazí (zmenšuje se s rostoucím elevačním úhlem).

Směrodatná odchylka chyby vzdálenosti v důsledku průchodu signálu atmosférou je pro civilní uživatele ručních GPS přijímačů 5 -10 m (Global Positioning System – Wikipedie, otevřená encyklopedie, 2005), podle How GPS works: Error sources (2006) činí přibližně 5,5 m.

Vícecestné šíření neboli multipath. Chyba v měření vzdálenosti od družice může nastat také při měření signálu odraženého od předmětů v okolí přijímače (signál se tak do přijímače dostává po delší cestě, než je skutečná přímá vzdálenost družice – přijímač). Vliv multipathu na měření závisí také na použité anténě. Podle How GPS works: Error sources (2006) je při dobré konstelaci satelitů a podmínkách pro příjem signálu přesnější Patch anténa. Naopak při špatných podmínkách je lepší použít Helix anténu, která se sice nechá snáze ovlivnit odraženým signálem, ale polohu - i když s nízkou přesností - alespoň určí. Geodetické přijímače používají anténu s tlumícím prstencem, který eliminuje účinky signálů odražených od objektů pod úrovní antény.

Nepřesnost hodin a chyba ze zaokrouhlení. Na družicích jsou umístěny velmi přesné atomové (rubidiové a cesiové) hodiny, jejich chyba je velmi malá, navíc její aktuální velikost je vysílána v navigační zprávě, takže GPS přijímače jsou schopny tuto chybu v podstatě eliminovat. V samotných přijímačích jsou dnes umístěny relativně jednoduché hodiny, jejich vysoká chyba se eliminuje použitím dalšího satelitu při výpočtu polohy (čtvrtý satelit nutný pro určení trojdimenzionální (3D) pozice; chyba hodin přijímače jako čtvrtá neznává v rovnicích pro výpočet polohy přijímače). Důvodem pro použití nepřesných hodin v GPS přijímačích (související s nutností použít pro výpočet polohy vždy jeden satelit navíc, což může být velký problém při špatných podmínkách pro příjem signálu) je velká hmotnost, rozměry a cena dnes vyráběných hodin atomových. Americký Národní institut pro technologii a standardizaci (NIST – National Institute of Standards and Technology) však již vyvinul cesiové hodiny velikosti zrnka rýže, kterým k provozu stačí nepatrný příkon. Autoři věří, že nejsou daleko od hromadné výroby těchto hodin, použitelných např. v mobilních telefonech a GPS přijímačích (Žáček, 2004).

Při nesynchronnosti časové základny družice a přijímače může dojít k velkým chybám v určení polohy. „Jestliže se hodiny přijímače odchylují od hodin družice o jednu milisekundu a vzhledem k tomu, že zpoždění se násobí rychlostí světla, byla by chyba vzdálenosti téměř 300 km.“ (Global Positioning System – Wikipedie, otevřená encyklopedie, 2005) Jednometrová chyba v délce (range error) je způsobena chybou v určení času o velikosti 3 nanosekundy (NAVSTAR GPS, User Equipment Introduction, 1996).

Zaokrouhlovací chybou GPS přijímače dosáhneme podle různých zdrojů u běžných turistických GPS přijímačů odchylky v určení pozice 1 – 3 m (Koukl, 2001, Rak, 2003) .

Chyba z relativistických efektů (způsobené vysokou rychlostí satelitů a jejich vzdáleností od Země, tedy v oblasti s menší gravitací než jaká je na povrchu Země, kde se nachází uživatel) je eliminována úpravou družicových hodin.

Nepřesné určení dráhy satelitů. Do rovnic pro určení polohy GPS přijímače se zavádí parametry drah družic, z nichž je přijímán signál. Tyto parametry (efemeridy) jsou zjišťovány pozemními stanicemi systému a zde jsou také předpovídány na několik hodin dopředu. Předpovědi jsou posílány jednotlivým satelitům, odkud putují k uživateli jako součást navigační zprávy. Proto jsou možné dva druhy chyb: v samotné predikci efemerid a v pohybu družice (ta je vybavena motorky pro korekci dráhy). Pro velmi přesné geodetické práce je možné při postprocessingu použít dodatečně zpřesněné parametry drah družic. Chyba v určení polohy v důsledku nepřesného určení dráhy

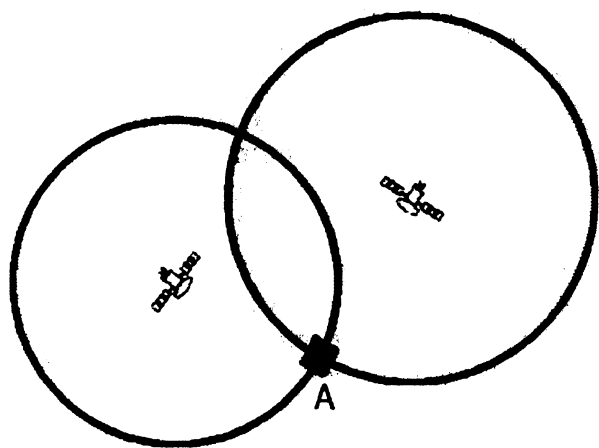
satelitů se obvykle udává 2 m (How GPS works: Error sources, 2006) až 4 - 5 m (Global Positioning System – Wikipedie, otevřená encyklopedie, 2005, Rak, 2003).

Další systematickou chybou je variace fázového centra antény (vliv jen na velmi přesné geodetické práce).

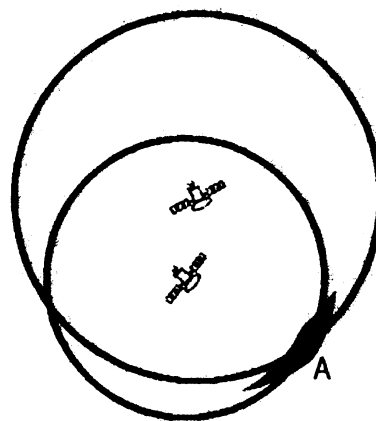
Selective Availability je záměrná chyba, která může být kdykoli do systému zavedena. Určení polohy pro civilní uživatele je pak možné s „přesností“ asi 50 – 100 m.

Přesnost měření ovlivňuje také momentální rozložení satelitů na obloze. Pokud bychom si představili situaci v rovině, tak bod, na kterém se nachází uživatel (na obr. 3, 4 bod A), neleží kvůli chybám v měření vzdálenosti na kružnici, ale v mezikruží (šedou barvou) opsaném satelitu (šířka mezikruží odpovídá chybě měření). Velikost prostoru, v němž se s určitou pravděpodobností nachází uživatel (modrou barvou), je pak ovlivněna nejen chybou měření, ale i vzájemným postavením satelitů a tedy i úhlem, který svírají jednotlivá mezikruží opsaná viditelným satelitům.

Obr. 3: Nízké hodnoty DOP



Obr. 4: Vysoké hodnoty DOP



Zdroj obou obrázků: How GPS works: Error sources, 2005

Pro určení kvality satelitní geometrie se obvykle používá hodnoty tzv. DOP (Dilution Of Precision, rozptyl přesnosti).

„Efektivní hodnota chyby určení polohy je dána součinem směrodatné odchylky určení vzdálenosti a koeficientu, který charakterizuje rozmístění družic na hemisféře (tento koeficient se nazývá *DOP - dilution of precision, rozptyl přesnosti*).“ (Global Positioning System – Wikipedie, otevřená encyklopedie, 2005)

Podle složek, které používáme pro výpočet hodnot DOP, rozlišujeme:

- GDOP (Geometric Dilution of Precision, geometrická odchylka od přesnosti), pro určení celkové přesnosti – týká se 3D souřadnic a času,
- PDOP (Positional Dilution Of Precision, poziční odchylka od přesnosti), poziční přesnost – 3D souřadnice
- HDOP (Horizontal Dilution Of Precision, horizontální odchylka od přesnosti), horizontální – dvojdimenzionální (2D) souřadnice
- VDOP (Vertical Dilution Of Precision, vertikální odchylka od přesnosti), vertikální přesnost – výška
- TDOP (Time Dilution Of Precision, časová odchylka od přesnosti), časová přesnost – čas

Hodnota DOP je determinována geometrií viditelných satelitů s ohledem na anténu přijímače uživatele. Může být degradována překážkou signálu zaviněnou terénem, porostem, budovami, konstrukcí auta apod. (Wormley, 2006).

Ideální rozmístění satelitů je jeden satelit v nadhlavníku a tři rovnoměrně rozmístěné na obloze, nejhorší podmínky nastávají, když jsou satelity v přímce (pak se může stát, že přes dostatečný počet satelitů nebude přijímač schopen spočítat polohu).

Podle Global Positioning System – Wikipedie, otevřená encyklopedie (2005) lze v našich zeměpisných šířkách očekávat hodnoty $DOP = 1,87$, $VDOP = 1,55$ a $HDOP = 1,05$. How GPS works: Error sources (2005) rozlišuje podmínky pro měření s GPS přijímači na dobré při HDOP menším čtyřem a špatné při HDOP větší než osm.

Podle NAVSTAR GPS, User Equipment Introduction (1996) lze odhadnout, že PDOP rovné šesti odpovídá HDOP čtyři.

Pokud tedy budeme posuzovat hodnoty chyb, musíme dávat velký pozor na to, o jakou chybu se vlastně jedná. U většiny zdrojů (i těch přímo od výrobců) se však nic konkrétnějšího např. o hladině pravděpodobnosti nedočteme. Také údaje o nepřesnostech způsobených různými zdroji chyb mohou být velmi zavádějící. Obvykle se totiž nejedná o chybu v měřené vzdálenosti, ale o chybu v určení pozice (tedy o chybu v měřené vzdálenosti s ohledem na geometrii satelitů). Proto tyto údaje bereme jako orientační, sloužící spíše pro vzájemné porovnání vlivu jednotlivých chyb. Na DGPS on Garmin Receivers (2006) nalezneme velikosti příspěvků jednotlivých chyb k celkové nepřesnosti v měřené vzdálenosti (ionosféra 4,0 m, hodiny 2,1 m, efemeridy 2,1 m, troposféra 0,7 m, přijímač 0,5 m, multipath 1,0 m, celkem 10,4 m) s vysvětlením, že se jedná o měření při dobrém výhledu na oblohu a „přijatelným“ rozložením satelitů. Velikost udané celkové chyby přibližně odpovídá hodnotě 10,2 m, kterou po chybu ve vodorovném směru při HDOP kolem 2 udává Vejražka (2000). S měnícím se DOP musíme počítat s adekvátně se měnící hodnotou chyby.

Na samotném přijímači nalezneme údaj označovaný jako „pozice“ či „přesnost“ (accuracy), který se týká předpokládané polohové chyby – EPE (Estimated Position Error). Tato hodnota je počítána z HDOP a odhadu chyb signálu v prostoru (*NPS GPS Support Facility – What is EPE?*, 2006). Podle Tesař (2001) vznikne EPE součinem chyby měřené vzdálenosti, hodnoty HDOP a koeficientu statistického odhadu dané pravděpodobnosti. Podle Mehaffey (2006) udává EPE v případě přístrojů značky Garmin hodnotu odchylky měření od skutečné polohy na 50% hladině pravděpodobnosti. Pro získání 95% pravděpodobnosti je zapotřebí hodnotu EPE vynásobit dvěma. Jinými slovy, pokud přístroj udává hodnotu EPE 10 m, máme 50% šanci, že naše měřená pozice bude do deseti metrů od pozice skutečné, stejně tak však je 50% pravděpodobnost chyby, která bude větší než udaných 10m.

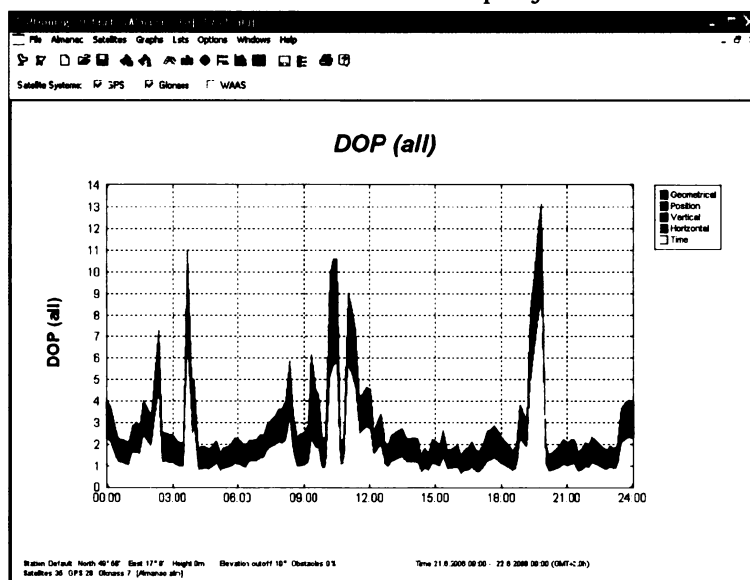
Při svých měřeních nezjistil Tesař (2001) žádný vztah mezi EPE a výslednou přesností. To jen dokazuje, jak málo vypovídající je 50% hladina pravděpodobnosti pro určení odhadu přesnosti měření.

Hodnoty DOP jsou samozřejmě shodné pro civilní i vojenský sektor, ovlivnit je lze pouze plánováním doby měření. Na internetu jsou volně ke stažení programy na určení hodnot DOP v konkrétním čase pro zadané místo (např. Planning na www.trimble.com, obr. 5).

Podle hodnot přesnosti, kterou přímo ovlivňují činitelé uvedení výše, lze rozlišit kvalitu GPS přijímačů a určit vhodnost přijímače pro konkrétní užití. Mezi parametry pro srovnávání různých typů přijímačů se v první řadě objevují:

- polohová přesnost
- přesnost rychlosti
- časová přesnost
- doba do prvního získání polohy (TTFF – Time To First Fix)

Obr. 5: Zobrazení hodnot DOP pro jeden den



Zdroj: Planning, 2002

Pro určení polohové přesnosti přijímače (receiver position accuracy) je zapotřebí specifikovat hodnoty DOP a URE (User Range Error – odhad chyb „signálu v prostoru“, vysílán v navigační zprávě, NPS GPS Support Facility – What is EPE?, 2006), abychom mohli izolovat samotný příspěvek přijímače k celkové chybě, např. filtrační algoritmy, transformace souřadnic, UEE – User Equipment Errors (šum přijímače, vliv multipath, orientace antény).

Rychlost je obvykle měřena pomocí dopplerova posunu. Její přesnost se pohybuje řádově v prvních desetínách metrů za sekundu v 95 % měření (NAVSTAR GPS, User Equipment Introduction, 1996).

GPS je možné použít jako zdroj přesného času. V 95 % měření je čas určován na první stovky nanosekund (NAVSTAR GPS, User Equipment Introduction, 1996).

TTFF je doba, kterou přijímač potřebuje k získání satelitního signálu a navigačních dat a vypočtení prvního pozičního řešení. Rozlišujeme tři typy TTFF podle toho, co má přijímač v okamžiku zapnutí k dispozici:

- horký start (Hot) – k dispozici almanach a efemeridy

- teplý start (Warm) - almanach

- studený start (Cold) – bez almanachu (přístroj se dlouhou dobu nepoužíval nebo byl během vypnutí přesunut o velkou vzdálenost)

5.3 Vyšší přesnost v určení polohy

V geodetické praxi se nejvíce používá relativní způsob určení polohy – jeden z přijímačů měří na bodě o známých souřadnicích, další přijímač na bodě určeném, výsledkem měření je relativní poloha přijímačů, z které jsme schopni zjistit polohu určeného bodu.

V naprosté většiny případů se používá fázové měření.

U geodetických prací se uplatňuje několik metod. Statická metoda spočívá v měření dvěma a více přijímači po dobu několika hodin. Nejpřesnější výsledky slouží např. pro budování polohových základů.

Pravděpodobně nejpoužívanější je rychlá statická metoda, kdy je na bodě měřeno přibližně 10 – 30 min, což je minimální doba k bezpečnému řešení ambiguit (počet celých cyklů sinusové vlny). Touto metodou získáme centimetrovou přesnost.

Při metodě stop and go je zapotřebí při přesunu mezi jednotlivými body kontinuálně měřit bez ztráty signálu. Pak je možné veškeré další observace zkrátit na dobu několika vteřin (není zapotřebí znovu řešit ambiguitu). Metoda je však použitelná jen při velmi dobrých podmínkách, v terénu bez překážek.

Obdobná je kinematická metoda, kdy jsou dva přístroje inicializovány (jsou vyřešeny ambiguitu) na počátečním bodě, poté se jeden z nich dá do pohybu a provádí měření na trase s velmi krátkým krokem záznamu. Opět je nutné neztratit signál, v opačném případě je zapotřebí opětovná inicializace.

Kinematická metoda bez inicializace vychází z předpokladu, že ambiguita je možné řešit i při pohybu přijímače.

Modifikací kinematické metody je metoda Real Time Kinematic (RTK). Data z referenční stanice jsou posílána v reálném čase na rover (pohybující se přijímač), kde jsou přímo počítány souřadnice bodů. Podle Slámy et al. (2006) může GPS aparatura při RTK přejít do několika stavů: režim RTK – fixované řešení (při dostatečném počtu družic a nepřerušovaném příjmu korekcí, vyřešeny celočíselné hodnoty všech ambiguit), režim RTK a post-procesní kinematika (krátkodobě nedostupné korekce, poloha zaměřených bodů se dodatečně vypočte ze souběžně registrovaných družicových dat), režim navigační poloha (čistě kódová měření, použití DGPS, korekce získány ze satelitu EGNOS).

Další kinematickou aplikací je diferenční GPS (DGPS). Rozdíl mezi posledními dvěma zmíněnými aplikacemi je poměrně malý. V obou případech se používají jak fázová, tak kódová měření. „V případě RTK se používají přímo měření z blízkého referenčního bodu, v případě DGPS se místo vlastních měření častěji používají tzv. DGPS korekce.“ (Mervart et al., 2005)

Narozdíl od geodetických GPS přijímačů používají ruční přijímače kódová měření. Poloha se určuje absolutně, přímo na displeji přijímače vidíme svou polohu ve zvoleném souřadnicovém systému. Protože kódové měření neřeší ambiguitu, odpadá fáze inicializace. Doba, která je zapotřebí k získání pozice, se nazývá Time To First Fix (TTFF). Přijímač je schopen určit svou polohu při pohybu, vyrovná se se ztrátou signálu určením nové pozice v okamžiku opětovného příjmu signálu z dostatečného množství družic. Cenou za tyto přednosti je však nemožnost určit polohu s tak vysokou přesností, jako je tomu u geodetických přijímačů. Reálné možnosti turistických přijímačů se pohybují kolem prvních metrů (v případě dobrých podmínek a vypnutí SA).

Problémem nemusí být jen samotné zaměření pozice s vyšší chybou. Navigační softwary používané u auto-navigací předpokládají pohyb po silnici, na kterou pak

korigují nepřesná měření. Při nízké přesnosti určení pozice se může stát, že software bude předpokládat pohyb po vedlejší silnici, která bude ovšem měřené poloze blíže než komunikace, na níž se vozidlo skutečně pohybuje. To může mít za následek generování nesmyslných navigačních instrukcí (Bain, 2006c).

S „ručními“ GPS přijímači je možné určovat pozici i když jsou viděny méně jak čtyři satelity. Je však nutné jednu ze souřadnic (zpravidla výšku) považovat za konstantní. Při poklesu počtu viděných satelitů na jeden až dva by bylo zapotřebí přijmout i další předpoklady, např. přímočarost pohybu. Tímto způsobem však dochází k degradaci navigace, která se hroučí za první zatáčkou. V automobilech lze pro zpřesnění určení polohy využít „senzorově orientované odhady poloh – externí senzory dávají informaci o rychlosti a směru pohybu.“ (Bonsen et al., 2005)

Nejdůležitějším způsobem, jak dosáhnout v geodézii i turistice a dalších aplikacích vyšší přesnosti v určení pozice pomocí GPS, je použití diferenčního měření s GPS (DGPS).

Princip DGPS i RTK je založen na poznatku, že měření prováděná různými přijímači nepřilíš navzájem vzdálenými bude zatíženo stejnými chybami (způsobenými atmosférickým zpožděním, chybami drah družice a satelitních hodin). Na referenčním bodě lze z polohy družice a známé polohy přijímače vypočítat jejich vzájemnou vzdálenost. Ta je pak porovnána s měřenou pseudovzdáleností. O rozdíl vzdáleností (chybu) je pak opravována pseudovzdálenost měřená rover přijímačem ke konkrétnímu satelitu. Je tedy zapotřebí, aby přijímače viděly totožné satelity.

„Prostřednictvím komunikačního kanálu lze přenášet i přímo měřená data z referenční stanice a vyhodnocení měření se vykonává výpočtem vektoru v uživatelském přijímači.“ (Bureš et al., 2006)

Výsledek DGPS je založen na zpracování kódových měření. „Ta mohou být doplněna měřeními fázovými buď na principu společného vyrovnání kódových a fázových měření nebo metodou tzv. vyhlazování kódových měření pomocí fázových. Celočíslné hodnoty ambiguit zůstávají neznámé.“ (Mervart et al., 2005)

Se zvětšující se vzájemnou vzdáleností přijímačů klesá korelace mezi chybami měřeními u těchto přijímačů, snižuje se tedy přesnost v určení polohy a od určité vzdálenosti jsou již korekce nepoužitelné. Korelace klesá také se zvyšujícím se rozdílem mezi časem zjištění korekcí a časem měření korelované pseudovzdálenosti. Korelace se blíží nule přibližně po dvou minutách odstupu, poté může korekce vést k řešení pozice, které bude méně přesné než samostatné měření bez korekcí (NAVSTAR GPS, User Equipment Introduction, 1996).

Opravy je možné získávat v reálném čase nebo je použít později při postprocessingu (výpočet se provede v počítači po stažení dat z obou přijímačů). V reálném čase se korekce referenční stanice „vysílají komunikačním kanálem (rádiový kanál, internet) uživatelům ve svém okolí.“ (Bureš et al., 2006)

DGPS je velmi vhodné pro potlačení chyb způsobených ionosférickou (problém hlavně pro jedno-frekvenční přijímače) či troposférickou refrakcí, chyby způsobené šumem přijímače a mnohacestným šířením signálu však takto odstranit nelze. Vyšší přesnosti se stejnými korekcemi tak dosahují pouze kvalitnější přijímače.

Korekce lze získávat vlastním měřením s druhým přijímačem, nebo lze využívat komerčních služeb (na našem území síť CZEPOS). EGNOS korekce je možné přijímat i s některými turistickými přijímači (korekce platí pro velké území, logicky proto nejsou tak přesné jako korekce ze sítě CZEPOS). „Nízké elevace geostacionárních družic nad obzorem předem vylučují jejich využití v městských kaňonech.“ (Bonsen et al., 2005)

Možností zpřesnění pozice měřené pomocí ručního GPS přijímače je průměrování při zaznamenávání jednotlivých bodů, což sníží náhodnou chybu v měření. U přijímačů Garmin je zapotřebí zvolit tuto funkci v menu, některé Magellan přístroje začnou průměrovat automaticky při zastavení. Doba průměrování by měla být alespoň 30 – 60 sekund. Podle DGPS on Garmin Receivers (2006) se chyba v určení polohy významně snižuje po pěti minutách průměrování, po deseti minutách je již velikost chyby relativně stálá, pro další zpřesnění polohy by bylo zapotřebí průměrovat asi pět hodin.

Bylo by možné využít i průměrování, kdy jednotlivým měřením přiřadíme váhu podle momentálního DOP (např. HDOP). Podle testů, které pro tento způsob průměrování zveřejnil na svých internetových stránkách Wilson (2006) bylo dosaženo různými algoritmy snížení střední polohové chyby v určení polohy bodu oproti obyčejnému průměrování o 11 %, resp. o 4 %. Autor vyjádřil názor, že vztah mezi HDOP a chybou je pouze přibližný a průměrování vážené hodnotami HDOP by mohlo přinést efekt pouze v případě měření s velmi odlišnými hodnotami HDOP.

Stejný zdroj uvádí, že pomocí jednoduchého průměrování je možné dosáhnout přesnosti lepší než 0,001 sekund v zeměpisné délce/šířce (méně než 2 m). Měření byla prováděna přístrojem Garmin 12XL, není však uvedeno, zda se tento údaj opravdu týká měření s tímto přístrojem.

Udržování antény ve správné pozici a minimální stínění vlastním tělem, případně jinými překážkami nám umožní lepší příjem signálu z jednotlivých satelitů a tím i rychlejší a přesnější určení pozice.

I když zrovna nepotřebujeme zaznamenávat polohu, je lepší nechat přijímač na místě, kde bude moci přijímat signál (vyhnout se strkání přijímače do kapes, batohu, ...).

Přestože je dostatečný počet viditelných satelitů zajištěn kdekoli na Zemi v kterémkoli čase (nebere se v úvahu stínění terénem a dalšími překážkami), rozložení i celkový počet satelitů se neustále mění. Stejně tak se mění i podmínky pro příjem signálu a určení pozice. Existuje řada programů, které uživatelům pomáhají v plánování měření (volně k dispozici např. program Planning na www.trimble.com). Uživatel zde může zvolit čas měření a stanici (vybrat z definovaných nebo definovat vlastní) a nechat vykreslit grafy např. viditelnosti družic (celkový počet i čas viditelnosti konkrétních satelitů), elevačních úhlů jednotlivých družic, nebo hodnoty DOP (jednotlivě nebo souhrnně v jednom grafu). Z grafů pak vyčte nejvhodnější čas observace (např. období s nejnižší hodnotou DOP, obr. 5).

Přijímač potřebuje přijmout efemeridy od všech viditelných satelitů. Přestože se TTFF uvádí v desítkách sekund, je lepší nechat přístroj před započítím samotného měření několik minut přijímat signál, protože počáteční určení polohy nemusí být dostatečně přesná (a to i přes to, že udávaná EPE již neklesá). Délka doby, potřebné pro dosažení dostatečné přesnosti, je závislá na typu přijímače, době, po kterou byl přístroj vypnut, vzdálenosti od místa posledního zaměření polohy, konstelaci satelitů a na zakrytí oblohy.

Velmi významně ovlivňuje kvalitu měření terén a porost, ve městech pak zástavba. Tyto faktory mohou v některých lokalitách měření pomocí GPS přijímače zcela znemožnit (přístroj není schopen přijmout dostatečné množství signálu, na displeji se objeví stránka hlásící „Ztráta signálu“. Trasa prošlá v době bez určení polohy je nahrazena přímkou, spojující poslední známý bod s prvním bodem, zaměřeným po

ztrátě signálu). Tento problém nastává převážně v hlubokých údolích a hustých, vysokých porostech. V listnatých lesích se doporučuje provádět veškerá měření v zimě (resp. po opadání listů), toto opatření nám samozřejmě nepomůže u jehličnanů, kde je příjem signálu celkově ještě horší (Vojta, 2006). Děšť by měření pomocí GPS přijímačů ovlivňovat neměl, ovšem v porostech s vlhkými listy, které pravděpodobně zvyšují odrazy signálu, je situace poněkud horší. Za deště se také nedoporučuje používat pouzdro na GPS, které nasákne vodou, a pokud obaluje anténu, může měření zcela znemožnit (Vojta, 2006). S porostem a terénem se vyrovnává každý GPS přijímač jinak, teprve v těchto zhoršených podmínkách zjistíme skutečné kvality přijímačů určených pro turistiku.

Pro navigaci v obtížných podmínkách je důležitá citlivost přístroje. Na ni má vliv zejména anténa a čipová sada.

Provedení antény ovlivňuje kvalitu přijímaného signálu a také částečně předurčuje ideální polohu přijímače pro příjem signálu. U turistických přijímačů rozlišujeme dva hlavní typy antén: patch – pásková – anténa (u menších přijímačů a externích antén, ideální vodorovná poloha, příjem signálů dopadajících svisle, při správném nasměrování se může kvalitou rovnat helix anténě) a helix – tyčková – anténa (orientace směrem vzhůru na oblohu, dobře přijímá signály ze stran, vyšší citlivost na příjem signálu). Antény bývají pevnou součástí přístroje (umístěny v oblasti nad displejem) nebo mohou být externí (lepší příjem díky možnosti umístění mimo zastíněný prostor, nepostradatelné např. pro použití v autě).

Čipových sad (chipsetů) je dnes celá řada, liší se především citlivostí (signál jakého výkonu jsou schopny správně zpracovat) a také spotřebou energie. Asi nejlepší čipovou sadou je dnes SiRFstarIII, jejíž citlivost je 50x vyšší než u jejího předchůdce SiRFstarIIe/LP, 250x než u Garminu (Bain, 2006a) a narušil od některých jiných sad nemá problém s rychlostí zpracování zachyceného signálu a s tím související kontinuitou určování polohy (při prudké změně rychlosti nebo směru docházelo k prodloužení času zpracování dat a tím ke krátkodobé ztrátě signálu). Zatímco tedy běžný GPS přijímač zaměřil jen relativně silné satelitní signály, přijímač vybavený SiRFstarIII je díky výrazně zvýšené citlivosti a zvýšené odolnosti proti nežádoucím interferencím schopen zaměřit i velmi slabé signály. Díky vyššímu počtu zaměřených družic je tedy GPS přijímač se SiRFstarIII schopen počítat polohu s vyšší přesností, nebo měřit v místech, kde to bylo do nedávné doby zcela nemyslitelné (husté lesy, ulice, hluboká údolí, částečně i v budovách).

6. GPS přijímače

6.1 GPS přijímače pro turistiku

GPS přijímačů je dnes na trhu celá řada, jsou vyvíjeny typy přijímačů pro speciální účely, takže uživatel může volit mezi přístroji přesně podle svých požadavků. Velký důraz při vývoji je kladen především na přesnost v určení pozice, jednoduchost ovládání, možnosti nastavení podle konkrétního užití přijímače, rozměry přijímače a v neposlední řadě dnes již také na design přístroje.

Základní rozdělení GPS přijímačů je na přijímače tzv. geodetické a ruční nebo také navigační (i když tento pojem je poněkud zavádějící, neboť nemusíme využívat jen navigačních funkcí těchto přijímačů, a naopak některé geodetické přijímače lze použít pro navigaci – např. pokud u AschTech ProMark 2 oddělíme přijímač od externí antény a využijeme pouze vestavěnou anténu, což je výhodné např. pro dohledání geodetických bodů).

Další text se již nezabývá geodetickými přijímači, které jsou pro účely turistiky naprosto nepoužitelné.

Ruční přijímače rozdělujeme na mapové a nemapové.

Nemapové přijímače nemají zabudovanou mapu, ani není možné do nich mapu dohrát. Jednoduchou mapku můžeme vytvořit z prošlých tras, zaznamenaných bodů, nebo z bodů a tras vytvořených nad mapou v počítači a přenesených do přístroje, příp. ručním zadáním souřadnic bodů. S pomocí tohoto přístroje je možná navigace zpět po prošlé trase, k zadanému bodu, ve spolupráci s počítačem je možné ve speciálním softwaru vykreslit prošlou trasu nad mapou či vykreslit graf s výškovým profilem.

Mapové přijímače nám umožní v terénu vidět aktuální pozici na displeji nad elektronickou mapou. V přístroji je napevno zabudována základní mapa s malou podrobností (v evropských přístrojích mapa Evropy, u přístrojů dovezených z USA mapa Severní Ameriky), dále je možnost podle velikosti paměti dohrávat další, podrobné mapy. Protože velikost elektronickým map je značná, mapy se rozdělují na jednotlivé oblasti a do přístroje se nahrávají jednotlivě podle momentální potřeby. Pro cestování po velkém území má tedy uživatel možnost spokojit se s menším měřítkem mapy, menší podrobností map, ale také menším objemem dat, nebo je závislý na přístupu k počítači.

Někdy je zcela zvlášť vydělován nový segment tzv. fitness přijímačů. Jedná se v podstatě o malé nemapové přijímače vyvinuté speciálně pro sportovní aktivity a trénink (běh a jízda na kole).

Dále je možné rozdělit přístroje podle účelu, k němuž jsou primárně určeny. Některé přijímače je možné využít pouze pro jeden konkrétní účel (vestavěná navigace do automobilů, GPS přijímače se sonary), jiné jsou víceúčelové a vyskytují se tedy ve více skupinách.

GPS přijímače podle účelu dělíme na ruční, námořní (GPS přijímače se sonary, ruční GPS přijímače, plottery), aplikační (řízení přesného času počítačových sítí) a letecké.

Ruční přijímače dále dělíme na přijímače určené do auta, pro aviatiku, na loď, mapování, motocykly, paragliding, trénink, turistiku.

Uvedené dělení je samozřejmě pouze orientační.

GPS přijímače na turistiku existují ve dvou hlavních variantách: kompaktní přístroje a kombinace PDA (Personal Digital Assistant, osobní digitální pomocník) a GPS modul.

Velkou výhodou varianty PDA/GPS je možnost použití rastrových dat, jež se řídí pouze velikostí paměti PDA. Je také snadné vytvářet mapy z vlastních zdrojů, PDA má větší a kvalitnější displej, snáze se vkládají texty k waypointům, paměť na záznam trasy je omezena pouze velikostí paměti PDA. Naopak nevýhodou, pro turistiku velmi podstatnou, je menší odolnost PDA a také fakt, že se mapa neotáčí ve směru pohybu (samotný přijímač signálu je oddělen od PDA se zobrazenou mapou, natočení PDA tedy nemusí nutně znamenat natočení přijímače a naopak).

Kompaktní přístroj je oproti tomu vysoce odolný proti vodě a nárazu, mapa se může otáčet podle směru pohybu, některé přijímače disponují barometrickým výškoměrem a elektronickým kompasem. Při použití externí antény se sice vytrácí kompaktnost přístroje, zato však je možné potlačit výhodu PDA/GPS, kde je možné anténu umístit na místo s lepším výhledem na oblohu (při použití kompaktního přístroje bez externí antény je zapotřebí dávat pozor na stínění vlastním tělem, není možné v případě nutnosti např. strčit přijímač do kapsy aniž bychom tím ztratili podstatnou část signálu). Kompaktní přístroje jsou omezeny na použití výhradně vektorových map určených do GPS přijímačů konkrétní firmy. Ty jsou mnohem jednodušší, než mapy rastrové, obsahují menší množství objektů, vzhledem se často podstatně liší od papírových map, na které jsou uživatelé zvyklí. Mapy jsou ve specifickém formátu, pro mnoho oblastí nejsou podrobnější mapy k dispozici a tvorba vlastních map podle alternativních podkladů je poměrně složitou záležitostí. Podstatnou výhodou však je možnost vyhledávání objektů z databáze (ať už podle abecedy nebo vzdálenosti od aktuální pozice) a schopnost dynamické generalizace podle momentálního měřítka.

Kvalitní přístroje umožňují použití datových karet pro velmi podrobné mapy velkých oblastí, limitem je velikost karty, která však může být mnohem větší než paměť přístroje.

Pro kvalitu příjmu signálu je důležitým parametrem počet kanálů pro příjem satelitního signálu. První přijímače byly jedno-kanalové sekvenční, postupně přijímaly signály a zpracovávaly data z družic. Protože přijímač měl jen jediný vstup, mohl v jednu chvíli přijímat data pouze z jediné družice. Mezi viditelnými družicemi velmi rychle přepínal, což zvyšovalo riziko výpadku signálu a zhoršovalo příjem v lesích, mezi zástavbou a pod. První pozici byl přijímač schopen určit asi tři minuty po zapnutí (Koukl, 2001).

Urychlení procesu stanovení polohy (snížení TTFF na polovinu oproti předchozí skupině přijímačů) přinesly multiplexové přijímače. Ty jsou schopny během příjmu signálu z následující družice zpracovávat dekódovaná data z družice předchozí. Zhoršení poměru šumu však sebou přineslo větší chybu ve stanovení polohy.

Dnes jsou na trhu vícekanalové přijímače, standardem je dvanáct kanálů schopných přijímat a zpracovávat signály z družic paralelně. TTFF při teplém startu je u těchto přijímačů do 30 vteřin.

Zatímco Garmin dodává přístroje s dvanácti kanály, řada Magellan eXplorist disponuje celkovým počtem čtrnácti kanálů. GPS moduly jsou schopné přijímat i na

více kanálech (zbytečné pokud přijímač není schopen zpracovávat data z dalších systémů, např. GLONASS).

Napájení je u většiny přijímačů určených pro turistiku na dvě tužkové baterie. Pro svou velikost (forma náramkových hodinek) má přijímač Garmin Foretrex 201 dobíjitelný lithium-iontový akumulátor. Přijímače se liší dobou, po kterou jsou schopny s bateriemi pracovat. Výrobci udávají tzv. výdrž přístroje na jedno nabití, či jedny nové baterie. Pokud je u přístroje umožněna volba úsporného režimu (bez podsvícení, nižší frekvence určování pozice), je údaj o výdrži uváděn pro tento režim. U některých přijímačů je možné použít vnější napájecí zdroj.

Jednotlivé přístroje se liší svým displejem – velikostí, barevností, rozlišením, čitelností na přímém slunci a podsvícením. Displej je samozřejmě velmi důležitým hlavně při výběru přijímače pro využití v lodi, letadle či autě, pro komfortní užití mapového přijímače však hraje nemalou roli i při turistice. Pro lepší přehlednost a čitelnost mapy je důležité, aby byl displej barevný.

Funkce automatického výpočtu trasy (navigace nejrychlejší nebo nejkratší trasou po silnicích) a automatický přepočet v případě sjezdu z trasy je důležitý pro autonavigaci, příp. při cyklistice (nutností je kvalitní mapa podporující optimalizaci trasy), pro turistiku není nezbytnou vlastností GPS přijímače.

Některé přijímače mají zabudován elektronický kompas (jeho výhodou oproti GPS kompasu je použitelnost i mimo dosah signálu a fungování i v případě, že je přijímač v klidu) nebo barometrický výškoměr (pomáhá zpřesnit výškové měření, které má při GPS měření menší přesnost, než určení horizontální polohy). Za tyto funkce však přijímač platí výrazným zvýšením spotřeby baterií.

Přijímač, se kterým chceme zaměřovat bodové jevy v terénu, by měl mít funkci průměrování pozice, která může přispět ke zvýšení přesnosti určení polohy.

Každý přijímač by měl být snadno ovladatelný. Turistické přijímače se liší použitím různých tlačítek (záleží na typu přístroje a na počtu funkcí, které je potřeba ovládat) a jejich umístěním (na boční straně přístroje, na přední straně – nad nebo pod displejem).

6.2 Některá nastavení GPS přijímačů

Během práce s GPS přijímačem může uživatel volit mezi několika stránkami, zobrazujícími různé informace týkající se příjmu satelitů, informací o prošlé trase apod. Nad každou stránkou je možné pomocí „Menu“ zvolit pro uživatele nejpříjemnější nastavení. To se v zásadních bodech neliší podle typu přijímače, rozdíly mohou být v cestě k nastavení.

První v sekvenci hlavních stránek přístrojů je stránka stavu satelitů. Na ní je zobrazen proces příjmu družicového signálu, informace o poloze, pokud je zaměřena, elipsoidické výšce a hodnota EPE (označovaná jako přesnost nebo pozice). Někdy bývá zobrazena rychlost pohybu a čas. Příjem družicového signálu je vyjádřen grafickým zobrazením rozložení viditelných satelitů na obloze a sloupcovými grafy indikujícími

sílu přijímaného signálu. Zobrazení satelitů je dáno dvěma soustřednými kružnicemi (jedna představuje horizont, druhá je 45° nad horizontem). V těchto kružnicích představujících oblohu se pohybují satelity zobrazené jako čísla (podle označení satelitů). Pro stejné satelity je zobrazen vždy jeden sloupec v grafu, jeho výška závisí na intenzitě přijímaného signálu (může být i nulová). Pokud je sloupec nevyplněn, znamená to, že přijímač sice satelit „vidí“, ale ještě stále probíhá přenos dat potřebných pro výpočet pseudovzdálenosti. V okamžiku, kdy je přijímač schopen zahrnout satelitní signál do výpočtů, sloupec u konkrétního satelitu se černě vybarví. Písmenko „D“ ve sloupci znamená použití diferenčních korekcí pro konkrétní satelit.

Stránka je užitečná pro sledování hodnot přesnosti v určení pozice a pro kontrolování, z kolika satelitů je poloha počítána (někdy přijímač hlásí výpočet třírozměrné pozice a poměrně dobrou přesnost i přesto, že krátkodobě počítá polohu z jediného satelitu). V případě ztráty signálu je možné využít zobrazení oblohy s rozmístěním satelitů pro natočení přijímače směrem s nejvýhodnějším příjmem signálu.

Asi nejpoužívanější je mapová stránka. Nad ní může uživatel mimo jiné zvolit, zda chce zobrazovat mapu na celý displej, nebo se na něm budou zobrazovat i informace o rychlosti pohybu, vzdálenosti k cíli a pod. Dále je možné nastavit detail mapy, orientaci (k severu nebo směru pohybu), vlastnosti zobrazení některých mapových prvků (velikost popisného textu), určit, která mapa bude zobrazena. Je možné zvolit, zda se kolem pozice přijímače na mapě bude obrazovat kruh o poloměru udávané přesnosti, či zda se pozice bude přimykát k cestě, pokud ta bude blíže než je určitá hranice.

Stránka kompasu je užitečná pro navigační funkce, pro samotné mapování není zapotřebí. Jedinou výjimku tvoří případ, kdy je zapotřebí zaměřit bod, v jehož bezprostřední blízkosti není satelitní signál. Zaměříme bod poblíž a pak zadáme vzdálenost a azimut k určovanému bodu. U některých přijímačů není zapotřebí znát azimut, stačí namířit přístroj pomocí rysky na jeho krytu na bod a zadat jeho vzdálenost od aktuální pozice.

Dvojnásobným stisknutím klávesy „Menu“ se objeví Hlavní nabídka, která zprostředkovává přístup k několika dalším stránkám, kde lze měnit nastavení přijímače a využívat dalších funkcí. Pro mapování jsou důležité stránky prošlých tras, bodů a nastavení.

Na stránce prošlých tras je možné mazat a ukládat trasy, kontrolovat zaplnění paměti a počet nepoužitých tras, nechat se navigovat zpět po prošlé trase. Nastavením ukládání prošlé trasy lze měnit chování přijímače v případě, že se zaplní paměť (přepis při zaplnění, neukládání při zaplnění či úplné vypnutí ukládání trasy) a měnit metodu ukládání. Trasy lze ukládat po specifikovaném časovém intervalu (u krátkého intervalu pozor na přeplnění paměti), po určité vzdálenosti, nebo automaticky (přístroj sám určí, kdy je zapotřebí zaznamenat bod. Je možné upřesnit, jak často se body budou zaznamenávat – od nejčastějšího záznamu po nejméně častý).

Při ukládání prošlé trasy se zaznamenávají body v intervalu, jaký byl nastaven. Pokud na stránce prošlých tras uložíme aktivní záznam, může se trasa zredukovat na menší počet bodů, průběh trasy bude odpovídat aktivnímu záznamu při vyhlazení některých detailů. Zda se trasa bude ukládat redukovane záleží na nastaveném intervalu záznamu dat (redukce při krátkém kroku záznamu) ale také na zaplnění paměti přístroje.

Při uživatelském zaznamenání bodu (waypoint) je možné průměrovat pozici, projektovat pozici – z azimutu a vzdálenosti, zaměřit a uložit, nebo přidat do trasy. Přístup k těmto bodům a do databáze objektů mapy pak máme pomocí stránky body v hlavní nabídce. Databázi pak můžeme procházet, vyhledávat nejbližší objekty,

zjišťovat podrobné informace o konkrétním prvku mapy či bodu, zobrazit ho na mapě nebo se k němu nechat navigovat.

Na stránce pro nastavení přístroje je možné měnit nastavení operačního režimu. Uživatel může vybírat mezi normálním režimem, úsporným režimem pro zvýšení životnosti baterií a simulačním režimem. V úsporném režimu je aktualizace navigačních dat (přepočítání pozice) pomalejší (u přístroje Geko 101 jedenkrát za pět vteřin oproti intervalu jedné vteřiny obvyklém v normálním režimu, GPS centrum, 2006), přístroj tak pomaleji reaguje na změnu směru či rychlosti pohybu. Výrazné je však snížení spotřeby energie.

Na stránce nastavení je dále možné zvolit, zda budou používány korekce WAAS/EGNOS, dobu podsvícení displeje (při nečinnosti přístroje po zadanou dobu bude podsvícení vypnuto), zvukové výstupy, nastavení výškoměru a magnetického kompasu, času, jednotek, souřadnicových systémů.

Změnou souřadnicového systému se mění pouze výstup na displeji, ne data pro přenos do počítače. Měnit můžeme formát souřadnic (zeměpisná šířka a délka ve stupních, stupních a minutách, stupních, minutách a vteřinách, pravouhlé souřadnice např. UTM (Universal Transverse Mercator), S42 obvyklý na českých turistických mapách v přístrojích nebývá definován, je nutné ho definovat uživatelsky) a elipsoid (implicitně nastaven WGS84, pokud chceme použít souřadnicový systém s jiným elipsoidem, je možné vybrat z řady dalších, nebo uživatelsky definovat).

Před přenosem dat do počítače je nutné nastavit komunikační protokol. Obvykle používáme formát GARMIN (u přístrojů této značky) – umožňuje oboustrannou výměnu uživatelských dat (tras, bodů, ...). Pro on-line komunikaci s počítačem použijeme formát NMEA.

Při práci s ručními GPS přijímači se setkáváme se třemi základními pojmy, označujícími uložení pozice. Nejjednodušší jsou body, waypoints. Jedná se o samostatné souřadnice jednoho místa, doplněné o další atributy (název, mapová značka a pod.). Jednotlivé přijímače se liší kapacitou paměti vyhrazenou pro body, Garmin GPSMAP 76 je schopen zaznamenat 1 000 bodů. Sérií jednotlivých bodů vznikají navigační trasy, route. Navigace po trase je realizována mezi jednotlivými body trasy vzdušnou čarou. GPSMAP 76 – 50 tras, každá až 175 lomových bodů. Při pohybu GPS přijímače jsou podle konkrétního nastavení ukládány souřadnice prošlé trasy, track. Ty lze využít pro detailní navigaci zpět po trase. Trasy uložené do aktivní paměti je možné pojmenovat a uložit. Aktivní paměť u přístroje GPSMAP 76 je na 10 000 záznamů (Garmin Česká republika, 2006).

7. Turistické značení

Pojem turistika bývá často používán jako synonymum pojmu cestovní ruch. Pro naše potřeby je však výstižnější definice turistiky jako „formy cestovního ruchu, jejíž podstatou je překonávání vzdáleností vlastními silami, ať už pěšky nebo dopravním prostředkem vlastními silami poháněným (kolo, kanoe).“ (Štěpanovská, 2003) Turistiku je možné rozdělit na organizovanou a individuální.

Turistika se ve velké většině případů provozuje po značených trasách. Garantem značení pěších, cyklo i lyžařských tras je Klub českých turistů (KČT). Vysoká úroveň turistické infrastruktury, sítě stezek a systému turistického značení zvyšuje únosnou turistickou zátěž regionu. V ČR bylo na konci roku 2002 celkem 38 500 km pěších tras, 19 000 km cyklotras a 1 240 km lyžařských tras, přičemž především počet cyklotras a cyklostezek každým rokem roste. Vyvěšeno je 54 711 směrovek a tabulek, 2 746 směrovníků a 1 590 vývěsných laminovaných map ve stojanech nebo rámech (Klub českých turistů, 2006a).

Zcela nově se v České republice budují jezdecké stezky pro jezdce na koních, po vzoru států Evropské unie bude jejich počet růst. Tyto stezky je třeba zaznamenat do map, nejlépe doplněné o další informace běžně neobsažené v mapách, ale zjistitelné terénním průzkumem, např. sjízdnost cest (obdobu nových cyklomap od SHOCartu), nebezpečné úseky se zaměřením na jízdu na koni, infrastruktura koňských stezek. Tyto stezky nejsou jako ostatní značené trasy budovány KČT, ale např. severomoravská jezdecká stezka Slavíč je zřizována obcemi Malenovice a Ostravice, provozovateli jsou Ranč M Vernířovice a horská chata Slavíč, přes něž stezka vede. Stezka má být v budoucnu značena dřevěnými směrovými tabulkami. Jezdecké stezky by měly probíhat územím celé republiky a spojovat se se stezkami na území sousedních států. Ideálním obdobím pro pohyb na jezdeckých stezkách je jaro a podzim, což by mělo prodloužit sezónu poskytovatelům služeb v okolí stezek, kteří jsou jinak obvykle odkázáni na letní a zimní turistickou sezónu.

Trasy pro pěší.

Nejpoužívanější jsou tzv. pásová značení, složená ze dvou krajních bílých pásů a prostředního barevného pásu. Používají se barvy červená, modrá, zelená a žlutá. Na mapách KČT vyznačena plnou čarou příslušné barvy.

Místní značka – čtverec složený z trojúhelníku bílé barvy a trojúhelníku v barvě značky. Na mapě značeny přerušovanou čarou.

Naučnou stezku provází značky bílých čtverců přeškrtnutých výhradně zelenou barvou. Na mapě čerchované.

Dále je možné se setkat s tzv. významovými značkami, vyskytujícími se na odbočkách z hlavní trasy. V mapě plnou čarou příslušné barvy.

Cyklotrasy.

Cyklistické značení se od pěšího liší větší velikostí a náhradou bílé barvy za žlutou u pásového značení. U cyklotras se velmi často setkáváme také se značením pomocí návěstí před křižovatkou a směrových tabulí. Při shodě s průběhem značky pro pěší je použita pouze cyklosměrovka a značka pro pěší turistiku. Na mapě KČT jsou cyklotrasy zakresleny párem dutých koleček příslušné barvy.

Lyžařské trasy.

Pro pásové značení je použita oranžová barva pro krajní pásy značky. Pokud je trasa v délce mezi dvěma informačními místy totožná s trasou pro pěší, je taková trasa značena pouze značkami pro pěší, informace o průběhu lyžařské trasy se uvede na směrovkách pěšiči značení. V mapách KČT je lyžařská trasa značena plnými kolečky v příslušné barvě.

Všechny turistické trasy jsou zakresleny v turistických mapách edice KČT. Trasy jsou zakreslovány do starých podkladů, jejich polohová přesnost je závislá na kvalitě tohoto podkladu.

V některých terénech se turistické značení realizuje na kamenném povrchu země. Toto značení je však omezující pro použití v zimě za sněhové pokrývky. Proto se v bezlesích krajinách používá tyčové značení. To umožňuje při špatné viditelnosti bezpečný pohyb po stezce pro skupinu turistů, jednotlivce při snížené viditelnosti v těchto oblastech, nebo jednotlivce i skupina v lesním porostu za podobných podmínek však nemají mnoho možností při využití klasické navigace. Při použití GPS přijímače v kombinaci s kvalitní mapou je možná bezpečná navigace i v těchto podmínkách.

Podle výzkumu Štěpanovské (2003) preferují dvě třetiny turistů přírodní turistické stezky bez zpevnění šterkem nebo asfaltem: „Součástí kvalitních stezek musí být také jasný systém turistického značení, neboť podle výzkumu 90 % pěšiči turistů považuje matoucí značení za velkou překážku. Na této skutečnosti se významně podílí fakt, že mladší generace neumí příliš zacházet s mapou a zcela ojediněle umí využít kompas.“

Tato fakta nahrávají GPS přijímačům jako prostředkům pro navigaci i pro mapování. Skutečnost, že turisté upřednostňují přírodní stezky, vede k rozsáhlejšímu budování těchto stezek. Ty je samozřejmě nutné zanést do map, kde však chybí pěšiny, po nichž tyto stezky vedou, stejně tak nejsou čitelné na leteckých a družicových snímcích. Zákres proto bývá pouze přibližný a pro potřeby masivně se rozvíjejícího využití GPS přijímačů pro navigaci naprosto nedostačující. Řešením by bylo využití samotného GPS přijímače pro mapování turistických tras.

8. Mapy používané s GPS přijímači

GPS přijímače je samozřejmě možné používat i bez map, pro plné využití funkcí přijímače se však užití map nevyhne.

V mapových GPS přijímačích jsou pevně instalovány základní přehledové, tzv. base mapy. Další mapy je možné dokoupit a do přijímače dle typu přístroje a velikosti paměti dohrávat. Použít je možné i mapy v papírové podobě.

Na trhu jsou k dispozici jak mapy topografické, tak tematické. Mapy do GPS jsou většinou tematické se silniční a uliční sítí, letecké, námořní či turistické.

Tato práce se přednostně věnuje mapám turistickým, avšak velkou část informací v této kapitole je možné aplikovat na všechny typy map.

Všechny přijímače je možné používat ve spolupráci s klasickými papírovými mapami dle vlastního výběru. Mapy by měly být opatřeny sítí souřadnic v souřadném systému, který použitý GPS přijímač zná, nebo který je uživatel schopen definovat. Některé turistické mapy nemají síť souřadnic, ale pouze na okrajích značky souřadnic (případná síť se vztahuje ke kilometrové síti, která nutně nemusí být v souřadném systému, mívá pouze orientační význam). Pro účelné použití mapy v kombinaci s GPS přijímačem je zapotřebí pomocí značek souřadnic vytvořit vlastní síť. Pokud mapa nemá ani značky se souřadnicemi, je možné (v případě, že známe souřadnicový systém mapy) zaměřit v terénu body identifikovatelné na mapě a podle přiřazených souřadnic pak na mapě vytvořit souřadnicovou síť. Takto získaná síť není příliš přesná a je vhodná pouze pro hrubé orientační použití mapového podkladu. Po narýsování sítě je možné z mapy odečítat souřadnice bodů, zadávat je ručně do GPS přijímače jako body (waypoint) nebo lomové body trasy (route). Naopak podle uložených souřadnic bodů či prošlé trasy je možné sledovat pohyb přijímače nad mapou.

Práce s papírovou mapou je však značně nepohodlná a nevyužívá zdaleka všech možností, které GPS přijímače dnes běžně nabízejí (jen u nejlevnějších typů je tento způsob jedinou možností spolupráce GPS přijímače s mapou).

Jinou možností je využití digitálních map. NAVSTAR GPS, User Equipment Introduction (1996) dělí digitální mapy na „digitalizované“ papírové mapy, digitální databázové mapy a mapy hybridní.

Digitalizované papírové mapy jsou vyrobeny s pomocí optické čtečky, která „čte“ informaci z papírové mapy, digitalizuje ji a ukládá do databáze a poté ji zobrazuje na monitoru počítače. Mapy mohou být uloženy ve formě rastrové nebo vektorové. Takovýmto způsobem vznikla většina běžně známých digitálních map.

Digitální databázové mapy prezentují polohová data z databáze, kam byly všechny polohové souřadnice sebrány během měření. Tyto informace jsou mnohem přesnější a obsahují třírozměrná polohová data pro každý bod mapy. Digitální mapy jsou často použity v kombinaci s digitalizovanými papírovými mapami, čímž se zvýší přesnost lokalizace speciálních jevů a objektů (např. silnice, budovy), ale s mapovými prvky, které nebyly změřeny v terénu, se nemanipuluje. Takto vzniká např. česká turistická mapa určená pro GPS, TOPO50.

Hybridní mapy vznikají kombinací předchozích typů map. Polohové souřadnice, které byly sebrány během mapování, jsou použity pro adjustování souřadnic papírové mapy. Papírová mapa tak může plošně zvýšit svou přesnost, stále však nebude dosahovat přesnosti digitálních map. Zvýšení přesnosti závisí např. na počtu lícovacích bodů a jejich přesnosti.

Skenování papírových map je nejjednodušší způsob získání mapy, která bude za pomoci speciálních softwarů (např. velmi oblíbený OziExplorer) spolupracovat s GPS přijímačem. V PDA spolupracujícím s GPS modulem může být mapa použita jako podklad a pohyb GPS přijímače je pak sledován přímo nad mapou. Kompaktní přístroje s rastrovými mapami nepracují, uživatel tak pouze umožňují obdobnou práci jako při použití papírové mapy s podstatným zjednodušením a ulehčením práce, protože software sám odečítá polohy jednotlivých bodů, může je zaznamenat a přenést do GPS přijímače (pro přenos je zapotřebí, aby data byla v systému WGS84).

Rastrové digitální mapy lze zakoupit na magnetickém nosiči od kartografické firmy. Mají vzhled papírových map, mohou být velmi podrobné při zachování stejné velikosti dat, rychle se zobrazují. Nevýhodou je právě značná velikost dat (závislá na kvalitě rozlišení), nemožnost aktivního zoomu (pokud bychom se změnou velikosti výřezu, změnou „měřítka“, chtěli změnit i počet a velikost mapových prvků, bylo by zapotřebí použít pro různé velikosti výřezů různé verze mapy), nemožnost optimalizace trasy a vyhledávání objektů mapy z databáze. Navigace je možná pouze po uživatelsky zadaných bodech, při odbočení z trasy přístroj trasu nepřepočítá. Mapu není možné měnit při natáčení ve směru pohybu, např. nápisy se tak mohou stát nečitelné. Pro území České republiky jsou k dispozici mimo jiné mapy v měřítku 1:50 000 od firmy SHOCart a Klubu českých turistů. Mapy lze zakoupit po jednotlivých listech nebo pro celou republiku.

Jedinou možností, jak na displeji kompaktního GPS přijímače zobrazit mapu, je použití vektorové digitální mapy. Tyto mapy mají jednodušší mapový obsah, což ovlivňuje celkový vzhled mapy. Jednoduchost je vynucena nutností vypočítat kresbu při zobrazování, což vede k pomalému načítání mapy. U tohoto typu map je možné dynamicky měnit obsah mapy podle zvoleného „měřítka“ nebo určením jak podrobný obsah mapy má být zobrazován, zobrazení mapových vrstev může být závislé na zvětšení mapy, uživatel může nastavit výběrové filtry (např. vypnout zobrazení rybníků). Mapy umožňují logický i prostorový výběr jednotlivých mapových prvků a optimalizaci trasy (výběr nejkratší či nejrychlejší trasy podle zadaného počátečního, cílového, příp. mezilehlého bodu, přepočítání trasy v okamžiku odbočení z vypočítané trasy), která se může stát velmi užitečnou funkcí pro použití v autě či na kole. Pro české území jsou k dostání mapy letecké, turistické, atlas ČR, volně k dispozici jsou mapy vrstevnic pro celou republiku, mapa základní silniční a vodní sítě a obrysů zástavby.

I když pro použití mapy v kombinaci s GPS přijímačem upřednostňujeme mapy v digitální podobě, papírové hrají nezastupitelnou úlohu jako rezerva pro případ selhání GPS přijímače. Je totiž zapotřebí mít neustále na paměti, že GPS přijímače pouze pomáhají při orientaci, nelze je používat jako jedinou navigační pomůcku. Přijímač se může rozbít např. nárazem o skálu, může se do něj dostat vlhkost a on nebude fungovat, v místě budou tak špatné podmínky pro příjem signálu, že nebude možné určit pozici, mohou dojít baterie, americká vláda nechá do satelitního signálu zanést SA. Není proto dobré spoléhat se na jediný možný způsob navigace, proto budou i nadále papírové mapy vždy důležitou součástí vybavení turistů.

Přesnost map je dána přesností zdroje polohových dat. Pokud budeme používat skenované mapy, musíme počítat s chybou původní mapy zvýšenou o nepřesnosti vzniklé při procesu digitalizace. I nově vydávané mapy jsou založeny na topografických podkladech často starých i několik desetiletí, aktuální bývají přidáné informace jako

např. čísla silnic, cyklotrasy, nově vystavěné budovy apod. Přesnost těchto map dostačuje pro klasické použití, protože mapový obsah má poměrně dobrou relativní přesnost. Pokud ovšem máme GPS přijímač, který nám ukazuje absolutní polohu objektů a jevů, pak při zobrazení naměřených dat nad mapovými podklady dochází k rozporům v pozicích jednotlivých prvků. Tyto nepřesnosti se liší také v závislosti na typu porovnávaného jevu či objektu. Vyšší přesnosti dosahuje zakres zástavby, silniční sítě, apod., naopak např. u lesních cest jsou běžné odchylky v desítkách metrů. Je to dáno omezeními fotogrammetrie jako nejběžnější mapovací metody u map středních až malých měřítek.

Problém přesnosti podkladových map samozřejmě není jen českou záležitostí. V mnoha zemích mapy rozsáhlých území teprve vznikají, nejsou k dispozici ani historické podklady. Ale i ve vyspělých zemích s poměrně dlouhou tradicí tvorby map, v zemích, kde se GPS přijímače používají pro navigaci nepoměrně delší dobu než v Česku, mohou mapy vykazovat poměrně významné chyby. Harrelson et al. (2003) uvádí, že mapy do 100 USD jsou poměrně špatné. Dobré mapy jsou k dostání za 200 USD a více, jejich přesnost se liší podle oblastí. Běžně se vyskytují chyby 50-100 stop (~16-33 m), neobvyklé však nejsou ani chyby velké 300 stop (~100 m). Autoři předpokládají, že perfektní mapy, vzniklé mapováním s pomocí GPS přijímačů, by mohly být dostupné do deseti let.

U moderních map se na polohovou přesnost klade mnohem větší důraz, vznikají databáze jevů a objektů mapovaných přímo v terénu. Tyto databáze jsou však záležitostí posledních málo let, jsou tedy omezeného rozsahu, a data je zapotřebí kombinovat s již existujícími mapovými podklady.

9. Mapování pomocí ručních GPS přijímačů

S rozvojem a masovým užitím GPS přijímačů v mnoha oborech lidské činnosti je stále více kladen důraz na absolutní přesnost map, s nimiž tyto přístroje spolupracují. Mapování se provádí fotogrammetricky, geodeticky, ale také s pomocí samotných GPS přijímačů. Poslední dvě metody sice vyžadují přítomnost mapáře přímo v terénu, na druhou stranu umožňují spolehlivé rozpoznání objektů a jevů, které mohou být na leteckých či družicových snímcích těžko identifikovatelné, poskytují data i z oblastí na snímcích zastíněných z důvodu šikmého snímání.

Cena kvalitních GPS přijímačů v posledních letech značně klesla a mapování s nimi může být za určitých okolností významně levnější než jiné metody. Mapování s GPS se bohužel uplatňuje pouze v otevřených nebo jen částečně zastíněných oblastech, kde sice GPS přijímače poskytují velmi spolehlivá data, tyto oblasti jsou však víceméně mapovatelné i jinými způsoby. Největší předností GPS, a to získání dat i ze zalesněných oblastí, kde fotogrammetrie selhává, je stále nevyužita, protože ani GPS přijímače v těchto oblastech neposkytují zcela spolehlivá data. Také pohyb v těchto oblastech je ztížen, nestačí pouze sednout do auta a projet trasu s GPS přijímačem umístěným za předním sklem, ale obvykle je nutný pěší přesun uživatele GPS přijímače.

Na druhou stranu jsou data z těchto oblastí pro turisty velmi cenná, protože jim mohou umožnit orientaci v neznámém terénu po orientačně náročnějších, zato turisticky mnohem atraktivnějších trasách, které si mohou alespoň částečně volit dle svých potřeb, nejsou odkázáni na kvalitu turistického značení ani na vlastní schopnosti orientace podle papírové mapy. Pokud by došlo k masovému rozšíření GPS přijímačů, mohla by si Česká republika udržet dnešní hustou síť turistických tras za mnohem nižších nákladů na jejich údržbu. U některých méně frekventovaných tras by bylo možné přestat s kresbou orientačního značení a turistům pouze prostřednictvím map do GPS přijímačů poskytovat informace o možnosti využití této trasy. Tento způsob „údržby“ turistických tras předpokládá částečnou změnu chování českého turisty, zvyklého spoléhat pouze na turistické značení.

Jelikož GPS přijímače nejsou bezchybné, je zapotřebí mít při jejich využívání možnost navigace alternativním způsobem (podle mapy). Ostatně navigace v terénu bez mapy je česká specialita, která ve světě nemá obdoby. V jiných státech je mapa základní potřebou každého turisty, ať už je využívána pro přehled o okolí, jako alternativní navigace pro případ, že turistické značení z jakéhokoli důvodu zmizí (polom, vyblednutí značení vlivem povětrnostních podmínek), nebo pro nalezení jiné trasy pro ústup z hor, kdy není možné např. kvůli počasí či fyzickému stavu turisty pokračovat dále.

Co se týče prací zabývajících se možnostmi mapování s GPS přijímači, setkáváme se obvykle s testováním přesnosti turistických přijímačů při bodovém zaměřování polohy, méně jsou porovnávány prošlé trasy (pouze vizuální porovnání), někdy se autoři věnují i jiným vlastnostem, které by měly GPS přijímače splňovat, pokud mají být použity na terénní mapování.

Nejlepší dostupná práce tohoto zaměření je pravděpodobně diplomová práce Pavla Tesaře z roku 2001, Použití ručních GPS pro mapování. Autor provedl geodetické zaměření vybraných bodů a poté zde testoval vždy dvojici ručních GPS přijímačů. Souřadnice bodů byly průměrovány, nejčastěji po dobu jedné minuty. Po stažení do počítače byly souřadnice bodů transformovány do systému JTSK a porovnány s přesnými souřadnicemi. Měření byla prováděna na polních i lesních cestách. Ve výsledku byly určeny třídy četnosti polohových chyb, ve třídě do deseti metrů bylo zaznamenáno v průměru necelých šedesát procent měření, devadesáti pěti procentní četnost byla dosažena na hodnotě 25 m, přičemž chyby měření na

otevřeném prostranství byly v 97 % menší než 15 m. Poté autor s jedním GPS přijímačem zmapoval ve vybrané lokalitě cesty vhodné pro mapu měřítka 1:50 000 a výsledek porovnal s mapou Klubu českých turistů. Na několika místech testovacího území se měření výrazně lišilo od předlohy, autor však konstatuje, že není možné určit, zda to byla chyba měření či podkladové mapy.

Autor nezjistil žádný vztah mezi udávanou EPE a výslednou přesností.

V závěru autor konstatuje, že je možné ruční GPS přijímače použít pro tvorbu či aktualizaci map 1:50 000, neboť 95 % všech měření bylo pod hranicí 25 m, což znamená 0,5 mm ve výsledné mapě. Autor zároveň tvrdí, že automatický způsob ukládání je vhodný pouze pro méně podrobná měřítka a pro přesnější mapy je zapotřebí použít co nejpodrobnější záznam trasy s ohledem na zaplnění paměti.

Další příklad práce, která je použitelná pro hodnocení využití GPS přijímačů pro mapování, je zveřejněna na internetových stránkách eTrex vs. Sportrak (2006). Autor zde porovnává přístroje Sportrak Map (Magellan) a eTrex Legend (Garmin). Oba přístroje mají své klady i zápory, přesto autor upřednostňuje Legend především pro jeho velikost, schopnost záznamu tras, informace zobrazené během pohybu, rozlišení displeje a mapy, které jsou pro tento typ přijímačů k dispozici. Autor provedl testování vodě-odolnosti a zjistil, že ani jeden z přístrojů nebyl vodou poškozen. Do Legendu však voda natekla do oblasti baterií, u Sportraku zase zůstala ještě několik dní po testování za tlačítka. V ani jednom případě však neměla vliv na fungování přístroje. Výhodou Sportraku je schopnost plovat u hladiny s anténou asi 1,5 cm nad vodu.

Při samotném testování přesnosti v učení pozice byly oba přístroje bez externí antény, drženy v ruce, Legend byl nastaven na více detailní záznam dat. S přístroji byla prošlá trasa pouze tam a zpět. Přístroje byly testovány za dobrých podmínek pro příjem satelitů v nezalesněném terénu. Zde vykazovaly oba přístroje velmi dobrou shodu v měřené pozici. Poté byly přístroje testovány v zalesněném terénu, při příjmu 4 – 6 satelitů. Zde již přijímače vykazovaly evidentně významné rozdíly, které však nebyly nijak kvantifikovány. Při měření ukazoval Legend horší příjem satelitů a větší předpokládanou chybu, ve výsledku jsou však oba záznamy prošlé trasy poměrně shodné. Naopak Sportrak, udávající kvalitní příjem, vykazuje ve výsledku značné odchylky jak od trasy měřené Legendem, tak i mezi oběma trasami měřenými Sportrakem. Autor konstatuje, že po zastavení potřebuje přijímač dvě až pět minut, aby naměřil správnou pozici. Při hodně špatných podmínkách nahlásí Legend ztrátu signálu, Sportrak ve stejných podmínkách začne ukazovat chyby v řádu stovek metrů.

Na stránkách GPS – Accuracy nalezneme výsledky třicetidenního měření, které bylo provedeno červnu 2001 pomocí přijímače Garmin GPSMAP 76 se záznamem dat po třiceti vteřinách. V 50 % měření bylo dosaženo horizontální přesnosti do 3,1 m, v 95 % měření 7,7 m. Stránky uvádí, že není žádná korelace mezi horizontální chybou a HDOP, stejně jako mezi vertikální chybou a VDOP. V mnoha případech jsou nízké hodnoty DOP spojeny s měřením zatíženým velkými chybami a naopak.

Bain (2006c) testoval několik GPS přijímačů umístěných v autě při průjezdu ulicemi města, výsledky pak zobrazil nad mapou. Autor konstatuje, že testování v terénu má několik úskalí. Pokud jsou přijímače umístěny vedle sebe, mohou se navzájem ovlivňovat, nevýhodou je také fakt, že je nelze umístit na jedno místo. Postupný test je zase znevýhodněn časovými změnami signálu.

Wormley (2006) uvádí návod, jak získat odhad přesnosti konkrétního GPS přijímače.

1. vybrat vhodné místo s volný výhledem

2. zaznamenat UTM souřadnice
3. vykreslit graf souřadnic
4. opakovat body 2 a 3 v různých dobách

Z grafu lze pak vyčíst, jakých odchylek měření dosahovalo, je možné odhadnout četnost, s níž bylo měření provedeno do určité přesnosti. Ani přesný výpočet hodnot odchylek a jejich četností není pro porovnání měřených bodů složitý.

Guldan (2002) se zaměřuje především na základní popis práce s turistickým GPS přijímačem a následné zpracování měření v počítači se zaměřením na využití při mapování turistických značených tras. Pro ukládání tras a bodů rozlišuje turistické informační místo, záchytný bod a významný bod. Publikace uvádí způsob pojmenování tras i označení jednotlivých bodů v závislosti na typu bodu, jeho charakteristikách a oblasti, v níž se nachází.

Za zmínku jistě stojí i Testování metody RTK na VUT v Brně (Bureš et al., 2006). Jak již název napovídá, jedná se o měření s geodetickými přijímači a aplikacemi. Význam pro testování ručních GPS přijímačů tak nemají samotné výsledky měření, ale způsob vyhodnocení výsledků. Pro analýzu přesnosti měření RTK bylo použito několika metod: analýza rozdělení pravděpodobnosti (histogram četností, střední hodnota, směrodatná odchylka, statistické testy), analýza vzájemné závislosti intervalů výsledků měření RTK (detekce nenáhodnosti v datech – autokorelační funkce), analýza homogenity souboru (testována rovnost dvou výběrových variací a rovnost dvou výběrových středních hodnot z intervalů stejného rozsahu). Na závěr autoři konstatují, že díky možnostem dalšího nastavení (např. různých modelů ionosféry, troposféry, strategiemi řešení ambiguit, ...) lze při postprocessingu dosáhnout vyšší přesnosti v určení polohy než při RTK. „Zvýšení přesnosti a spolehlivosti výsledků měření je možné docílit používáním délky vektorů do cca 10 km.“

10. Měření pomocí GPS přijímačů a postupy porovnání získaných dat

10.1 Používané GPS přijímače, rozdílné způsoby záznamu dat

Pro práci byly použity dva ruční GPS přijímače od firmy Garmin, GPSmap 76S a GPSmap 60Cx.

Přijímač GPSmap 76S má zabudován barometrický výškoměr a elektromagnetický kompas. Pro potřeby mapování může být užitečný kompas, díky kterému můžeme snadno zaměřit i objekty, na kterých není možné z jakéhokoli důvodu pozorovat. Na druhou stranu přidaná čidla zvyšují spotřebu baterií. Přístroj má velký, černobílý displej, někteří uživatelé však přijímač pro jeho velikost hodnotí jako nevhodný pro turistiku nebo nošení v kapse. Pro účely mapování je důležitá přesnost měření a přehlednost displeje, komfort uživatele je zde až v druhé řadě. Přijímač je kompatibilní s WAAS/EGNOS. Paměť vystačí na 1000 waypointů, 10 000 záznamů aktivní trasy, pro uložení je možné použít 10 tras. Cena přijímače je 13 995 Kč.

Součástí přijímače GPSmap 60Cx je čip SiRFstarIII, zvyšující citlivost přístroje. Přijímač má barevný displej, díky nepřítomnosti přídavných čidel (barometrického výškoměru a elektromagnetického kompasu) má vyšší výdrž baterií než GPSmap 76S. Velikost displejů je u obou přijímačů stejná, GPSmap 60Cx je však díky designu vhodnější pro použití v ruce. Přijímač je kompatibilní s WAAS/EGNOS. Paměť vystačí na 500 waypointů, 10 000 záznamů aktivní trasy, pro uložení je možné použít 20 tras. Cena přijímače je 18 500 Kč. Součástí obou přístrojů je tyčková, helix anténa.

Data z ručních GPS přijímačů byla zpracovávána softwarem MapSource v. 6.10.2, upravována pomocí programu Microsoft Excel. Porovnání bylo provedeno vlastním programem Porovnání vytvořeným v softwaru Matlab v. 6.0.0.88.

Konstelace satelitů byla zjišťována pomocí softwaru Planning. Program je volně k dispozici na internetu (www.trimble.com).

Pro vizualizaci dat z okolí obce Vidnava byl použit program OCAD.

Referenční trasy byly získány geodetickým GPS přijímačem HiPer-GGD s kontrolérem FC-1000 od firmy Topcon.

HiPer-GGD je dvoufrekvenční RTK GPS+GLONASS systém. Obsahuje čip Paradigm se čtyřiceti kanály (umožňuje dvoufrekvenčně sledovat až dvacet satelitů). Díky zpracování signálu a redukci vedlejších odrazů je tento přijímač schopen velmi dobře měřit i pod korunami stromů a při příjmu slabého a nestabilního signálu. Při práci byly použity pouze satelity GPS.

Data z geodetické GPS aparatury byla upravena v programu Excel. Transformace souřadnic z WGS84 do UTM byla provedena v programu GPS Utility.

Pro práci byl používán počítač AMD Athlon 2500.

Pro hrubou orientaci v oblastech měření a vizualizaci dat byla použita mapa TOPO50, pro srovnání tras v oblasti Vidnavska mapa pro orientační běh Venušiny misky, východ.

Jednotlivá měření probíhala zpočátku jedním GPS přijímačem, GPSmap 76S, později vždy oběma přijímači zároveň (GPSmap 76S a GPSmap 60Cx). Při měření jedné trasy či bodu více přijímači je možné měřit paralelně se všemi přijímači nebo

postupně vždy s jedním přijímačem. Při paralelním měření je nebezpečí vzájemného ovlivnění přijímačů, nevýhodou je také nemožnost umístit přijímače na zcela stejné místo. Při postupném testu je každé měření prováděno za poněkud odlišných podmínek konstelace satelitů. Pro tuto práci byl vybrán paralelní způsob měření. Rozdíly v umístění přijímačů jsou i mezi jednotlivými měřeními, velikost rozdílů je však vzhledem k přesnosti měření ručních GPS přijímačů zanedbatelná. Přístroje byly drženy před tělem, ve výšce asi 120 -130 cm nad zemí, vzájemná vzdálenost byla přibližně 20 cm. Díky paralelnímu měření mohly být porovnány rozdíly v přesnosti určení polohy v závislosti na konstelaci satelitů a je tak možné zjistit, jak který přijímač reaguje na zhoršené podmínky a za jakých podmínek je možné jej použít pro důvěryhodná měření.

S přijímačem GPSmap 76S byla provedena měření s externí anténou upevněnou na rameni uživatele na popruhu batohu, samotný přijímač byl nesen v ruce nebo v kapse.

Část měření byla provedena při jízdě na kole, přijímače byly přitom umístěny na zádech cyklisty na batohu.

Měření byla prováděna s různými intervaly záznamu. U automatického záznamu byly postupně voleny všechny nabízené intervaly (nejčastější, častější, normální, méně častý, nejméně častý). Nastavení podle času bylo voleno s těmito kroky záznamu: 2 sec, 10 sec, 20 sec, 30 sec, 45 sec. Nastavení podle prošlé vzdálenosti nebylo testováno, jelikož odpovídá nastavení podle času (liší se v závislosti na rychlosti pohybu).

Rychlost pohybu byla přibližně 6 km/hod, při testování reakce přijímače na nízkou rychlost pohybu byla zvolena rychlost mezi 2 – 3 km/hod.

Část měření byla provedena se zapnutým příjmem korekcí EGNOS.

Po získání programu Planning byla měření plánována tak, aby byla část měření provedena v nejlepších podmínkách dne, část v nejhorších.

U způsobů záznamu, kdy se liší uložená trasa od aktivní, jsou porovnávány oba způsoby uložení.

S geodetickým GPS přijímačem HiPer-GGD bylo měřeno s použitím korekcí sítě CZEPOS (korekce RTCM 3.2 ze šumperské stanice).

10.2 Výběr a popis tras měřených tras

První měření s GPSmap 76S byla provedena v oblasti mezi městem Šumperk a Městskými skalami. Pro srovnávací měření, provedené přijímači GPSmap 76S a GPSmap 60Cx byl poté vybrán 2,4 km dlouhý úsek, začínající na okraji města Šumperk, vedoucí přes les k osadě Nové Domky. Na této trase bylo měřeno v období od 23.3.2006 do 13.4.2006. Zpočátku na trase místy ležel sníh, stromy byly po celou dobu měření bez listů.

Na této trase byly testovány rozdílné intervaly záznamu tras. Byly zjišťovány velikosti chyb v měření GPS přijímačem v různém prostředí. Dále byly určeny odchylky mezi měřeními s externí anténou a bez ní, a také rozdíly v kvalitě záznamu trasy podle použitých GPS přijímačů.

Trasa byla podle prostředí rozdělena na pět úseků, které je možné porovnávat zvlášť a určit tak, jaké přesnosti dosahují přijímače v rozdílných podmínkách.

První úsek vede po asfaltové silnici na pokraji zástavky nízkých rodinných domků, na druhém okraji silnice začíná pole. V první půlce úseku se podél silnice

vyskytují rozptýleně vysoké stromy s hustou korunou. Úsek je v rovinném terénu. Měřeno bylo v západní části silnice a na západním chodníku.

Druhá část trasy vede opět po asfaltové silnici, mezi poli, na okrajích silnice rostou středně vysoké stromy, jejichž koruny nezasahují nad silnici. Trasa vede mírně do kopce omezujícího výhled na východ. Měřeno v severní části silnice.

Třetí část trasy vede po polní cestě s lesem na východní straně. Vysoké listnaté stromy zasahují místy nad cestu. V druhé půlce trasy se objevují nízké stromy a keře i na polní straně cesty. První část úseku vede do kopce, omezený výhled na sever, druhá část úseku z kopce, omezený výhled na jih. Měřeno po středu cesty.

Čtvrtá část trasy vede již kompletně lesem, po relativně úzké pěšině. Hustý porost vysokých stromů zhoršuje příjem signálu. První dvě třetiny úseku vedou do poměrně prudkého kopce směrem na severozápad, poslední třetina mírně z kopce stejným směrem. Měřeno po středu cesty.

Poslední část trasy vede po zpevněné lesní cestě ve vysokém lesní porostu. Širší cesta umožňuje lepší výhled na oblohu. Trasa vede nejprve do kopce na severozápad, později stejným směrem z kopce. Jisté omezení v jihovýchodním směru přináší kopec a vysoký porost v první části úseku. Měřeno po středu cesty.

Na předělech jednotlivých úseků byly během měření tras zaměřovány body. Celkem bylo zaměřeno sedm bodů (na začátku a konci prvního úseku, na začátku druhého úseku – od předchozího bodu oddělen silnicí, jejíž přechod není zahrnut do hodnocení tras, na předělech druhého a třetího úseku, třetího a čtvrtého, čtvrtého a pátého, a na konci pátého úseku).

Další měření bylo provedeno ve dnech 15. a 16.4.2006 během klasifikace mapy pro orientační běh pro použití pro orientační jízdu na horských kolech mezi obcemi Vidnava a Černá Voda na Jesenicku. Oblast byla projížďena na kole po cestách a pěšinách, na každé cestě bylo zastaveno pro zakres s jízdnosti cesty do mapy. Oba přijímače byly umístěny na batohu cyklisty, takže během jízdy měly dobrý výhled na oblohu. Byl použit automatický nejčastější záznam. Toto měření prověřilo možnost použití GPS přijímačů v reálných podmínkách, během jízdy na kole, kdy je zapotřebí se vyrovnat s vyšší rychlostí pohybu po trase a s jiným umístěním antény přijímače.

Jako další trasa pro srovnání byla vybrána asfaltová cesta kolem horní nádrže přečerpávací elektrárny Dlouhé stráně. Tato trasa byla vybrána pro testování kvality příjmu a tím i přesnosti měření v závislosti na orientaci okolních svahů, které ovlivňují, ze které světové strany bude umožněn příjem GPS signálu.

Trasa má oválný obrys a vede přibližně třicet výškových metrů pod vrcholem, čímž dochází k postupnému zastínění výhledu k jednotlivým světovým stranám. Na druhou stranu je ovšem umožněn příjem signálů ze satelitů, které jsou prakticky pod obzorem. Po celé délce trasy se nevyskytuje žádný porost ani jiné objekty kromě samotného kopce, které by bránily příjmu. Srovnání tedy může být provedeno s ohledem na směr výhledu bez ovlivnění rozdílnými charakteristikami porostu, které by hrozilo v případě provádění měření po obvodu jiných, obvykle zalesněných kopců. Přijímače byly během měření umístěny na batohu cyklisty. Pohyb na kole umožnil poměrně rychlé absolvování trasy, takže změny v konstelaci satelitů, které nastaly během jednoho měření, mohou být zanedbány. Měřeno bylo za dobrých i špatných podmínek podle programu Planning, použit byl automatický nejčastější interval záznamu a interval dvou vteřin. Měření proběhlo dne 16.6.2006.

Další trasa byla měřena na jižním svahu kopce Háj v blízkosti Šumperka. Trasa vedoucí ve vysokém lese dobře reprezentuje části turistických tras náročných na příjem GPS signálu. Časté zatáčky způsobují, že špatný příjem GPS přijímače se projeví i na přesnosti měření trasy (narozdíl od rovinných úseků, kde přijímač může i při nedostatečném počtu signálů udržovat směr trasy a nekvalitní příjem se na zaměřené trase nemusí projevit).

Trasa vede po zpevněné cestě ve vysokém lese, délka 0,4 km. Trasa má východo-západní směr. Na trase je několik zatáček, proto je možné posoudit, jak se přijímače vyrovnávají se změnou směru. Měření bylo provedeno ve dnech 4. – 6. července 2006.

10.3 Jak byly měřeny jednotlivé záznamy

V tabulce č. 1 jsou uvedena jednotlivá měření na trase Šumperk – Nové Domky spolu s použitým režimem záznamu, poznámkou, zda byla při měření použita externí anténa a s hodnocením podmínek pro příjem GPS signálu podle programu Planning.

Podle ústního sdělení ing. Rybáře byly během měření 51., 52. velmi špatné podmínky. Tomu odpovídají i udávané hodnoty EPE během měření i konstelace satelitů na stránce satelitů u GPS přijímačů. Program Planning však pro toto období ukazuje hodnoty DOP okolo dvou.

Od čtyřicátého prvního měření bylo paralelně měřeno s druhým přijímačem GPSmap 60Cx bez požití externí antény (nastavení záznamu uvedeno v tabulce 2, datum měření a podmínky pro příjem signálu jsou uvedeny v tabulce 1).

Zaměření jednotlivých bodů na předělech úseků trasy bylo provedeno s přijímačem GPSmap 76S při záznamu tras 1 – 38, s přijímačem GPSmap 60Cx během všech dvanácti měření. Stejně body byly zaměřeny pomocí geodetické GPS aparatury. Toto měření bylo použito pro zjištění přesnosti v určení polohy pomocí ručních GPS přijímačů.

Během měření u obce Vidnava byl použit nejčastější interval automatického záznamu.

První tři měření na Dlouhých stránkách byla provedena v nejčastějším automatickém intervalu záznamu, dalších šest v intervalu dvou vteřin. Prvních šest měření proběhlo podle programu Planning za velmi dobrých podmínek pro příjem GPS signálu, poslední tři měření za podmínek velmi špatných. Korekce EGNOS nebyly použity a rychlost pohybu byla v průměru 15 km/hod.

Tab. 1.: Měření na trase Šumperk – Nové Domky, přijímač GPSmap 76S

Číslo záznamu	Datum	Nastavení záznamu	Externí anténa	Podmínky podle Planning
1. – 4.	23.3.2006	Automatický záznam, normální interval	Ano	Špatné
5. – 7.	24.3.2006	Automatický záznam, normální interval	Ne	Dobré
8. – 10.	24.3.2006	Neznámé	Ne	Dobré
11. – 12.	29.3.2006	Čas – po 10 sec	Ne	Zpočátku špatné, pak dobré
13. – 14.	29.3.2006	Čas – po 30 sec	Ne	Dobré
15.	30.3.2006	Čas – po 30 sec	Ne	Dobré
16.	30.3.2006	Čas – po 10 sec	Ne	Dobré
17. – 18.	30.3.2006	Čas – po 20 sec	Ne	Dobré
19.	3.4.2006	Čas – po 20 sec	Ne	Dobré
20.	3.4.2006	Čas – po 45 sec	Ne	Dobré
21. – 22.	4.4.2006	Čas – po 45 sec	Ne	Dobré
23.	4.4.2006	Automatický záznam, nejméně často	Ne	Špatné
24.	4.4.2006	Čas – po 2 sec	Ne	Špatné
25. – 26.	4.4.2006	Automatický záznam, nejméně často	Ne	25. – dobré, 26. - špatné
27. – 29.	4.4.2006	Automatický záznam, málo často	Ne	Špatné
30.	4.4.2006	Čas – po 2 sec	Ne	Špatné
31. – 33.	5.4.2006	Automatický záznam, častěji	Ne	Dobré
34.	5.4.2006	Čas – po 2 sec	Ne	Dobré
35. – 37.	6.4.2006	Automatický záznam, nejvíce často	Ne	Dobré
38.	6.4.2006	Čas – po 2 sec	Ne	Dobré
39. – 40.	9.4.2006	Čas – po 5 sec (častá zastavení, paralelní měření s geodetickou GPS)	Ano	Dobré
41. – 43.	11.4.2006	Automatický záznam, nejvíce často	Ano	41., 42. –dobré, 43. -špatné
44.	11.4.2006	Čas – po 2 sec	Ano	Špatné (na konci prudké zlepšení)
45. – 46.	12.4.2006	Čas – po 2 sec	Ano	Dobré
47. – 48.	12.5.2006	Automatický záznam, nejvíce často	Ano	Dobré, zhoršují se
49. – 50.	13.5.2006	Čas – po 2 sec	Ano	Dobré
51. – 52.	13.5.2006	Automatický záznam, normální interval	Ne	Dobré

Zdroj dat: Vlastní měření

Poznámka: Dobré podmínky – DOP přibližně do hodnoty 3, Špatné podmínky – DOP více než 3, častá změna DOP.

Tab. 2.: Měření na trase Šumperk – Nové Domky, přijímač GPSmap 60Cx

Číslo záznamu	Odpovídá měření s GPSmap 76S	Nastavení záznamu
1. – 2.	41. – 42.	Automatický záznam, normální interval
3.	43.	Automatický záznam, nejčastěji
4.	44.	Automatický záznam, normální interval
5. – 6.	45. – 46.	Čas – po 2 sec
7. – 8.	47. – 48.	Automatický záznam, nejčastěji
9. – 10.	49. – 50.	Čas – po 2 sec
11. -12.	51. – 52.	Automatický záznam, normální interval

Zdroj dat: vlastní měření

Měření v oblasti Háje (tab. 3) bylo provedeno paralelně oběma přijímači, nastaveny byly vždy stejné režimy záznamu dat, bez externí antény.

Tab. 3.: Měření v oblasti Háje, oba přijímače

Číslo záznamu	Datum	Nastavení záznamu	Korekce EGNOS	Rychlost pohybu (km/hod)	Podmínky podle Planning
1. – 3.	4.7.2006	Automatický záznam, nejčastěji	Vypnuty	5 - 6	Dobré
4. – 6.	4.7.2006	Čas – po 2 sec	Vypnuty	2 - 3	Dobré
7. - 9.	4.7.2006	Automatický záznam, nejčastěji	Vypnuty	2 - 3	Dobré
10.	4.7.2006	Automatický záznam, nejčastěji	Zapnuty	5 - 6	Dobré
11. – 14.	5.7.2006	Automatický záznam, nejčastěji	Zapnuty	5 - 6	Dobré
15. – 17.	5.7.2006	Čas – po 2 sec	Zapnuty	5 - 6	Dobré
18. - 20.	5.7.2006	Čas – po 2 sec	Vypnuty	5 - 6	Dobré
21. – 23.	6.7.2006	Čas – po 2 sec	Vypnuty	5 - 6	Špatné
24. – 26.	6.7.2006	Automatický záznam, nejčastěji	Vypnuty	5 - 6	Špatné
27. – 29.	6.7.2006	Automatický záznam, nejčastěji	Zapnuty	5 - 6	Špatné
30. – 32.	6.7.2006	Čas – po 2 sec	Zapnuty	5 - 6	Špatné
33. – 34.	6.7.2006	Automatický záznam, nejčastěji	Vypnuty	2 - 3	Špatné

Zdroj dat: vlastní měření

10.4 Princip porovnání měřených tras

Pro porovnávání tras je zapotřebí získat referenční trasu, kterou je možné považovat za přesnou. Pro měření u obce Vidnava nebyla přesná trasa získána, nejlepším podkladem je zde mapa pro orientační běh (OB). Ta není umístěna v souřadnicovém systému a její přesnost je spíše v relativním umístění objektů v mapě. Přesto je možné data nad mapou zobrazit a zkontrolovat alespoň relativní průběh cest. Zatačky v mapě a u měřené trasy si tak v některých částech mapy nebudou navzájem odpovídat absolutním umístěním, podstatné však je, aby se shodovaly tvarem trasy. Vyhodnocení měření bylo provedeno v programu OCAD.

V prostředí MapSource byly souřadnice tras z Vidnavska staženy z GPS přijímačů a transformovány do systému UTM. Poté byl soubor uložen ve formátu DXF (Drawing Exchange Format). Mapa Venušiny misky, východ byla v programu OCAD exportována do formátu TIFF (Tagged Image File Format). Soubor DXF byl importován do nového souboru v programu OCAD. Zde se trasy zobrazí jako šedé čáry, které nemají přiřazenu žádnou mapovou značku. Je zapotřebí nejprve zvolit v horní liště programu záložku Extra, Konvertovat vrstvy a zde přiřadit jednotlivým souborům objektů (trasy, aktivní trasy, body) uživatelem zvolený symbol. Pro tuto práci byla pro trasy vybrána mapová značka 704.0 Line (tenká fialová linie). Po zobrazení tras je možné načíst podkladovou mapu (Venušiny misky, východ) ve formátu TIFF. Protože mapy pro OB nejsou usazeny v souřadnicích, byl podklad usazen do souřadnic pomocí dvou identických bodů. Tím došlo k deformaci podkladové mapy. Jinou možností by bylo zjištění deklinace v místě měření, usazení mapy na jeden identický bod a rotace podle zjištěné odchylky. Jako identické body byly vybrány křižovatky velkých cest na opačných koncích mapy. Tyto křižovatky jsou velmi dobře vidět na leteckých snímcích, jež se obvykle používají jako podkladový materiál pro mapy pro orientační běh, proto je pravděpodobné jejich přesné zakreslení v mapě. Na křižovatkách byly také dobré podmínky pro příjem GPS signálu a tedy vysoká přesnost při jejich zaměření. Pro lepší přehled o správném průběhu tras byly zelenou linií vytaženy z mapy cesty, po nichž probíhalo měření. Porovnání tras probíhalo vizuálním srovnáním v programu OCAD, důraz byl kladen na shodu tvaru tras, ne na absolutní přesnost. Při číselném vyjádření chyb by trvala nejistota, jak velkou část chyby je nutné přiřadit nepřesnosti mapy.

Pro trasy na Nové Domky a pod Hájem není možné použít letecké snímky, protože trasy jsou z velké části pod zákrytem stromů a na snímcích nejsou identifikovatelné. Jinou možností je použití mapových podkladů, ale ty dosahují zvláště v lesních pasážích vysokých nepřesností. Pro srovnání by bylo možné využít i samotných měření, získat střední hodnotu ze všech naměřených tras a takto získanou trasu považovat za přesnou. Kvůli nepřesnosti původního měření by však bylo na místě pochybovat o přesnosti této trasy. Statické měření s geodetickým GPS přijímačem by u takto dlouhé trasy trvalo mnoho hodin (observace na jednom bodě bývají přibližně 20 – 50 min, Horká, 2004). Metoda Stop and go se nedá pod vegetačním pokryvem použít kvůli nutnosti neustále vidět satelity. Nakonec se podařilo zapůjčit GPS aparaturu, která je schopná přijímat korekce ze sítě CZEPOS. Měření s těmito korekcemi umožní poměrně přesně a rychle zaměřit polohu bodu, vyrovná se se ztrátou signálu. Body je možné zaznamenávat i při pohybu přijímače, za dobrých podmínek tak můžeme získat přesný průběh trasy, aniž bychom museli dlouze observovat na jednotlivých bodech tvořících trasu.

Během měření na trase Šumperk – Nové Domky byla velmi dobrá konstelace satelitů, část cesty vede mimo les, proto bylo měření velmi rychlé a přesné (přesto trvalo asi 4 – 5krát déle než měření s ručním přijímačem). Byl použit záznam trasy

s intervalem pěti vteřin. Korekce RTCM 2.3 byly přijímány z blízké stanice Šumperk. Měření probíhalo za pohybu, pouze v lomových bodech trasy bylo observováno delší dobu (dokud se zlepšovala udávaná přesnost měření). Ze získaných bodů trasy byly při pozdějším zpracování vyloučeny všechny body, jejichž přesnost měření (střední polohová chyba) byla větší než jeden metr. V případě blízkosti několika bodů (záznam po 5 vteřinách způsobil, že i při krátkém zastavení bylo zaznamenáno více bodů) byl vybrán bod s nejnižší chybou.

Trasa na Háji je umístěna zcela v lese s poměrně vysokým porostem, který zakrývá velkou část oblohy. Proto i s geodetickou GPS aparaturou bylo měření v této oblasti poměrně obtížné a zdlouhavé, přesto byly získány velmi přesné výsledky. Kvůli vnějším podmínkám bylo zapotřebí observovat na jednotlivých bodech trasy delší dobu, zvolen byl proto manuální záznam bodů. Při poklesu chyby pod 0,5 m byl proveden záznam bodu, při velmi špatných podmínkách byl proveden záznam i při udávané chybě 0,7 m. Díky zpracování a vypuštění bodů s největší chybou byly nakonec chyby na měřených bodech v rozmezí 0,068 – 0,367 m.

Data z geodetické GPS aparatury byla dodána v excelovém souboru v systému WGS84. Po úpravě bylo možné data otevřít v programu GPSU, převést na UTM a poté upravit do formátu pro Matlab. Uložením dat v programu GPSU do formátu gpx bylo umožněno zobrazení dat v programu MapSource.

Data z ručních GPS přijímačů byla stažena do počítače prostřednictvím programu MapSource. Zde byla data transformována do UTM a uložena jako textový soubor. Ten po úpravě sloužil jako vstup dat pro program Matlab. Úprava spočívá ve vymazání nadbytečných informací, zůstanou pouze souřadnice oddělené mezerou, pro jeden bod na jednom řádku, a uložení souboru ve formátu dat.

Při hodnocení nepřesnosti v určení polohy bodu pomocí GPS přijímače se používá prostá vzdálenost měřeného bodu od jeho skutečné polohy (použito pro hodnocení přesnosti záznamu souřadnic u bodů na krajích jednotlivých úseků u trasy Šumperk – Nové Domky), případně se vykresluje graf záznamů nebo určuje rozptyl měřených hodnot. Pro přesnější představu o rozložení hodnot měření může být použita analýza rozdělení pravděpodobnosti, analýza vzájemné závislosti intervalů výsledků měření, analýza homogenity souboru (viz kapitola 9).

Všechny tyto způsoby však popisují statická měření jediného bodu. Pro posouzení přesnosti určení pozice při záznamu trasy se používají vizuální prezentace výsledků měření, obvykle vynesené nad mapou nebo se porovnávají dvě měření téže trasy. Je možné odhadnout, která trasa odpovídá lépe skutečnosti, a to i za předpokladu, že nemáme kvalitní podkladová data. Je nutné vycházet z vlastní zkušenosti s trasou, posoudit, jak přijímač zaznamenal tvar zatačky, kolik bodů z trasy je evidentně odlehlých a nereprezentují průběh trasy, při více měřeních je možné posoudit opakovatelnost záznamu trasy. Nevýhodou tohoto způsobu je výrazná subjektivita posouzení, při větším počtu měření je obtížné odhadnout, která z tras je skutečně nejpresnější. I při počtu dvou tras se může stát, že každá bude lépe odpovídat v jiné části trasy a posouzení, která z tras odpovídá referenční trase celkově lépe, je velmi obtížné. Také nelze příliš dobře porovnávat měření na několika různých trasách. To je možné pouze v případě, že některý způsob záznamu je evidentně horší u všech porovnávaných tras.

Pro tuto práci a porovnání měření na dvou trasách (na Nové Domky a pod Hájem) byla použita referenční trasa získaná měřením s geodetickou GPS aparaturou.

Pro kvantifikování rozdílů byl vytvořen jednoduchý program Porovnání v prostředí Matlab.

Trasy byly porovnány pomocí vzdálenosti od referenční trasy. Už ze samé podstaty záznamu tras je patrné, že zde není možné použít vzdálenost dvou bodů. To by vyžadovalo, aby byl záznam bodu trasy proveden vždy na stejném místě, což při zachování způsobu měření, který je běžný pro pohyb po trase (tedy rovnoměrný pohyb, bez zastavování), není možné. Také interval záznamu bodů byl volen zcela odlišně a pro každou trasu je tedy charakteristický odlišný počet bodů.

Pro porovnání bylo tedy rozhodnuto, že se využije vzdálenosti bodu od křivky. Trasa referenční i trasy analyzované, měřené turistickými GPS přijímači, jsou popsány několika body. Aby bylo možné výsledky porovnávat mezi sebou, je referenční trasa brána jako soustava samostatných bodů, takže při každé analýze se počítají vzdálenosti od stejných bodů. Analyzovaná trasa je považována za křivku popsanou soustavou bodů, od níž se počítá vzdálenost k jednotlivým bodům referenční trasy. Pomocí takto získané vzdálenosti je možné vzájemně porovnávat jednotlivé trasy.

V případě, že by jako body byly brány jednotlivé záznamy analyzované trasy, nemohly by být porovnány absolutní hodnoty chyb jednotlivých tras mezi sebou a také by nebyly správně posouzeny případy příliš velkého intervalu záznamu dat, kde může dojít k velmi dobré shodě v bodech analyzované trasy, přesto se trasy jako celek mohou velmi významně lišit.

Před samotným výpočtem vzdálenosti je zapotřebí z měřené trasy odstranit odlehlá měření. Úseky tras mají poměrně plynulý průběh. Program MapSource mezi jednotlivými body počítá azimut k zeměpisnému severu. Azimuty mezi jednotlivými body se díky průběhu tras mezi sebou liší maximálně o první desítky stupňů. Jako hranice pro odstranění bodu z analýzy byla zvolena odlišnost o 65° oproti předchozímu azimutu u trasy na Nové Domky, pro trasu na Háji byla z důvodu menší přímosti trasy zvolena hranice 75° . Nejčastěji se chyba pohybovala mezi 90 a 100° . Vzdálenost odlehlé hodnoty od trasy vzniklé po jejím odstranění byla obvykle v intervalu $10 - 15$ m, největší dosažená hodnota byla 20 m (u obou tras).

Po této úpravě je možné trasu analyzovat pomocí programu Porovnání. Po spuštění programu se vypíše věta: „Jmeno souboru s referencni trasou:“ Po doplnění názvu souboru s trasou (např. refl.dat) se vypíše věta: „Jmeno souboru s analyzovanou trasou:“ Poté má uživatel možnost zvolit, zda bude vykreslen graf zobrazující body obou tras a graf s kolmicemi z referenčních bodů k analyzované křivce (tedy hledané vzdálenosti). Pokud uvedené soubory tras existují v pracovním adresáři, program je načte, provede výpočet a případně vykreslí grafy. V opačném případě nahlásí, že konkrétní soubor neexistuje.

První operací, kterou program provede, je kontrola, zda načtené trasy obsahují na ose x rostoucí hodnoty. Trasy byly procházeny v obou směrech, proto program každou druhou trasu převrací. V tom případě se objeví informace, že analyzovaná nebo referenční trasa byla převrácena (tj. pořadí bodů bylo upraveno tak, aby hodnoty na ose x byly rostoucí).

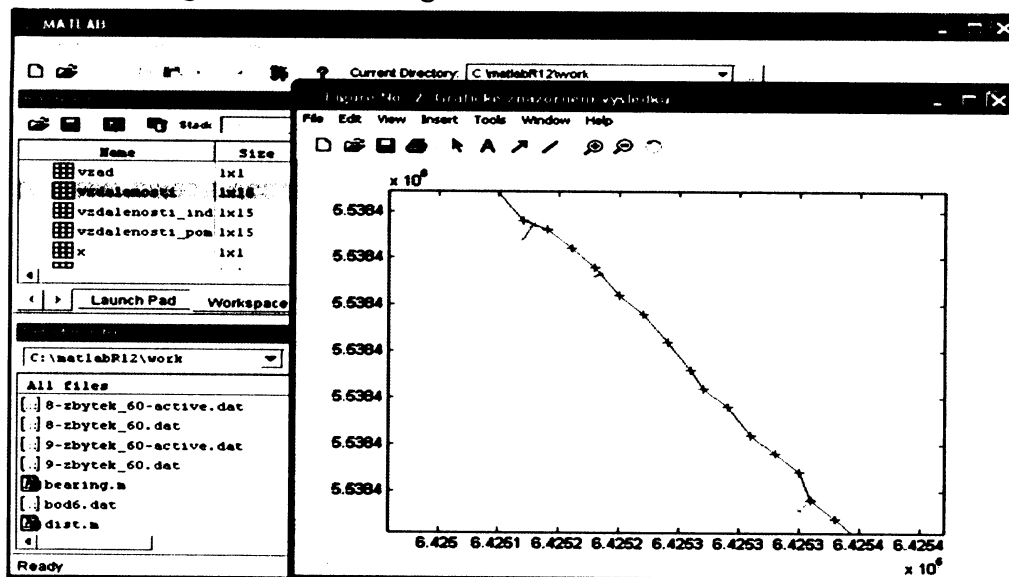
Pokud se stane, že na trase jsou některé body se stejnými souřadnicemi, program odstraní všechny následující opakující se body.

V referenční trase nejsou body rozmístěny zcela rovnoměrně. Pro vykreslení rovného libovolně dlouhého úseku trasy stačí dvojice bodů. Protože však měření s ručními GPS přijímači může i v těchto úsecích dosahovat vysokých chyb, bylo snahou získat i pro rovné, dlouhé úseky referenční body, ke kterým by bylo možné vztahovat analyzované trasy. Protože mezi jednotlivými úseky referenčních bodů se předpokládá

přímý průběh trasy, stačí doplnit body na přímku určenou dvěma sousedními body. Program proto počítá vzdálenosti mezi body referenční trasy, z nich odstraní maximální a minimální hodnotu a spočítá průměrnou vzdálenost bodů. Mezi body, které jsou vzdáleny alespoň dvojnásobek průměrné vzdálenosti, se doplní body na přímku. Při dvojnásobné vzdálenosti se doplní jeden bod, při trojnásobné body dva. Body jsou rozmístřovány rovnoměrně. Po doplnění bodů je vykreslen graf znázorňující body analyzované trasy, původní body referenční trasy a body doplněné a zobrazena informace o počtu doplněných bodů.

Program dále pro každý bod na referenční trase spočítá kolmici k přímce určené dvěma sousedními body analyzované trasy (graf na obr. 6) a zjistí, zda tato sestrojěná kolmice leží mezi body určujícími přímku. Pokud ano, spočítá program velikost této kolmice. Pokud je možné sestrojit kolmice dvě, počítá dále program pouze s kratší kolmicí. Pokud není možné sestrojit žádnou kolmici, zjistí program vzdálenost k nejbližšímu bodu a s tou dále pracuje.

Obr. 6: Program Porovnání – graf vzdáleností

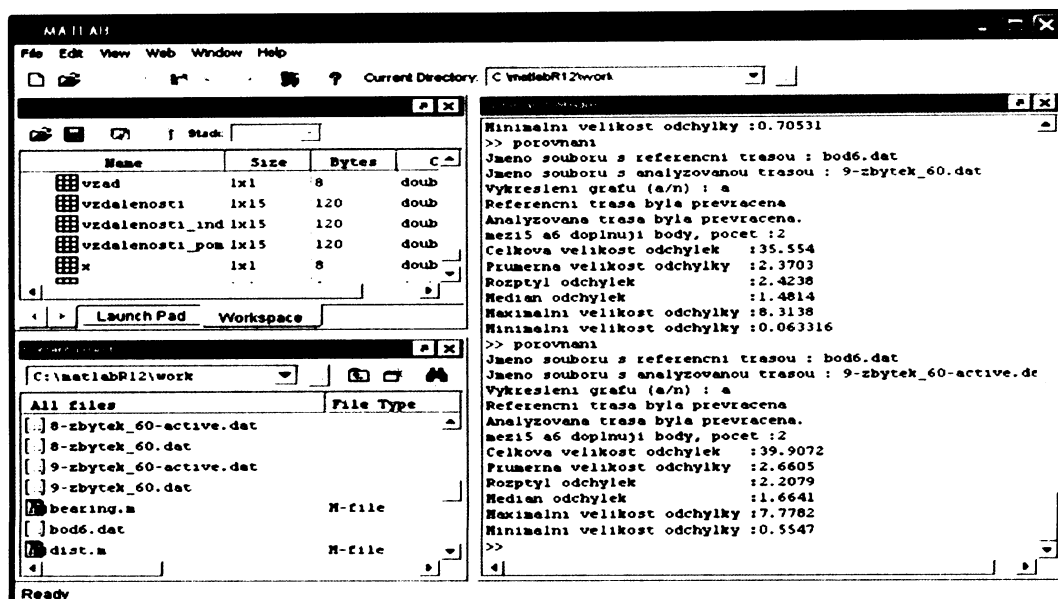


Zdroj dat: vlastní měření

Poznámka: Červené přímky – kolmice referenčních bodů

Po zjištění vzdáleností analyzované trasy od všech bodů trasy referenční program spočítá a zobrazí celkovou velikost odchylek, průměrnou velikost, rozptyl a medián odchylek a maximální a minimální velikost odchylky (obr. 7). S pomocí těchto hodnot lze pak vzájemně porovnávat jednotlivé trasy.

Obr. 7: Program Porovnání - Statistiky



Zdroj dat: vlastní měření

Během měření na trase Šumperk – Nové Domky bylo zaměřeno sedm bodů. Protože trasy nejsou hodnoceny až po samé okraje úseků, umožňují nám pouze tyto body získat představu o chování GPS přijímače i v krajních částech během velmi krátkého zastavení. Při zaměření nebylo použito průměrování. Přesnost zaměření bodů byla hodnocena prostřednictvím vzdálenosti měřených souřadnic a souřadnic získaných při observaci s geodetickým GPS přijímačem. Vzdálenost byla počítána v programu excel, zde byl také spočítán prostý průměr. Porovnávány byly výsledky získané z různých GPS přijímačů. Porovnání výsledků měření s použitím externí antény a bez ní nebylo provedeno pro nízký počet záznamů provedených za použití externí antény (většina měření s externí anténou byla provedena v době paralelního měření obou přijímačů, kdy byly body zaměřovány pouze přijímačem GPSmap 60Cx).

11. Porovnání naměřených dat, zjištění přesnosti mapy TOPO50 v oblasti měření

11.1 Porovnání bodových záznamů

Přestože si tato práce neklade za cíl zjištění přesnosti záznamů při bodovém měření, bylo během záznamu tras zaměřeno opakovaně i sedm bodů. U nich byla spočítána vzdálenost k přesně zaměřenému bodu a průměr z těchto vzdáleností. To nám dává alespoň hrubou představu o chování GPS přijímače během zastavení a zaznamenávání bodu. Počet měření pomocí přijímače GPSmap 60Cx je výrazně menší než s přijímačem GPSmap 76S, proto je zapotřebí brát výsledky jen jako orientační.

Z hodnocení měření byl vyloučen bod jedna u trasy patnáct přijímače GPSmap 76S, který dosahoval chyby 96 m. Bod byl prvním měřeným bodem v tento den. Další bod, patřící již trase patnáct, odpovídá svou pozicí měřené trase.

Problémem při takovémto měření může být především určitá setrvačnost přijímače při určování pozice (přijímač podle zaměřené pozice pokračuje v pohybu, zatímco ve skutečnosti se již nepohybuje). To nastává zejména při špatných podmínkách příjmu, nedostatečném počtu přijímaných satelitů. Rozdíly v určení pozice jsou tedy samozřejmě vyšší u bodů umístěných v lese. Tomu odpovídá i nárůst rozdílů v určení polohy při rostoucím zákrytu v okolí měřených bodů (tab. 4).

Tab. 4: Rozdíly v určení pozice bodů

Číslo bodu	GPSmap 76S		GPSmap 60Cx	
	Průměr odchylek (m)	Počet měření	Průměr odchylek (m)	Počet měření
1	3,9	37	1,4	11
2	3,7	36	2,9	12
3	2,4	38	1,8	12
4	2,1	37	2,8	12
5	5,4	38	3,7	12
6	12,6	36	6,9	12
7	4,1	37	2,2	12

Zdroj dat: vlastní měření

První čtyři body se nachází na poměrně otevřených místech, nejlepší podmínky jsou pravděpodobně u bodů tři a čtyři, tomu odpovídají i výsledky měření s přijímačem GPSmap 76S. První bod se nachází částečně pod korunou listnatého stromu, druhý bod u stěny baráku. S těmito podmínkami se přijímač GPSmap 76S vyrovnává o něco hůře než přijímač GPSmap 60Cx. Naopak u bodu čtyři byla zaznamenána celkově větší odchylka od správné hodnoty souřadnic při měření s přijímačem GPSmap 60Cx.

Pátý bod se nachází již v částečném zákrytu vegetací na okraji lesa. Tomu odpovídá i nárůst chyb v měření u obou přijímačů. Přesnost je mírně lepší s přijímačem GPSmap 60Cx.

Další bod se nachází zcela v lese, navíc výhled na jižní oblohu částečně zakrývá menší kopec. Zde jsou velikosti rozdílů měřených hodnot od hodnoty skutečně největší, zároveň je zde nejvýraznější rozdíl mezi přijímači. Přijímač GPSmap 60Cx s čipem SiRFstarIII se lépe vyrovnává s horšími podmínkami příjmu, je schopen přijmout i relativně slabé signály a proto i zde dosahuje přijatelné chyby sedmi metrů. Třinácti

metrová chyba přijímače GPSmap 76S je v stanovené přesnosti 25 m pro mapu měřítka 1:50 000.

Poslední bod se nachází za okrajem lesa, ve vzdálenosti asi deseti metrů od nejbližšího domu. Dobrým podmínkám příjmu odpovídá i poměrně vysoká přesnost v určení polohy bodu.

Během měření byly dvanáctkrát zjištěny nulové rozdíly UTM souřadnic měřených bodů, největší odchylky zachycuje tabulka 5.

Tab. 5: Největší naměřené odchylky

Číslo bodu	Odchylky (m)	
	GPSmap 76S	GPSmap 60Cx
1	22,2	2,8
2	17,0	6,7
3	9,1	3,6
4	5,8	5,0
5	11,4	5,4
6	40,0	12,0
7	11,2	4,2

Zdroj dat: vlastní měření

Největších chyb bylo oběma přijímači naměřeno na šestém bodě. Zatímco maximální chyba přijímače GPSmap 60Cx je zde 12,0 m, chyba přijímače GPSmap 76S je 40,0 m. To významně přesahuje stanovenou hranici přesnosti (25 m). Chyba je pravděpodobně způsobena zhoršenými podmínkami pro příjem signálu (les, kopec), bod není na začátku trasy a proto můžeme vyloučit možnost větší chyby z důvodu nedostatečně dlouhé doby, po kterou byl přijímač ponechán v klidu před prvním uložením polohy.

U všech bodů byla naměřena větší maximální chyba přijímačem GPSmap 76S.

11.2 Porovnání mapy TOPO50 se skutečností, vizuální porovnání měřených tras

Trasa Šumperk – Nové Domky

Při srovnání geodeticky zaměřené, tedy přesné trasy s cestami zobrazenými na mapě TOPO50 byly zjištěny chyby v zákresu cest asi 7 – 10 m u silniční a uliční sítě (tedy u prvních dvou úseků trasy). Největších rozdílů bylo dosaženo u třetího a čtvrtého úseku, kde byla naměřena minimální chyba 11 m, ve velké části úseků však chyba dosahovala velikosti 30 – 40 m. Ve druhé části čtvrtého úseku a v první polovině úseku pátého chyba obvykle nepřesahovala 20 m, aby na konci trasy narostla opět až na 40 m. Trasa končí v zatáčce asfaltové silnice na křižovatce turistického značení. Zatímco značení je oproti skutečnosti posunuto o 58 m jihovýchodním směrem (obr. 8), asfaltová silnice vede o 48 m dále směrem na severovýchod. Navíc ke křížení turistických značek by mělo dojít v místě prudké zatáčky červeného značení, vedoucího po asfaltové silnici.

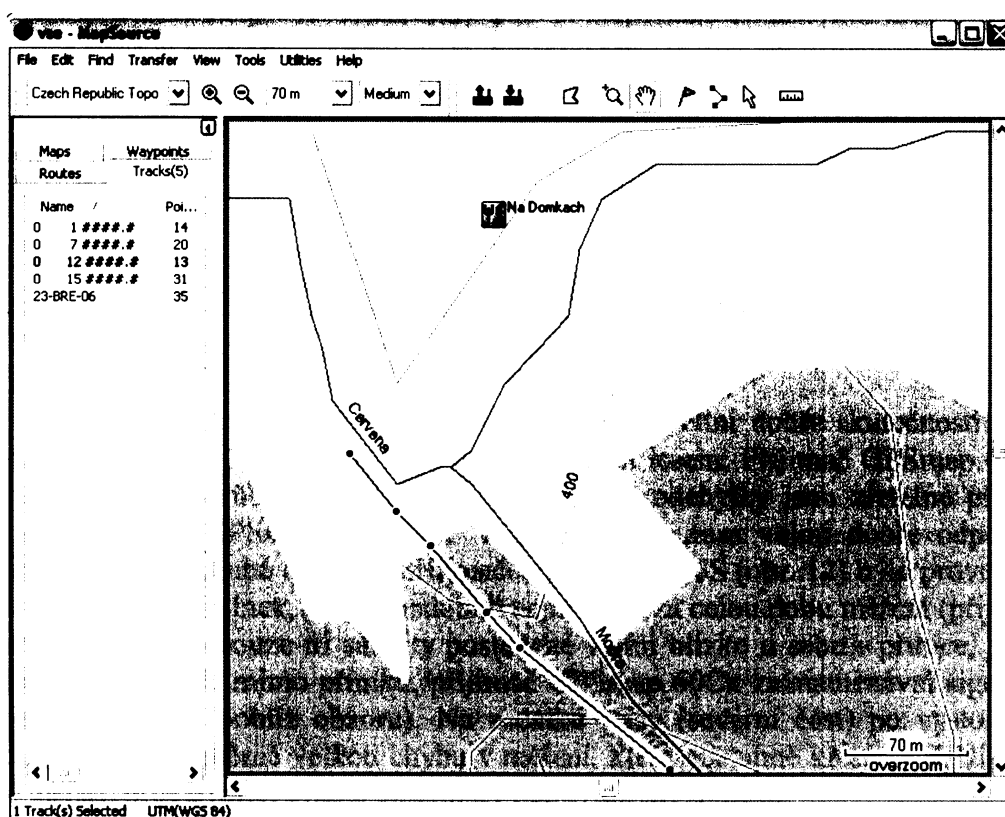
Trasa Šumperk – Nové Domky byla vyhodnocena jak vizuálně, tak i číselně pomocí velikosti rozdílu mezi trasou měřenou ručními GPS přijímači a trasou získanou

měřením s geodetickou GPS aparaturou. Číselné hodnocení je objektivní a velmi přesné, přesto je však nutné jej použít v kombinaci s hodnocením tras prostřednictvím jejich vizualizace. Teprve tak je možné zjistit určité pravidelnosti v chování GPS přijímače, které z číselného vyjádření nejsou patrné (např. že chyba roste vždy ve stejném úseku trasy). Číselné vyjádření chyby informuje pouze o velikosti chyby, ale stejná chyba může být u trasy se systematickým posunem o určitou malou hodnotu, kdy trasa tvarem přesně odpovídá skutečnosti, i u trasy, kde došlo k výraznému, krátkodobému odchýlení od skutečného průběhu trasy, které ovšem není možné ze souboru dat eliminovat pomocí filtrování na základě vzájemných vzdáleností a směrů mezi body, ale pouze při znalosti skutečného tvaru trasy. Přestože jsou velikosti chyb u obou typových tras shodné, význam chyby u druhé trasy je pro mapování mnohem větší, a takováto trasa nemusí být pro zpřesnění map vůbec použitelná.

Na dalších obrázcích je tedy porovnání měřené trasy a jejího „skutečného“ průběhu, žlutě je vždy zvýrazněna trasa měřená geodetickou GPS aparaturou, černobíle pak konkrétní porovnávaná trasa ručního GPS přijímače (skryta v případě souladu s geodeticky získanou trasou).

V případě přibližné shody tras je použit aktivní záznam trasy, aniž by tato skutečnost byla v popisu uvedena, pouze v případech výrazné odlišnosti u aktivní a uložené trasy jsou použity trasy obě a v popisu rozlišeny.

Obr. 8: Konec pátého úseku



Zdroj podkladové mapy: TOPO50

Zdroj dat: vlastní měření

Během měření této trasy byl kladen důraz na různé režimy záznamu dat. Bylo zjištěno, že při ukládání aktivní trasy do paměti přístroje dochází při některých nastaveních k zjednodušení ukládané trasy. Míra zjednodušení závisí kromě nastavení záznamu také na zaplnění paměti přijímače, proto nelze předem s jistotou říci, jak bude

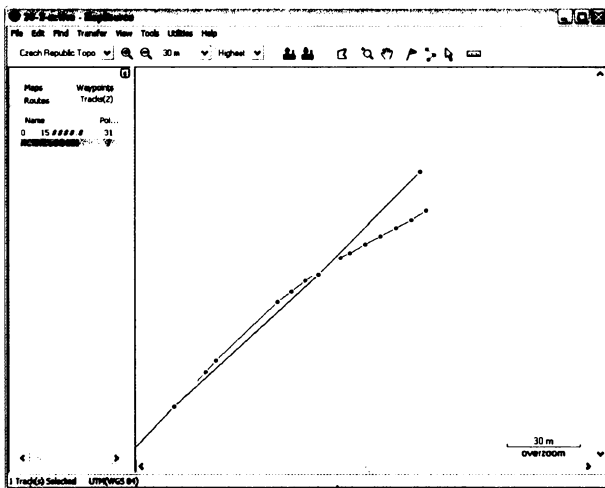
kteřá trasa uložena. Z tohoto pohledu se jeví jistější použít takové nastavení záznamu trasy, kde se uložená a aktivní trasa shodují, nebo používat pouze aktivní záznamy tras, u nichž máme jistotu, jak se budou jednotlivé body ukládat. Pro hodnocení tras se používá zvlášť aktivní a uložená trasa, pokud se navzájem odlišují.

Na prvním úseku trasy jsou velmi dobré podmínky pro příjem satelitního signálu a na trase se nevyskytují žádné větší zatáčky, při porovnání tras proto nebyly zaznamenány žádné výrazné rozdíly mezi měřenou trasou a jejím skutečným průběhem.

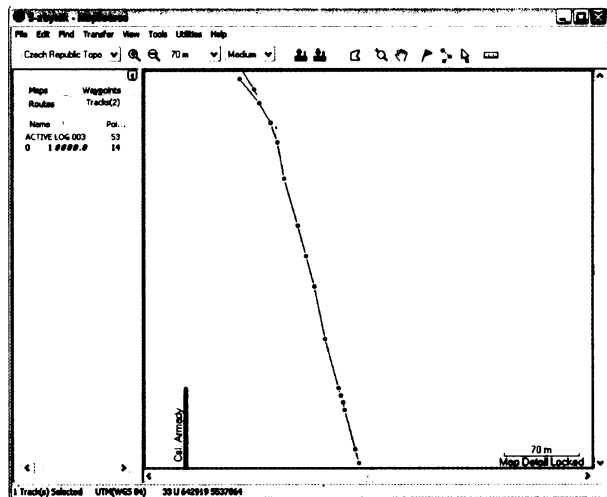
Na druhém úseku také nejsou zřetelné velké rozdíly. Výjimku tvoří měření s velmi dlouhým intervalem záznamu, viz obr. 9, kde je měření s intervalem 45 sec. Pro přehlednost je na tomto obrázku žlutě zvýrazněno měření s ručním GPS přijímačem. Je patrné, že přestože body velmi přesně odpovídají trase, kvůli vzdálenosti mezi nimi dochází k mírnému zkreslení průběhu trasy u plynulých zatáček (zkrácení trasy), při prudké změně trasy může dojít k velmi výraznému odchýlení od jejího průběhu.

Obr. 9: Druhý úsek

Obr. 10: Třetí úsek – 5. měření



Zdroj dat: vlastní měření

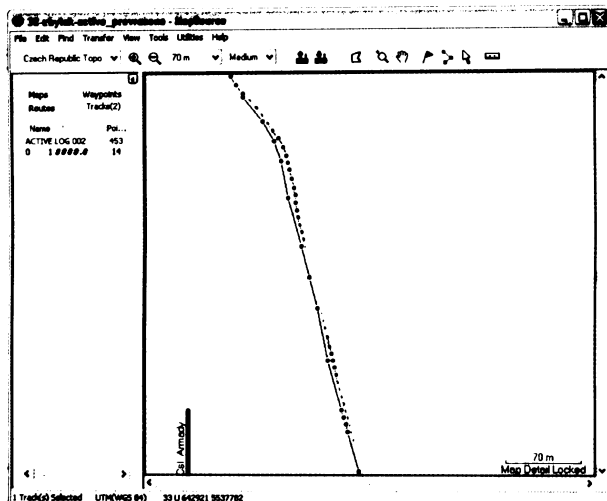


Zdroj dat: vlastní měření

I na třetím úseku trasy odpovídají měřené trasy velmi dobře skutečnosti (obr. 10), přestože je trasa již z jedné strany zcela zastíněna lesem. Přijímač GPSmap 60Cx s tímto úsekem nemá vůbec žádné problémy, největší odchylky jsou zřetelné při 38. měření s přijímačem GPSmap 76S (obr. 11), ale i zde trasa velmi dobře odpovídá skutečnosti. Padesáté druhé měření s přijímačem GPSmap 76S (obr. 12) bylo provedeno za velmi špatných podmínek, pravděpodobně nejhorších za celou dobu měření (přijímač GPSmap 76S zachytil pouze tři satelity postavené velmi blízko u sebe v přímce, jeden satelit jen o kousek dál mimo přímku, přijímač GPSmap 60Cx zaznamenával signály i ze tří dalších satelitů poblíž obzoru). Na začátku trasy (severní část) po vystoupení z lesa má přijímač poměrně velkou chybu v měření, která postupně klesá. V další části trasy již měření přes trvajících špatných podmínek odpovídá skutečnosti.

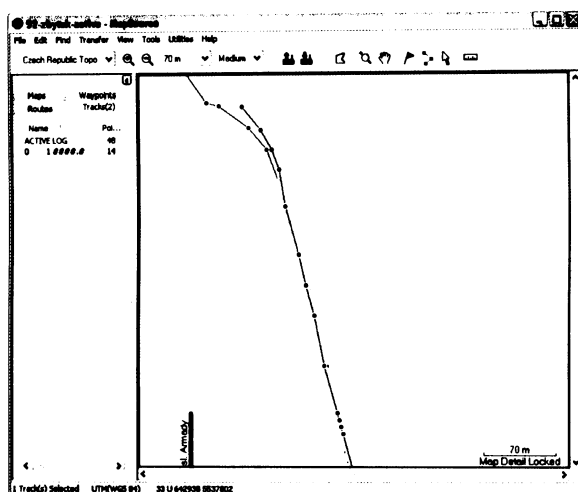
Pátý úsek trasy dělal přijímačům největší problémy. Úsek je celý veden lesem, navíc se v jeho středu vyskytuje poměrně prudká zatáčka. Podle geodetického GPS přijímače by zde při pohybu od západu mělo dojít ke krátkodobému poklesu souřadnice x (tzv. easting). K tomu však došlo pouze u dvou záznamů, u jednoho záznamu se vyskytly dvě stejné hodnoty x (v úvahu nejsou brány aktivní záznamy při intervalu dvou vteřin, jejichž uložená trasa nespĺňuje podmínku poklesu hodnoty x).

Obr. 11: Třetí úsek – 38. měření



Zdroj dat: vlastní měření

Obr. 12: Třetí úsek – 52. měření

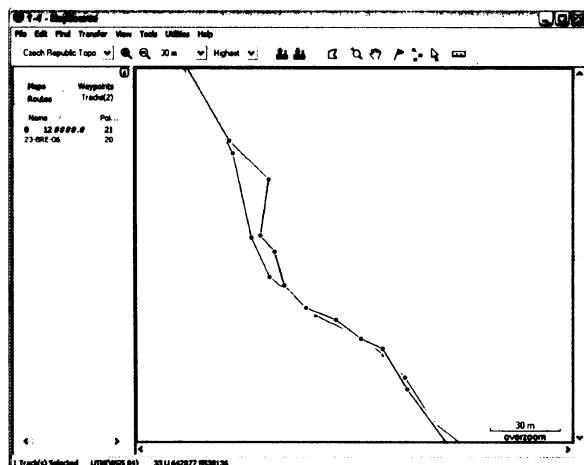


Zdroj dat: vlastní měření

Na obr. 13 je zobrazen nejčastější způsob záznamu této zatáčky. Trasa generovaná ručním GPS přijímačem ignoruje prudkou změnu směru a prochází vnitřní částí zatáčky. Pokud bychom srovnávaly vzdálenosti měřených bodů trasy od skutečného průběhu trasy, získaly bychom velmi malou hodnotu chyby. Pokud však trasy budeme porovnávat v bodech měřených geodeticky, zjištěná chyba bude mnohonásobně větší.

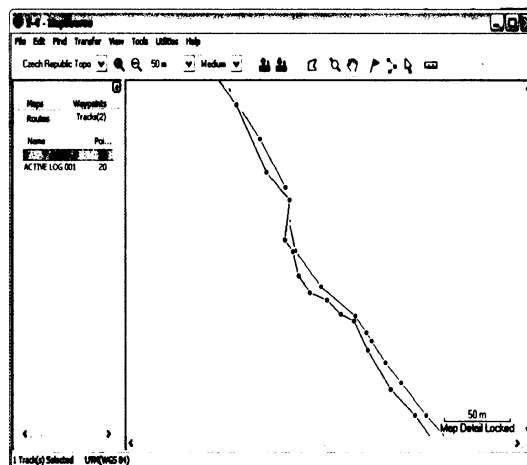
Trasa na obr. 14 zaznamenává mírnou změnu pouze v místě největší zatáčky, ostatní změny směru zcela ignoruje.

Obr. 13: Čtvrtý úsek – 1. měření



Zdroj dat: vlastní měření

Obr. 14: Čtvrtý úsek – 2. měření



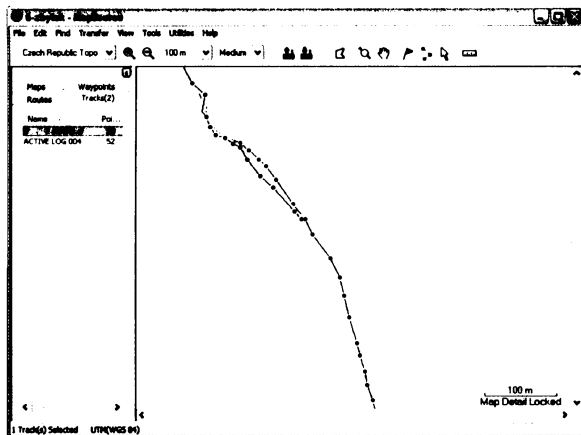
Zdroj dat: vlastní měření

Pokud přijímač během slabého signálu zaznamenává tvar zatáčky, může později na rovném úseku trasy dojít k záznamu, který jakoby pokračuje v zatáčce (viz obr. 15) a teprve po delší době se srovnává se skutečným průběhem trasy (opačný princip k situaci, kdy přijímač zaznamenává správně hodnotu na rovině a zatáčku zaznamená až po chvíli špatného měření).

Trasa na obr. 16 v rovných úsecích velmi dobře odpovídá skutečnosti. V zatáčkách se přijímač zcela ztrácí. Přestože registruje změny souřadnic a zatáčky neprochází rovně, tvar trasy, který vytváří, se zásadně liší od skutečného průběhu cesty.

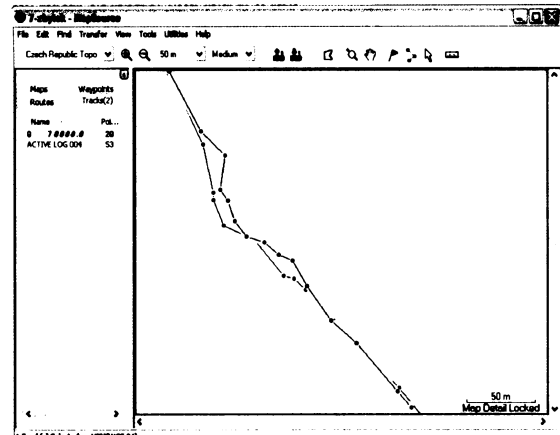
Na rovině za zatáčkami trasa opět velmi přesně odpovídá skutečnosti, přesto je tento záznam pátého úseku jedním z nejhorších ze všech.

Obr. 15: Čtvrtý úsek – 6. měření



Zdroj dat: vlastní měření

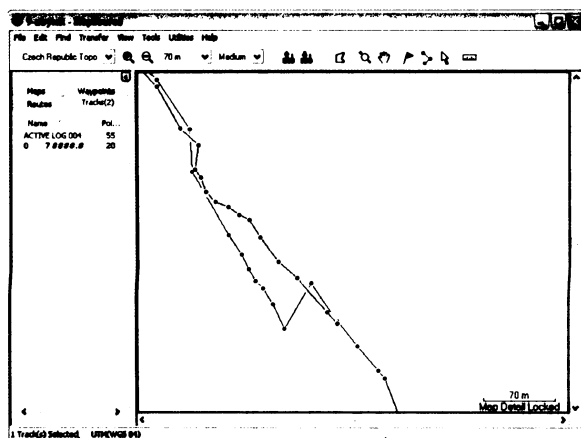
Obr. 16: Čtvrtý úsek – 7. měření



Zdroj dat: vlastní měření

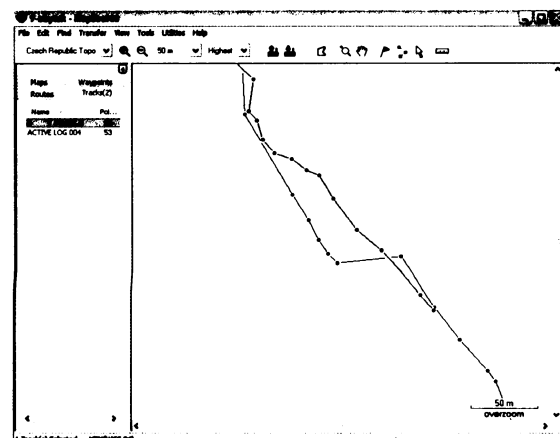
Při záznamu trasy číslo devět (obr. 17) došlo k výraznému odchýlení záznamu ve chvíli, kdy se přijímač dostal do lesního porostu. Následující zaznamenané body se velmi pomalu a plynule přibližují skutečnému průběhu trasy, s níž se střetnou až po 150 m v místě zatáčky, kde se naopak většina záznamů odchyluje od skutečnosti. Další průběh trasy již odpovídá velmi dobře. Pokud zpracovatel tohoto záznamu ví, že v místě odchylky není žádná zatáčka, trvá nejistota, která z částí trasy je chybně zaznamenaná a kolik bodů kterého úseku by se mělo vymazat. Pokud postupuje podle dříve stanovené zásady o změně azimutu, dojde k vymazání prvních dvou bodů po prudké změně (trasa byla měřena od jihu). Trasu po této úpravě zachycuje obr. 18. Je patrné, že ani tato úprava nesníží výrazně chybu vzniklou při měření, avšak za předpokladu, že není k dispozici skutečný průběh trasy, není možné trasu příliš upravovat. Pokud by byla trasa dále narovnána, nebo došlo k vytvoření zcela nové trasy vedoucí mezi prodloužením úseků před a za prudkou změnou (obr. 19), vedly by tyto úpravy

Obr. 17: Čtvrtý úsek – 9. měření



Zdroj dat: vlastní měření

Obr. 18: Upravené 9. měření

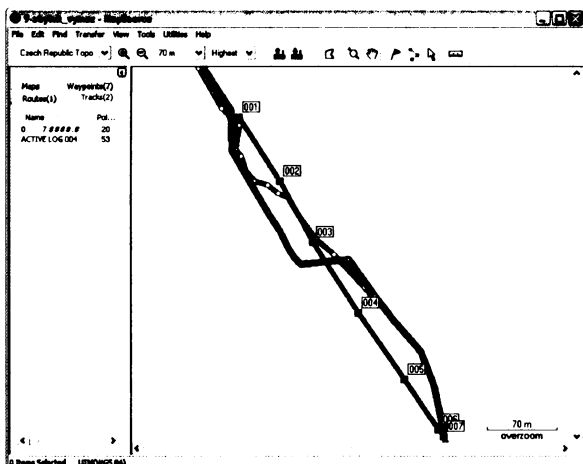


Zdroj dat: vlastní měření

k zahlazení existujících zatáček v severní části vyobrazení. Pokud při mapování nastane tento případ, mělo by dojít k novému měření trasy a porovnáním obou záznamů by se mělo dojít ke správnému výsledku. Nejlepším řešením by bylo zaznamenat všechny

trasy dvěma časově nezávislými měřeními bez ohledu na to, zda došlo k evidentní chybě v měřených souřadnicích.

Obr. 19: Čtvrtý úsek – 9. měření – vznik nové trasy

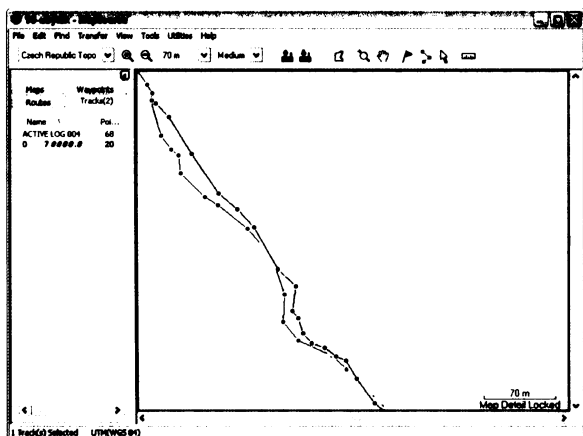


Zdroj dat: vlastní měření

Poznámka: žlutě správný průběh trasy, zelená – měření, fialová – vytvořená trasa.

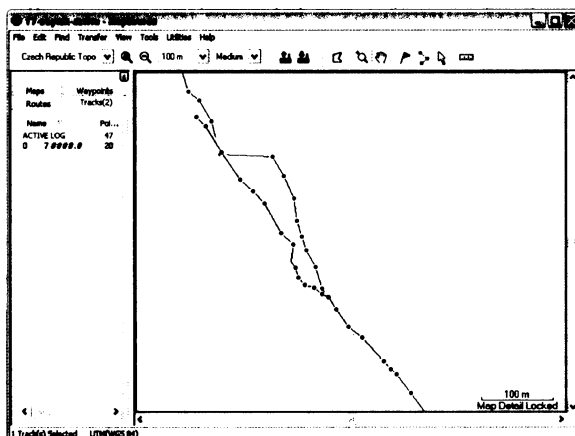
Trasa číslo 10 (obr. 20) dosahuje velké chyby již v první části úseku (měřeno ze severu), na rovině vytváří zcela nesmyslné zatáčky. Při záznamu skutečné zatáčky je měřená trasa posunuta oproti skutečnosti směrem na jihozápad, tvarem však již poměrně dobře odpovídá. Na konci zatáček měřená trasa odpovídá skutečnosti. Co se týče porostu v tomto úseku, jeví se jako mírně výhodnější severní část. Zde je však díky sklonu kopce o něco horší výhled směrem na jih než v jižní části úseku (vrchol kopce se nachází přibližně 80 m od poslední zatáčky směrem na sever).

Obr. 20: Čtvrtý úsek – 10. měření



Zdroj dat: vlastní měření

Obr. 21: Čtvrtý úsek – 17. měření



Zdroj dat: vlastní měření

Během měření trasy číslo 12 došlo k určité generalizaci, zahlazení tvaru zatáčky. Po jejím projití se měřená trasa zpočátku nepřizpůsobí novému směru trasy a udržuje si na poměrně dlouhém úseku konstantní odstup od skutečného průběhu trasy při zachycení jejího tvaru i směru. Zobrazení trasy, stejně jako několika dalších, je v přílohách.

Šestnácté měření je trasa měřená s intervalem záznamu 10 sec. Je patrné, že při tomto nastavení je měřená trasa za dobrých podmínek schopná velmi dobře vystihnout tvar zatáček.

Během sedmnáctého měření (obr. 21) došlo - po předchozím velmi přesném vystižení trasy - k prvnímu výraznému odchýlení na začátku zatáčky, kdy se měřená trasa náhle začíná pohybovat zcela opačným směrem, než kudy ve skutečnosti vede. Teprve po 235 m a sedmi zaznamenaných bodech dochází k prudké změně směru a následující bod již opět velmi dobře odpovídá skutečnosti. Po několika desítkách metrů, kdy je měřeno s mírnými odchylkami, se trasa poměrně přesně srovnává se skutečností. Pro hodnocení je nutné podle podmínky o změně azimutu odstranit první bod následující za prudkou změnou, čímž se přesnost ještě sníží. Pokud by však uživatel neměl k dispozici skutečný průběh trasy, odstranil by tento bod v domnění, že právě on je odlehlým pozorováním mimo správnou trasu. Obdobnou úpravu je nutné provést i u uložené trasy, která sice neobsahuje několik bodů z aktivní trasy, avšak právě krajní body vytvářející prudkou změnu směru v trase zůstaly i po uložení.

U trasy číslo 20 došlo na čtvrtém úseku ke stejnému jevu, jaký byl popsán u úseku druhého. Trasa je zaznamenána s intervalem 45 sec, proto přes blízkost zaznamenaných bodů skutečné hodnotě souřadnic v daném místě nedojde k vystižení správného tvaru trasy a zatáčky jsou v záznamu prakticky narovnány. To je nevýhodou nastavení záznamu podle uplynulého času, kdy je přesně stanovena doba záznamu souřadnic. Interval pak musí být dostatečně krátký, aby došlo k vystižení správného tvaru cesty. To však sebou přináší velké množství dat, přičemž jsou s vysokou frekvencí zaznamenávány i body na dlouhé rovině, kde jsou prakticky zbytečné. Řešením může být automatický záznam dat, otázkou zůstává, zda nejčastější automatický interval záznamu je dostatečně krátký pro vykreslení drobnějších změn v průběhu trasy. Také není zcela jasné, jak se automatický záznam chová v případě nedostatečného signálu, zda např. při velmi špatném signálu nepočká se záznamem dat na lepší podmínky. To by přineslo velkou výhodu oproti záznamu s časovým nebo délkovým odstupem, kdy jsou souřadnice zaznamenávány s pravidelným rozestupem zcela bez ohledu na podmínky příjmu či změny v souřadnicích. Při automatickém nastavení dochází k záznamům trasy mimo jiné po změně směru, není tedy zaznamenán vrchol zatáčky, ale až bod za ním, jehož vzdálenost od vrcholu zatáčky závisí také na rychlosti, kterou se GPS přijímač pohybuje a na čase, za který je přijímač schopen na změnu reagovat. Tím může docházet k „sekání“, zkracování zatáček.

U trasy číslo 23 je tvar zatáček částečně vystižen, došlo však k posunu záznamu přibližně o deset metrů směrem na východ. Takovéto měření by při nemožnosti srovnání se skutečným průběhem trasy bylo považováno za přesné, i kdyby měl uživatel k dispozici náčrtek z terénu s tvarem trasy.

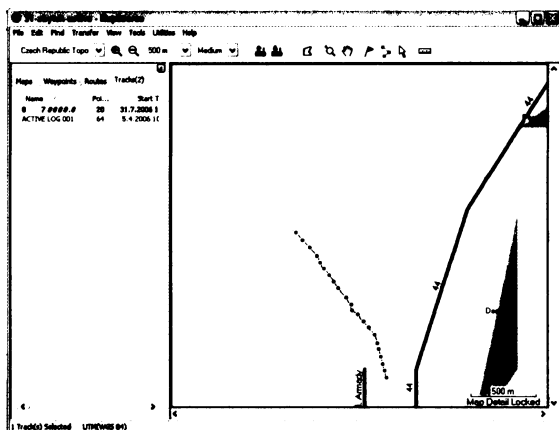
Nejméně častý automatický interval záznamu (26. záznam) může při dobrých podmínkách velmi dobře odpovídat zatáčkám v měřeném úseku, pouze v jižní části záznamu dochází k nevelkému odklonu od trasy v důsledku částečného pokračování záznamu ve směru prošlé zatáčky. Ještě lepší výsledek s nejméně častým intervalem byl získán při 29. měření.

Naopak u nejkratšího intervalu (30. záznam), který byl v rámci měření testován, tedy interval dvou vteřin, má uživatel jistotu, že dojde k záznamu všech změn pozice, které přijímač registroval. Nemusí se tak spoléhat na to, že přijímač jako při automatickém záznamu uloží bod právě ve chvíli, kdy dojde k důležité změně trasy.

Při vizuálním hodnocení kvality záznamu trasy velmi záleží na měřítku, v němž je trasa zobrazena. Při požadavku vysoké kvality by mělo být zobrazení co nejpodrobnější. Vizuální hodnocení tras měřených v rámci této práce bylo provedeno

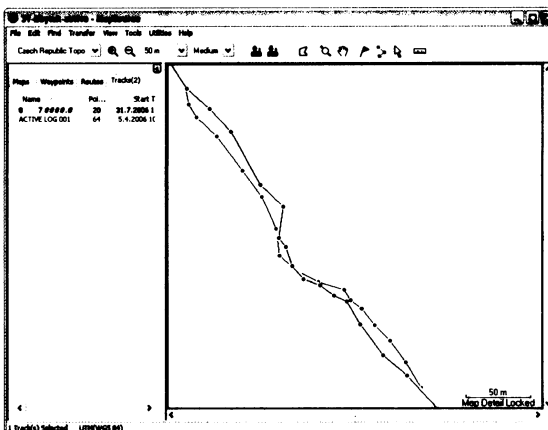
při maximálním možném přiblížení, ilustrace v této kapitole jsou vždy v takovém měřítku, aby byla co nejlépe vystižena oblast, která je popsána v textu. Na obr. 22, 23 je pro ilustraci zobrazena jedna trasa ve dvou různých měřítcích (grafické měřítko uvedeno vždy v pravém dolním rohu). Trasa na obr. 23 vykazuje značné odlišnosti od skutečného průběhu trasy, kdežto stejná trasa při menším měřítku na obr. 22 se již jeví jako velmi přesná. Možnost zoomování elektronických map je obecně pokládána za výhodu oproti mapách papírovým, na druhou stranu klade velké nároky na přesnost zákresu mapových prvků. Měření, prováděné za účelem zpřesnění kresby elektronických map, by mělo být provedeno s přesností dostačující pro měřítko při maximálním zoomu mapy a mělo by mít vždy o něco vyšší přesnost, než měření prováděná konečnými uživateli mapy. Pokud jsou však mapaři odkázáni na stejné přijímače jako uživatelé, měli by alespoň využít nejlepších dnes dostupných přístrojů a pokusit se způsobem měření či dalšími pomocnými metodami zvýšit přesnost a spolehlivost měření.

Obr. 22: Měření č. 31 – malé měřítko



Zdroj dat: vlastní měření

Obr. 23: Měření č. 31 – velké měřítko



Zdroj dat: vlastní měření

Při záznamu trasy číslo 35 došlo pravděpodobně ke ztrátě dostatečného množství satelitů pro určování pozice. Přijímač se s touto situací vyrovnává konstantní změnou některých souřadnic, trasa si tak udržuje směr, který měla v době posledního měření s dostatečným počtem satelitů. Při zlepšení podmínek tak může dojít k prudké změně souřadnic, přičemž první nově zaznamenaný bod má souřadnice relativně přesné. Pokud však dojde k velmi prudké změně souřadnic mezi dvěma body, uživatel se rozhodne pro odstranění právě prvního správného bodu, přestože špatnou pozici vykazují předchozí záznamy.

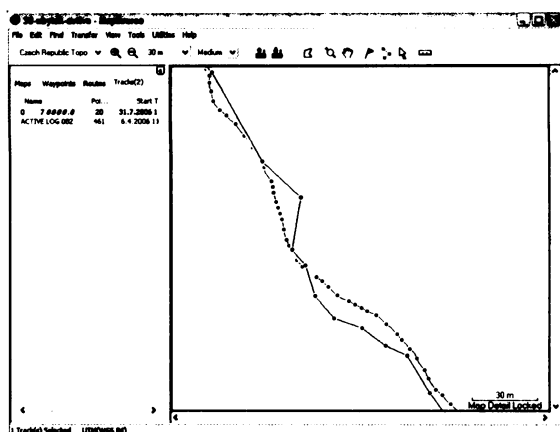
Při nejčastějším automatickém způsobu záznamu č. 36 dojde za dobrých podmínek k poměrně přesnému zachycení tvaru trasy, pouze nejprudší zatáčka je mírně generalizovaná (bod za vrcholem zatáčky odpovídá sice trase velmi přesně, je však právě až za samotným zlomem zatáčky, čímž dochází k jejímu zkrácení).

Podle vizuálního hodnocení jeden z nejhorších průběhů tras byl zaznamenan při 38. měření (obr. 24, podle hodnoty celkové chyby vyjádřené číselně patří toto měření k průměru). Přestože program Planning udával dobré podmínky pro měření, na trase se vyskytuje mnoho chyb. Ty jsou o to zřetelnější, že záznam byl proveden v intervalu dvou vteřin. Díky tomuto intervalu je také patrné, že nedošlo k chybě pouze při záznamu jednoho bodu, ale že přijímač určoval polohu chybně často velmi dlouho. K nepřesnostem nedošlo pouze v problematických zatáčkách, ale také v severní části zobrazené trasy (tedy před samotnými zatáčkami), kde přijímač na rovině zaznamenal neexistující zatáčku.

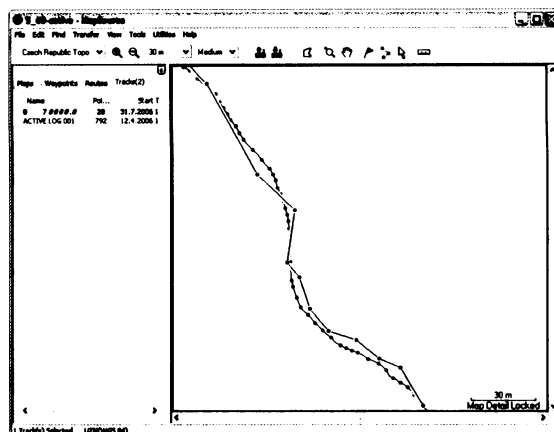
Přestože by podle programu Planning měly být během 43. měření špatné podmínky pro určování polohy pomocí GPS přijímačů, trasa zaznamenaná během této doby odpovídá skutečnému průběhu velmi dobře. Stejně kvalitní záznam byl získán i z prvních paralelních měření pomocí přijímače GPSmap 60Cx

Obr. 24: Čtvrtý úsek – 38. měření

Obr. 25: Čtvrtý úsek – 5. měření s GPSmap 60Cx



Zdroj dat: vlastní měření



Zdroj dat: vlastní měření

Trasa číslo 44 velmi pěkně vystihuje průběh zatáček, odchyluje se na následující jižní rovině. U většiny měření je tomu právě naopak.

Překvapivě nekvalitní je záznam číslo pět u přijímače GPSmap 60Cx (obr. 25). Toto měření se velmi dobře shoduje s měřením provedeným ve stejné době s přijímačem GPSmap 76S. U přijímače GPSmap 60Cx lze však tento záznam považovat za nekvalitní, kdežto pro přijímač GPSmap 76S je to běžný standard.

Několik málo měření bylo opravdu kvalitních po celé délce čtvrtého úseku (např. 49. měření). Pouze při bližším pohledu zjistíme, že došlo k určitému vyhlazení zatáček.

Měření číslo 52 vykazuje již na začátku čtvrtého úseku (sever) v jeho rovinné části relativně konstantní odchylku. V celém úseku má měřená trasa téměř rovinný průběh, velikost vzdálenosti od skutečných souřadnic trasy se mění jen díky zatáčkám, které vytváří referenční trasa. Měření provedené ve stejné době přijímačem GPSmap 60Cx je jedním z horších měření provedených tímto přístrojem, avšak narozdíl od naprosto nepoužitelného paralelního záznamu přijímačem GPSmap 76S toto měření odpovídá skutečnosti do té míry, že by mohlo být použito pro zpřesnění zakresu trasy.

Prvních šest měření s přijímačem GPSmap 76S na pátém úseku odpovídá velmi pěkně skutečnému průběhu trasy. Úsek vede velmi podobným lesem, jako úsek předchozí, trasa má však víceméně rovinný charakter, proto se zde případné chyby v určování polohy tolik neprojeví. Na tomto úseku tedy není příliš možné posuzovat, zda trasa svým tvarem odpovídá skutečnému průběhu, rozdíly jsou dány spíše konstantním odstupem měřené trasy od trasy skutečné.

U 10., 23. a 38. měření přijímačem GPSmap 76S nastal případ, kdy přijímač nebyl schopen kopírovat tvar jediné mírné zatáčky, která se na celém úseku vyskytuje. Tato chyba se nejeví jako příliš významná, protože tvar zatáčky není tak výrazný, aby bylo nutné jej přesně dodržet. Chyba však naznačuje velmi špatné měření, protože s dlouhou plynulou zatáčkou by se mělo každé měření snadno vyrovnat. Proto také měření, které na tomto úseku zaznamená chybu, vykazuje velmi zřetelné chyby i u čtvrtého úseku, kde jsou díky tvaru cesty nároky na přesnost záznamu podstatně větší.

Zkrácení zatáčky se objevilo i během 7. měření s přijímačem GPSmap 60Cx, v tomto případě jde však o mnohem menší chybu co se týče vzdálenosti od skutečného průběhu trasy i délky trvání nepřesnosti.

Během 31. měření GPSmap 76S se na pátém úseku při nejčastějším automatickém záznamu dat vytvořila v jižní části poměrně výrazná zatáčka navíc, měření se zpřesňuje ve střední části, aby za zatáčkou vykazovalo téměř konstantní chybu v určení pozice (posun na východ).

Obdobná chyba jako u předchozího měření (vytvoření neexistující zatáčky), avšak v menším rozsahu, vznikla i při 44. měření, kdy byl nastaven záznam dat po dvou vteřinách. Zatáčky se nezbavíme ani při uložení dat, dosáhneme pouze toho, že zatáčka bude tvořena jediným bodem. Pokud lze usuzovat z 31. měření, tato zatáčka by vznikla i v případě, že by byl nastaven automatický režim záznamu dat. Naproti tomu měření provedené ve stejné době přijímačem GPSmap 60Cx nezaznamenalo žádnou neexistující zatáčku, pouze v jižní části úseku se začíná mírně odchylovat od skutečného průběhu trasy.

Při 52. měření byla zaznamenána trasa velmi přesně v severní části úseku (tedy při lepším výhledu na severní oblohu), na opačné straně kopce (při výhledu na jih) se jeden bod výrazně odchytil od skutečnosti, a ani další průběh trasy není moc přesný. Na úplném jižním konci trasy by mohly být chyby vysvětleny přítomností stínícího kopce dále na jihu.

Obdobné chyby, avšak mnohem menší v absolutních hodnotách, se vyskytly i u měření provedeného ve stejnou dobu přijímačem GPSmap 60Cx.

Trasy z Vidnavska

Trasy z oblasti Vidnavska byly staženy z GPS přijímačů do počítače prostřednictvím programu MapSource. V tomto programu byly také trasy zobrazeny nad mapou TOPO50.

Mezi měřenou trasou a trasou zobrazenou na mapě TOPO50 existuje významný rozdíl. Tento rozdíl je u velké části tras systematický (posun cest v mapě oproti měření, stejně tak evidentní chyby v zákresu lesa a vodstva), měřené trasy nevykazují náhlé změny, proto je možné chyby pokládat za chyby mapy. Tyto chyby jsou obvykle systematickými posuny celé cesty, patrné jen díky kombinaci mapy s GPS přijímačem, výjimečně se objeví evidentní chyby na křižovatkách cest, které by byly zřetelné i při klasickém užití papírových mapových podkladů (viz obr. 26 – severojižní cesta uprostřed mapy nezačíná u rybníka, ale o několik desítek metrů dále na západ v lese – tak jak ukazuje měřená trasa).

Při zobrazení tras nad mapou pro OB není možné provádět přesná měření, protože tato mapa není dostatečně přesná co se týče absolutních souřadnic mapových prvků. Míra souhlasu mapy s měřenou trasou také klesá s rostoucí vzdáleností od identických bodů, které byly použity pro usazení mapy do souřadnic UTM. Přesto lze toto porovnání použít pro vizuální zhodnocení správnosti průběhu tras, protože mapa má velmi dobrou relativní přesnost (tvar zatáček cest, tvar křižovatek, ...).

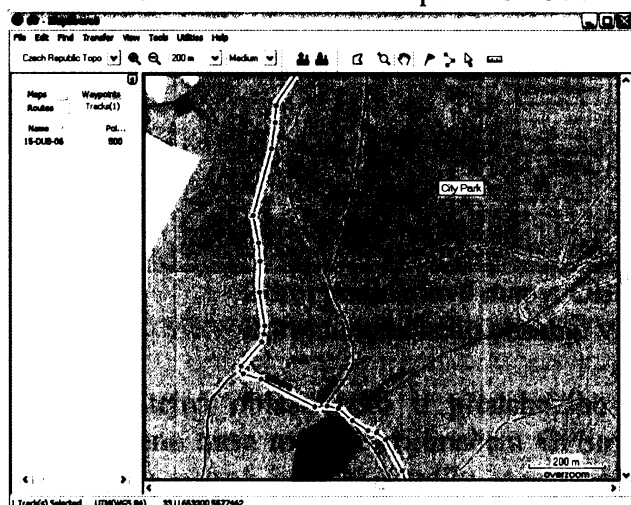
Správné umístění výše diskutované cesty na křižovatce za rybníkem je patrné na obr. 27. Ve fialovém oválu je vyznačen chybný záznam polohy cesty v severní části pomocí GPS přijímače GPSmap 76S. Chyba je patrnější u trasy projížděné ve směru ze severu, tedy západnější záznam. Větší chyba mohla vzniknout v důsledku pohybu z kopce, tedy při větší rychlosti. Tomu odpovídá i menší frekvence záznamu bodů a s tím související tvar trasy (dlouhé, ostře lomené přímkami namísto plynulého tvaru). To však nevysvětluje nepřesnost měření při cestě opačným směrem.

Záznam úseku přijímačem GPSmap60Cx nečinil tomuto přijímači vůbec žádný problém.

Trasa měřená opět přijímačem GPSmap 76S v druhý den měření z velké části tras velmi dobře vystihuje jejich skutečný tvar (příloha 23). Jediná, zato však významná chyba, byla na široké lesní cestě. Zde byla opět rychlost pohybu (necelých 20 km/hod) větší než průměr (11 km/hod), avšak i v jiných částech tras na této oblasti byla rychlost srovnatelná nebo dokonce vyšší (30 km/hod), aniž by se přitom zhoršila přesnost v záznamu trasy. Chyba v záznamu není ani tak v absolutní hodnotě rozdílu měřené a skutečné trasy, jako v nepřesném vystižení tvaru cesty.

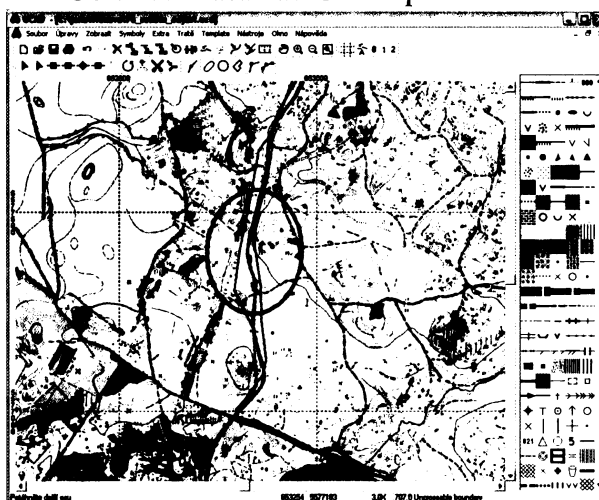
Úsek cesty z přijímače GPSmap 60Cx je vykreslen velmi dobře. Lépe než u prvního přijímače odpovídají také trasy v dalších částech mapy.

Obr. 26: Trasa nad mapou TOPO50



Zdroj podkladové mapy: TOPO50

Obr. 27: Trasa nad OB mapou



Zdroj podkladové mapy: OB mapa

Zdroj tematického obsahu: vlastní měření

K obdobné situaci jako došlo také u cest na jihovýchodě – ve dvou úsecích se opět obě dvě měření přístrojem GPSmap 76S významně liší od skutečného průběhu tras (příloha 23). Tentokrát chyba není na straně vysoké rychlosti pohybu, pravděpodobná příčina bude ve špatných podmínkách pro příjem v těchto úsecích. U východního úseku se bude nejspíš jednat o ovlivnění okolními svahy (trasa je vedena údolím o relativní hloubce maximálně padesát metrů), západní úsek je ve vrcholové části, příčina chyby bude tedy nejspíše v okolním porostu. Mapy pro OB zobrazují i charakter porostu, bílá barva znamená průběžný les, pro hustý les existují tři odstíny zelené. Z porovnání tras s OB mapou je však patrné, že pro kvalitu satelitního signálu není rozhodující hustota okolního porostu, jako spíše jeho výška, která ovšem v mapách zaznamenána není. Že hlavní příčinou chyb je opravdu charakter úseku, je patrné i díky faktu, že chyby nastaly opakovaně ve stejné oblasti, kdežto v dalších částech již trasy velmi dobře kopírují skutečný průběh cesty při obou měřeních. Pokud by byla příčina v krátkodobé změně kvality signálu vysílaného satelity či v geometrii satelitů, k opakování chyb na stejném úseku by nedošlo.

Měření na obr. 29 poměrně dobře odpovídá skutečnému průběhu tras. Měření s menšími chybami odpovídá tvarem cest mapě, v místech zdvojeného měření dochází k občasným chybám, které ovšem již nejsou tak výrazné jako u předchozích případů. Ve východní části mapy došlo ke ztrátě signálu pravděpodobně z důvodu umístění gumičky přidržující přijímač k batohu přes vypínací tlačítko (k tomuto nemůže dojít u přijímače GPSmap 60Cx, jelikož zde je tlačítko umístěno na horní straně přístroje vedle antény).

Ve výřezu na obr. 28 odpovídá měření pomocí přijímače GPSmap 60Cx mapě pro orientační běh asi nejméně z celého měření. Zdvojené trasy si však navzájem velmi dobře odpovídají, drobné tvary cest jsou také vystiženy dobře. Posun měřeného záznamu oproti mapě, který má systematický charakter, je tedy možné přisoudit nepřesnému usazení mapy do souřadnic.

Obr. 28: Trasa přijímače GPSmap 60Cx



Obr. 29: Trasa přijímače GPSmap 76S

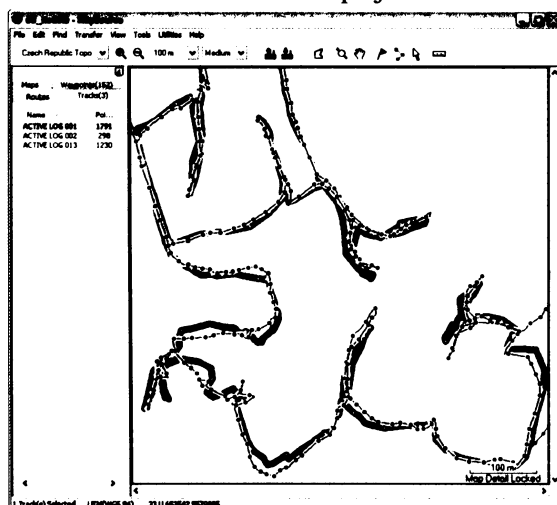


Zdroj podkladové mapy: OB mapa

Zdroj tematického obsahu: vlastní měření

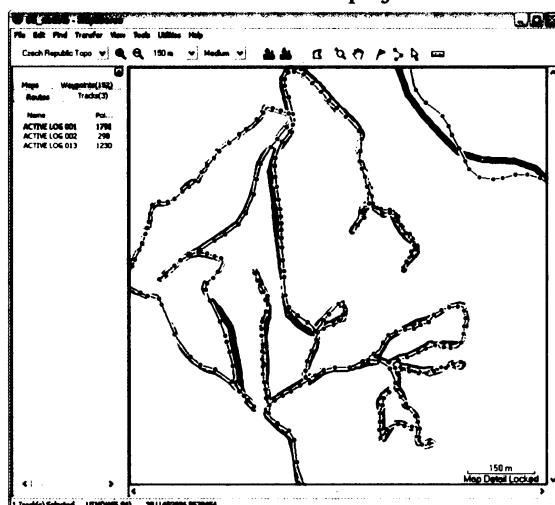
Stejná oblast, jako u předchozího obrázku je také na obr. 30, zeleně je vyobrazena trasa měřená přijímačem GPSmap 76S, žlutě přijímačem GPSmap 60Cx. Zde jsou patrné některé rozdíly mezi měřeními oběma přijímači. Rozdíly dosahují maximálních hodnot mezi 15 a 20 m. Výjimkou je konec trasy uprostřed výřezu, kdy měření s GPSmap 60Cx přesahuje o 29 m měření s přijímačem GPSmap 76S (podle porovnání s mapou je správně měření s GPSmap 60Cx). Na obrázku 31 již rozdíly mezi přijímači, s výjimkou cesty na severovýchodě, nejsou tolik patrné.

Obr. 30: Porovnání obou přijímačů 1



Zdroj dat: vlastní měření

Obr. 31: Porovnání obou přijímačů 2



Zdroj dat: vlastní měření

Trasa na Dlouhých stráních

Porovnání tras získaných měření na asfaltové silnici okolo horní přečerpávací nádrže Dlouhé stráně s mapou TOPO50 je prakticky zbytečné, neboť tato silnice v mapě překvapivě zcela chybí. Přesto je možné v programu MapSource zhodnotit, jak velkých rozdílů mezi jednotlivými měřeními téže trasy bylo dosaženo. Celkově jsou rozdíly velmi malé, což odpovídá prostředí měření, největší hodnota rozdílu mezi jednotlivými trasami je asi osm metrů. Měření, provedená podle programu Planning za nepříznivých podmínek, nevykazují vyšší chyby a EPE, udávaná během měření, také nebyla vyšší. Kvůli velmi malým velikostem rozdílů mezi jednotlivými měřeními nebyla pro tuto trasu vůbec získávána referenční trasa. Oblast je zneprístupněna pro běžný provoz automobilů (v nichž musí být geodetická GPS aparatura převážena), navíc měřené rozdíly tras od skutečnosti jsou tak malé, že by nebylo možné jednoznačně určit, v které části přijímače dosahovaly lepších výsledků, proto byla zamítnuta také možnost koupě leteckého snímku od firmy Geodis Brno a získání referenční trasy ze snímku.

Trasa v oblasti Háje

Během měření v oblasti Háje byla část tras zaměřena při nastavení GPS přijímačů tak, aby přijímaly korekce EGNOS (trasy číslo 10 – 17 a 27 – 32). Při žádném z měření však nebyly korekce zaznamenávány. Před samotným měřením byly přijímače ponechány dlouhou dobu v klidu, aby mohly být prohledány satelity, vysílající korekce EGNOS. Mezi měřeními č. 13 a 14 bylo měřeno několik minut mimo les, v oblasti byl celkově velmi dobrý signál, avšak pravděpodobně kvůli lesu, který byl od místa měření vzdálen asi dvacet metrů směrem na jih a bránil tak částečně výhledu na oblohu, se ani zde nepodařilo korekce zachytit. Po dvou dnech měření byl proveden pokus zachytit korekce v místě se dobrým výhledem na jih. Ani po dvaceti minutách, kdy byly přijímače ponechány v klidu, se nepodařilo korekce přijmout.

Další pokus o zachycení signálu EGNOS byl proveden dne 11.8.2006. Měření probíhalo uprostřed polí, na mírné elevaci, s velmi dobrým výhledem na oblohu do všech světových stran. Ani po 45 minutách měření nebyly korekce přijímány. Přijímač GPSmap 60Cx obsadil jedenáct z celkových dvanácti kanálů GPS satelity. Asi po pěti minutách měření se vždy na jednu až dvě vteřiny objevil na stránce satelitů satelit s číslem větším než třicet (tedy pravděpodobně EGNOS satelit), poté se na stejné pozici přibližně na deset vteřin ukázal satelit číslo devět. Satelity se několikrát takto vystřídaly, poté nebyl zachycen ani jeden ze satelitů. Asi po půl hodině měření se jednou za čas začaly na 1 – 2 vteřiny objevovat satelity číslo 33 a 37 na jižní části oblohy. Přijímač GPSmap 76S naproti tomu již od začátku měření ukazoval pod dvěma prázdnými sloupečky, které v případě příjmu signálu indikují jeho intenzitu, satelity s čísly 37 a 49. Zatímco kanál s číslem 49 nevykazoval žádné změny po celou dobu měření, objevuje se po 20ti minutách na „obloze“ pozice satelitu číslo 37. Po dalších pěti minutách se sloupeček u čísla 37 vždy na 30 – 40 vteřin slabě vybarví, poté se místo něj na 30 – 40 vteřin objeví satelit číslo 48. Po čtyřiceti minutách měření byly přijímače vypnuty a znovu zapnuty, během dalších pěti minut však nebyly zaznamenány žádné změny oproti předchozímu stavu, proto byly pokusy o zachycení korekcí EGNOS ukončeny.

Při zapnutém příjmu korekcí EGNOS si přístroj GPSmap 76S ponechává dva z celkových dvanácti kanálů zcela volné pro příjem signálů ze satelitů, vysílajících korekce. Přestože nejsou korekce přijímány, musí se ostatní satelity podělit o zbývajících deset volných kanálů.

Při zapnutých korekcích EGNOS se u přijímače GPSmap 76S při měření trasy na Háji zvýšila udávaná EPE z předchozích 7 – 8 m na 11 – 13 m. Toto zjištění není podloženo záznamy, neboť přijímače hodnotu EPE neukládají, ale bylo pouze vypořováváno během měření a jeho váha tedy není příliš velká.

Na začátku měření byl obvykle signál zachycen během několika vteřin, poloha určena nejpozději po prvních desítkách vteřin. GPSmap 60Cx určoval polohu pravidelně během několika sekund. Přijímače byly vždy na začátku prvního měření toho dne ponechány asi dvě minuty v klidu, vždy ještě určitou dobu poté, co přijímač GPSmap 76S přestal vykazovat klesající hodnotu EPE. Na začátku čtrnáctého měření na Háji, při zapnutých korekcích EGNOS, nemohl přijímač GPSmap 76S zaměřit svou polohu. Po nahlášení ztráty signálu byl vypnut a znovu zapnut. Při pokusu položit přijímač na zem a poodejít, aby nebyl zastíněn tělem uživatele, došlo okamžitě ke ztrátě signálů, které přijímač předtím zachytil (aniž by z nich byl schopen vypočítat polohu). Příčinou byl pravděpodobně zvýšený okraj cesty, který způsobil větší zastínění, než tělo uživatele. Poloha byla zaměřena po sedmnácti minutách, na malé pasece nad první zatáčkou trasy, s přijímačem držným nad hlavou uživatele. Udávaná hodnota EPE byla přes 90 m (přitom při předchozích měřeních byla po zapnutí přijímače maximální hodnota udávané EPE do 50 m a rychle se snižovala), ve skutečnosti první zaznamenaný bod leží přes 250 m od skutečné pozice, pátý bod ještě 200 m a až po 75 vteřinách zaznamenaný šestý bod přibližně odpovídá správné pozici. Během dalšího měření již nedošlo ke ztrátě signálu.

Po vypnutí příjmu korekcí EGNOS je zapotřebí i několik minut počkat, než přijímač znovu obsadí kanály po EGNOS satelitech satelity GPS. K tomu za špatných podmínek nemusí dojít vůbec.

Při zobrazení trasy měřené geodetickým GPS přijímačem v oblasti Háje nad mapou TOPO50 zjistíme, že cesta v mapě je posunuta o 25 – 70 m oproti měření, rozdíl se zvětšuje směrem na východ. Tvarem cesta zhruba odpovídá skutečnosti.

První měřená trasa byla z celkového hodnocení vyřazena, protože trvá nejistota, zda chyba na začátku trasy (západní část) nebyla způsobena příliš krátkou dobou, po kterou byly přijímače ponechány v klidu před samotným měřením. K tomuto jevu může docházet zejména při zapnutí GPS přijímače po delší době nebo po přesunu vypnutého přijímače na vzdálené místo. Chyba měření přijímače GPSmap 76S ve východní části trasy, kde přijímač GPSmap 60Cx velmi přesně kopíruje průběh trasy, je již způsobena špatným příjmem signálu, který může nastat kdykoli během měření.

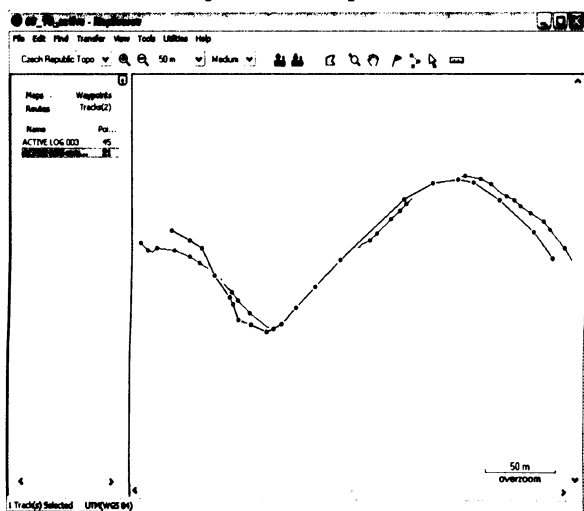
Častým problémem, se kterým se při hodnocení přesnosti měření setkáváme, je zkracování zatáček. Tento jev je zcela samozřejmý při dlouhém intervalu záznamu, kdy měřené body mohou ležet na správné trase, ale kvůli velkým vzájemným vzdálenostem je průběh trasy zkrácen. Při druhém měření s přijímačem GPSmap 60Cx vznikl podobný jev při nejčastějším intervalu záznamu. Tentokrát však ani měřené body neleží na trase, ale uvnitř zatáčky. Zdá se, jakoby přijímač měřením zaostával za svou skutečnou polohou a srovnal se až po určité době pohybu na rovné trase. Ve stejnou dobu bylo provedeno měření přijímačem GPSmap 76S. Narozdíl od měření s GPSmap 60Cx chybí tento záznam již v předcházejícím úseku (měřeno od východu), kdy po poměrně dobrém projití zatáčky pokračuje v plynulé změně směru, přestože ve skutečnosti se již má pohybovat rovně.

Poslední záznamy prvního dne měření jsou vyobrazeny na obr. 32 a 33, (žlutě je zvýrazněna trasa měřená geodetickou GPS aparaturou, bílá trasa odpovídá měření s ručním přijímačem). Oba přijímače chybí v první části trasy, GPSmap 60Cx se poté

srovnává a chybí opět až za další zatáčkou. Přijímač GPSmap 76S chybí i na rovné stěně a za zatáčkou již vůbec nekopíruje tvar trasy.

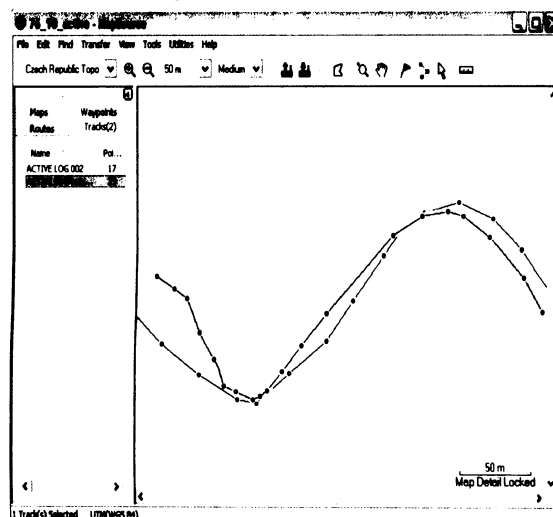
Měření s přijímačem GPSmap 60Cx vykazují nejčastěji chyby v počátečním a koncovém úseku trasy, na dlouhé cestě s výhledem na jihovýchod se měření zdá obvykle nej přesnější, naopak přijímač GPSmap 76S mívá spíše problémy se střední částí trasy. Mezi jednotlivými úseky trasy nebyly výrazné rozdíly v okolním porostu, pouze v samotných zatáčkách byl výhled na oblohu o něco větší.

Obr. 32: Háj – GPSmap 60Cx



Zdroj dat: vlastní měření

Obr. 33: Háj – GPSmap 76S



Zdroj dat: vlastní měření

Patnácté měření je záznam měření při intervalu dvou vteřin. Srovnání měřené trasy se skutečnou odhalí přítomnost jakési „zatačky v zatáčce“. Je otázkou, zda by se při automatickém záznamu trasy tato zatáčka vytvořila. Při uložení trasy je vzniklá zatáčka tvořena jediným bodem, nutí tedy uživatele při zpracování dat více přemýšlet, zda zatáčka skutečně existuje. Nastavené kritérium pro odfiltrování odlehlých hodnot však bod v tomto konkrétním případě nevymaže.

Uložená 16. trasa se opět velmi významně odchyluje od skutečnosti ve střední části záznamu. Aktivní záznam z přijímače GPSmap 60Cx ze stejné doby vykazuje několik menších zatáček navíc (trasa se jakoby vlní). Ještě výraznější je tento jev při 18. měření s GPSmap 76S. Při uložení trasy se zatáčky mírně srovnají, při ručním zpracování je pak možné poměrně snadno vytvořit plynulou trasu. V tom případě se však vystavujeme nebezpečí, že eliminujeme i zatáčky, které ve skutečnosti existují.

Přestože 11. měření s přijímačem GPSmap 60Cx odpovídá velmi dobře skutečnosti, při měření s přijímačem GPSmap 76S ve stejné době došlo k výpadku signálu v severní části trasy (příloha 20). Během měření došlo po výpadku signálu ke snížení rychlosti pohybu a snaze natočením antény přijímače získat co nejlepší signál. Další bod byl zaznamenán ve vzdušné vzdálenosti 43 m od posledního bodu. Z trasy není možné získat uloženou trasu (ukládá se až od okamžiku nového získání pozice). Rozdíl azimutů mezi body v této části trasy je maximálně 68°, nespĺňují tedy podmínku pro odfiltrování odlehlých hodnot. Ani vzdálenost bodu od přímky spojující sousední body by v tomto případě nebyla dostatečně velká (okolo tří metrů). Trasa je tedy hodnocena přesně tak, jak byla naměřena, mezi poslední bod před ztrátou signálu a první bod po opětovném zaměření pozice byla vložena přímka.

Pokud by došlo k ruční úpravě dat v tomto úseku bez znalosti přesného průběhu trasy, uživatel by se pravděpodobně snažil protáhnout zatáčku po ztrátě signálu tak, aby

na sebe měřené úseky plynule navazovaly. To by ještě prodloužilo zatáčku, která již tak přesahuje příliš na sever. Ve skutečnosti zaznamenával přijímač pozici před samotnou ztrátou signálu již delší dobu z nedostatečného množství satelitů, některé parametry proto považoval za konstantní. Tak vznikla zřetelná přímková trasa definovaná několika posledními body před ztrátou signálu. Tyto body jsou tedy evidentně špatné nejen svou pozicí, ale i tvarem trasy, kterou tvoří. Při úpravě dat by bylo tedy potřeba nejdříve tyto body zcela vymazat a teprve poté doplnit chybějící úsek na plynulou zatáčku.

Obdobný případ jako u patnácté trasy nastal i v případě trasy číslo dvacet dva. Zde se ale jako výhodnější jeví použití aktivního záznamu trasy. U něj je totiž evidentní, že zatáčka je tvořena jediným bodem a proto je pravděpodobné, že se jedná o odlehlejší měření, které je potřeba vymazat. U uložené trasy bývají malé zatáčky tvořeny jediným bodem i v případě, že v aktivní trase jsou tvořeny více body. Trvá tedy nejistota, zda byl opravdu naměřen pouze jediný bod a je možné jej bezpečně vymazat, nebo je zatáčka tvořena více body, a pak je zapotřebí zvážit, zda se u všech bodů jedná o odchylku, nebo zatáčka skutečně existuje.

Prvním měřením s přijímačem GPSmap 76S, které odpovídá skutečnosti, je čtyřicet měření. To je zároveň jediným měřením, při němž se zdá, že přijímač GPSmap 76S vystihl skutečný průběh trasy lépe než přijímač GPSmap 60Cx (podle číselného hodnocení bylo záznamů, kdy GPSmap 76S vystihl skutečný průběh trasy lépe než přijímač GPSmap 60Cx, celkem sedm ze třiatřiceti hodnocených tras). I další měření s oběma přijímači jsou evidentně kvalitnější, přestože by podle programu Planning mělo dojít ke zhoršení podmínek.

Měření při pohybu v zatáčkách je pro GPS přijímače samozřejmě daleko těžší, než při pohybu na rovině. Pokud je přijímán signál z nedostatečného počtu satelitů, na rovině nemusí dojít k chybám mezi měřenou trasou a jejím skutečným průběhem. Při změně směru se však chybám nevyhneme a dochází nejčastěji k plynulému zvětšení nebo naopak zmenšení poloměru zatáčky. Tento jev však nevysvětluje vznik chyb, jaké jsou patrné 27. měření přijímačem GPSmap 60Cx, kdy v zatáčce dochází ke vzniku dalších nepravidelností.

Celkově lze po vizuálním hodnocení určit několik chyb, kterých se přijímače během měření dopouští.

V první řadě jde o zcela špatné určení pozice na začátku měření (Háj – 1. měření oběma přijímači). Jedná se o chybu, jejíž vznik je zaviněn uživatelem, který nevyčkával s přijímačem v klidu po dostatečně dlouhou dobu.

Jednou z nejčastějších chyb, které byly pozorovány, je zkracování zatáček (Háj – 2. měření přijímačem GPSmap 60Cx), kdy přijímač není schopen získat přesnou polohu, jakoby za ní zaostává a srovnává se až po určité době pohybu po rovině. Obdobnou chybou je generalizace tvaru zatáček (Čtvrtý úsek -12. měření přijímačem GPSmap 76S), kde nedochází pouze ke zkracování zatáčky, ale na druhé straně i k jejímu prodloužení a získání plynulejšího tvaru zatáčky, který ovšem neodpovídá skutečnosti.

Zatáčky jsou obecně zdrojem velkých chyb a přijímače si s nimi někdy vůbec neporadí. Změny polohy sice registrují, ale vytváří zatáčky zcela odlišných tvarů (Čtvrtý úsek -7 měření přijímačem GPSmap 76S).

Velmi často dochází také k vytváření zcela nových zatáček, ať už v místech změn polohy, nebo na rovinách (Háj – 15 a 16 měření přijímačem GPSmap 60Cx, 18. měření přijímačem GPSmap 76S).

Po registraci zatáčky se v některých případech přijímač není schopen srovnat s rovinným průběhem trasy a pokračuje ještě nějakou dobu ve změnách pozice takovým

způsobem, že záznam pokračuje ve vykreslování zatáčky (Čtvrtý úsek – 6. měření přijímačem GPSmap 76S).

Pokud v úseku trasy se špatnými podmínkami pro příjem signálu (lesní porost) dojde k výraznému odchýlení záznamu od skutečného průběhu trasy, po zlepšení podmínek (otevřený prostor) se záznam postupně plynule vrací do správné pozice (Třetí úsek -52. měření přijímačem GPSmap 76S).

V některých případech přijímač zaznamenává správný tvar trasy, ale posunutý o několik metrů od skutečné pozice (Čtvrtý úsek -7. měření přijímačem GPSmap 76S).

Při špatných podmínkách pro příjem signálu může dojít k registraci pozic, které se vzdalují od skutečného průběhu trasy, zcela bez ohledu na tvar cesty (Čtvrtý úsek -17. měření přijímačem GPSmap 76S). Směr pohybu přitom může být zcela odlišný od směrů mezi posledními body, které byly zaznamenány správně.

Pokud přijímač ztratí dostatečný počet signálu pro určení polohy, začne jednu či více souřadnic považovat za konstantní do doby, než opět získá signál z více satelitů. Směr trasy pak odpovídá směru mezi posledními správně určenými body a chyba je zjištělná až ve chvíli, kdy se tvar trasy změní. Po získání správné pozice dojde ke skokové změně a první zaznamenaný bod již odpovídá správnému průběhu trasy (Čtvrtý úsek -35. a 52. měření přijímačem GPSmap 76S).

Při příliš dlouhém intervalu záznamu dochází v zatáčkách trasy k rozporům mezi měřenou trasou a jejím skutečným průběhem, přestože jsou body měřené trasy zaznamenány s vysokou přesností (Druhý úsek -20. měření přijímačem GPSmap 76S Čtvrtý úsek -20. měření přijímačem GPSmap 76S).

Za některých okolností může dojít ke ztrátě signálu, kdy přijímač není schopen určit pozici (Háj – 21. měření přijímačem GPSmap 76S). Tomu obvykle předchází měření s konstantní změnou některých souřadnic.

Některá měření se po celou délku úseku zcela odlišují od skutečného průběhu trasy (Háj – 10. měření přijímačem GPSmap 76S), přičemž posun není systematický, ani není možné najít určitý důvod chyby, jak tomu bylo u předchozích případů.

11.3 Číselné porovnání měřených tras

Trasa Šumperk – Nové Domky

Trasa Šumperk – Nové Domky byla hodnocena číselně pomocí velikosti odchylek měřené trasy od trasy skutečné (měřené geodetickou GPS aparaturou). Hodnocení bylo provedeno zvlášť podle jednotlivých úseku trasy, které se navzájem lišily vnějšími podmínkami pro příjem GPS signálu. U této trasy byla porovnávána měření provedená s rozdílným intervalem záznamu, měření s externí anténou a bez ní a měření provedená přijímačem GPSmap 76S a GPSmap 60Cx. Pro hodnocení byly vybrány charakteristiky celková chyba měření, medián měření a maximální dosažená chyba na úseku.

Měření s rozdílným intervalem záznamu bylo provedeno vždy po třech měřeních pro jednotlivé nastavení. Celková chyba je vždy součtem celkových chyb ze šesti záznamů (tři aktivní záznamy, tři uložené), uvedený medián je mediánem spočteným ze šesti záznamů a maximální chyba je největší chyba těchto záznamů. Tato měření byla provedena pouze přijímačem GPSmap 76S. Výsledky jsou uvedeny v tab. 6, nastavení bylo použito podle časového intervalu 2 – 45 sec, automatický záznam byl použit ve všech pěti intervalech, které přijímač umožňuje (nejméně často, méně často, normálně, často, nejčastěji).

Tab. 6: Chyby měření podle nastavení záznamu dat

Pořadí podle celkové chyby										
První úsek										
Nastavení	10 sec	30 sec	méně	nejčastěji	normálně	2 sec	20 sec	často	nejméně	45 sec
Chyba (m)	218,8	286,8	396,0	406,9	478,4	499,6	551,1	553,2	609,8	651,0
Druhý úsek										
Nastavení	méně	často	10 sec	normálně	2 sec	30 sec	nejméně	nejčastěji	20 sec	45 sec
Chyba (m)	137,6	206,4	218,8	246,4	282	286,8	293,3	297,8	331,5	505,8
Třetí úsek										
Nastavení	méně	často	nejčastěji	normálně	nejméně	10 sec	30 sec	2 sec	45 sec	20 sec
Chyba (m)	91,1	99,4	114,4	120,1	126,5	137,3	151,0	160,3	213,3	218,9
Čtvrtý úsek										
Nastavení	méně	2 sec	nejčastěji	nejméně	normálně	10 sec	často	30 sec	45 sec	20 sec
Chyba (m)	356,1	414,3	444,2	520,1	544,3	580,8	681,8	848,5	1054,1	1261,2
Pátý úsek										
Nastavení	10 sec	méně	nejméně	2 sec	30 sec	normálně	často	45 sec	20 sec	nejčastěji
Chyba (m)	209,9	256,7	309,8	364,4	370,6	486,8	539,6	638	771,3	911,3
Pořadí podle mediánu chyb										
První úsek										
Nastavení	méně	30 sec	10 sec	2 sec	často	normálně	nejčastěji	nejméně	20 sec	45 sec
Medián (m)	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	2,2
Druhý úsek										
Nastavení	méně	často	30 sec	2 sec	10 sec	normálně	45 sec	nejméně	20 sec	nejčastěji
Medián (m)	0,6	0,7	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,6
Třetí úsek										
Nastavení	často	méně	nejčastěji	nejméně	normálně	10 sec	2 sec	30 sec	20 sec	45 sec
Medián (m)	0,7	0,9	1,1	1,1	1,2	1,2	1,5	1,6	2,0	3,0
Čtvrtý úsek										
Nastavení	méně	nejčastěji	nejméně	2 sec	10 sec	normálně	často	45 sec	30 sec	20 sec
Medián (m)	2,1	2,4	2,7	2,8	3,7	4,1	4,7	7,4	7,9	9
Pátý úsek										
Nastavení	10 sec	méně	2 sec	30 sec	nejméně	normálně	20 sec	45 sec	často	nejčastěji
Medián (m)	1,4	2	2,4	2,8	3	3,6	4,8	4,9	5,6	6,9
Pořadí podle maximálních chyb										
První úsek										
Nastavení	10 sec	30 sec	nejčastěji	méně	2 sec	20 sec	45 sec	nejméně	normálně	často
Max. chyba (m)	3,8	3,8	3,9	4,2	4,4	4,5	4,5	4,8	5,3	6,8
Druhý úsek										
Nastavení	méně	normálně	nejčastěji	10 sec	nejméně	často	2 sec	20 sec	30 sec	45 sec
Max. chyba (m)	2,3	2,9	3	3,5	4,5	4,7	5	9,9	9,9	12,6
Třetí úsek										
Nastavení	méně	často	nejméně	nejčastěji	10 sec	30 sec	normálně	45 sec	2 sec	20 sec
Max. chyba (m)	2,9	4,1	4,2	4,3	4,7	5,2	6,2	6,3	7,0	7,8
Čtvrtý úsek										
Nastavení	méně	2 sec	nejméně	normálně	nejčastěji	10 sec	často	30 sec	45 sec	20 sec
Max. chyba (m)	10,4	11,1	14,4	15,6	15,7	16,3	18,6	21,2	29,8	50,1
Pátý úsek										
Nastavení	10 sec	méně	nejméně	30 sec	často	normálně	2 sec	45 sec	20 sec	nejčastěji
Max. chyba (m)	9,2	11	13,8	14,8	16,2	16,8	19,1	21,1	22,6	31,5

Zdroj dat: vlastní měření

Z tabulky je patrné, že u prvních dvou úseků, které vykazovaly nejlepší podmínky pro příjem signálu, bylo dosaženo nejmenších chyb. Naopak největší chyby byly zaznamenány na pátém a zejména pak na čtvrtém úseku.

Pokud jako přijatelnou bereme chybu v určení polohy 25 m, pak pouze při třech nastaveních byla tato hranice překročena (u čtvrtého úseku u nastavení po 20 a 45 vteřinách, u pátého úseku při nejčastějším nastavení). Je zřejmé, že tyto hodnoty nebyly naměřeny v důsledku nastaveného režimu záznamu, ale kvůli momentálním podmínkám při měření.

Při automatickém záznamu trasy dochází k poměrně častému ukládání bodů. I při nejméně častém intervalu dochází k uložení trasového bodu každých 20 – 30 sec v závislosti na rychlosti změn souřadnic. Nejhorších výsledků je tedy dosaženo při nastavení podle uplynulého času při nízké frekvenci ukládání (30, 45 sec). Kvalita měření u dalších nastavení, které si jsou intervalem záznamu velmi blízké (s výjimkou intervalu 2 sec), je ovlivněna velmi výrazně momentálními podmínkami při měření a jak se ukázalo, může měření při nastaveném méně častém intervalu záznamu za dobrých podmínek dosahovat velmi nízkých chyb. Větší chyby u tohoto nastavení nastávají až při častých změnách směru trasy, kde může měření za stejných podmínek dosáhnout větší chyby než měření s kratším intervalem záznamu, avšak mnohem menších než měření s časově určeným intervalem, který je dostatečně krátký pro roviny, avšak v zatáčkách může zcela selhat. Výhodou automatických záznamů je také menší objem dat oproti záznamům s časově určeným intervalem, které jsou nuceny hustý záznam dat, potřebný pro vykreslení zatáček, dodržovat i v rovných úsecích.

Pro lepší přehled o výsledcích měření byla sečtena pořadí jednotlivých nastavení ve všech úsecích (pokud by tedy nastavení dosáhlo nejnižších hodnot chyb na všech pěti úsecích, jeho hodnota by byla rovna pěti. Viz tab. 7).

Protože každý úsek byl jinak náročný na příjem signálu a velikosti chyb dosažené na jednotlivých úsecích se značně lišily, byly určeny také vážené součty pořadí, kdy pořadí na prvním a druhém úseku bylo násobeno hodnotou jedna, pořadí na třetím úseku hodnotou dvě, na čtvrtém úseku hodnotou čtyři a na pátém úseku hodnotou tři.

Tab. 7: Součty pořadí měření podle jednotlivých nastavení

Nastavení	nejméně	méně	normálně	často	nejčastěji	2 sec	10 sec	20 sec	30 sec	45 sec
Součet pořadí podle celkové chyby	28	8	24	26	28	25	17	45	28	46
Součet pořadí podle mediánu	28	7	29	24	32	22	20	44	26	43
Součet pořadí podle maximálních chyb	22	9	28	30	25	30	17	43	29	43
Celkem	78	24	81	80	85	77	54	132	83	132
Vážený součet pořadí podle celkové chyby	51	16	55	63	60	47	43	103	69	98
Vážený součet pořadí podle mediánu	51	16	64	64	61	47	43	97	69	93
Vážený součet pořadí podle maximálních chyb	40	17	59	63	64	59	42	101	67	94
Celkem	142	49	178	190	185	153	128	301	205	285

Zdroj: vlastní měření

Z tabulky je patrné, že nejlepších výsledků bylo dosaženo při měření s méně častým automatickým intervalem záznamu. Tyto záznamy jsou výrazně lepší, než záznamy provedené s jiným nastavením. Příčinou budou pravděpodobně výborné podmínky pro měření v době záznamu těchto tras. Tyto záznamy dokazují, že i měření s méně častým intervalem může za dobrých podmínek velmi přesně odpovídat skutečnosti, avšak nepodává důkaz o tom, že ve stejných podmínkách by toto nastavení dosahovalo lepších výsledků, než měření s jiným nastavením. U méně častých intervalů nastává nebezpečí, že jedno odlehle měření může způsobit nemožnost určit pozici na poměrně dlouhém úseku.

Celkově lze z hodnocení vyčíst, že lepších záznamů bylo dosaženo při automatických nastaveních, interval dvaceti vteřin je již pro kvalitní vykreslení průběhu trasy příliš dlouhý.

V tabulce 8 jsou srovnána měření s externí anténou a bez ní, měřeno přijímačem GPSmap 76S. Srovnáván byl stejný počet záznamů (celkem deset záznamů, z toho sedm záznamů v aktivní i uložené podobě), měření se liší pouze použitím externí antény, ostatní charakteristiky zůstávají stejné (podmínky, nastavení).

Tab. 8: Porovnání měření s externí anténou a bez externí antény

		S ext. anténou	Bez ext. antény
První úsek	Celková chyba (m)	1095,0	1201,8
	Medián chyby (m)	0,8	1,1
	Max chyba (m)	5,1	5,3
	Min chyba (m)	0,0	0,0
Druhý úsek	Celková chyba (m)	537,4	725,5
	Medián chyby (m)	0,8	1,1
	Max chyba (m)	3,1	5,0
	Min chyba (m)	0,0	0,0
Třetí úsek	Celková chyba (m)	332,2	358,0
	Medián chyby (m)	1,3	1,2
	Max chyba (m)	7,1	5,0
	Min chyba (m)	0,0	0,0
Čtvrtý úsek	Celková chyba (m)	1203,6	1213,3
	Medián chyby (m)	3,2	2,6
	Max chyba (m)	14,9	15,7
	Min chyba (m)	0,0	0,0
Pátý úsek	Celková chyba (m)	786,0	1580,6
	Medián chyby (m)	2,5	3,3
	Max chyba (m)	17,0	31,5
	Min chyba (m)	0,0	0,0
Celkem	Celková chyba (m)	3954,2	5079,2
	Medián chyby (m)	2,5	3,3
	Max chyba (m)	17,0	31,5
	Min chyba (m)	0,0	0,0

Zdroj dat: vlastní měření

Podle tohoto srovnání je patrné, že celkově lepších hodnot bylo dosaženo při měření s externí anténou. Při bližším pohledu však zjistíme, že tohoto rozdílu bylo dosaženo prakticky pouze díky poslednímu úseku, kde je rozdíl chyby přibližně dvojnásobný. Při porovnání ostatních úseků zjistíme, že rozdíly jsou minimální, na čtvrtém, nejnáročnějším úseku, v celkové velikosti chyby prakticky rozdíl není a medián měření bez externí antény je dokonce významně lepší, než medián měření s externí

anténou. Je tedy pravděpodobné, že velký celkový rozdíl měření je způsoben pouze výraznou chybou několika měření u pátého úseku (kde, jak je patrné z vizuálního porovnání, docházelo k celkovým posunům trasy, ale díky průběhu trasy zde nejsou časté chyby v určení správného tvaru cesty). Protože ostatní úseky vykazují velmi podobné velikosti chyb, nelze říci, že externí anténa má vliv na kvalitu záznamu.

V tab. 9 jsou porovnána měření s přijímači GPSmap 76S a GPSmap 60Cx. Všechna měření byla provedena paralelně, tedy za stejných podmínek, přijímač GPSmap 76S byl vybaven externí anténou. Celkem bylo hodnoceno dvanáct měření, u šesti z nich uložená a aktivní trasa.

Tab. 9: Porovnání měření s různými přijímači

		GPSmap 76S	GPSmap 60Cx
První úsek	Celková chyba (m)	1196,0	1557,0
	Medián chyb (m)	0,9	1,2
	Max chyba (m)	5,1	4,8
	Min chyba (m)	0,0	0,0
Druhý úsek	Celková chyba (m)	590,0	771,9
	Medián chyb (m)	0,8	1,1
	Max chyba (m)	4,4	5,5
	Min chyba (m)	0,0	0,0
Třetí úsek	Celková chyba (m)	404,8	538,3
	Medián chyb (m)	1,3	1,9
	Max chyba (m)	12,9	7,5
	Min chyba (m)	0,0	0,0
Čtvrtý úsek	Celková chyba (m)	1485,9	1151,8
	Medián chyb (m)	3,2	2,7
	Max chyba (m)	26,0	11,0
	Min chyba (m)	0,0	0,0
Pátý úsek	Celková chyba (m)	961,8	823,2
	Medián chyb (m)	1,4	1,9
	Max chyba (m)	17,8	12,7
	Min chyba (m)	0,0	0,0
Celkem	Celková chyba (m)	4638,5	4842,2
	Medián chyb (m)	1,3	1,9
	Max chyba (m)	26,0	12,7
	Min chyba (m)	0,0	0,0

Zdroj dat: vlastní měření

Z porovnání je patrné, že celkově nejlepších výsledků dosahuje přijímač GPSmap 76S. S výjimkou čtvrtého a pátého úseku dosahuje nižších hodnot celkové chyby i mediánu. Kromě druhého úseku však tento přijímač dosahuje také výrazně větších maximálních odchylek. Přijímač je lepší v rovinných úsecích s dobrým příjmem signálu, kde přijímač GPSmap 60Cx registruje pozici s malými, avšak stálými chybami (pravděpodobně zapříčiněno vysokou citlivostí na signál, kdy přijímač není zcela schopen rozlišit přímé signály od signálů odražených). Chyby přijímače GPSmap 76S naproti tomu vznikají náhle a jsou mnohem výraznější.

Rozdíl mezi přijímači se obrátí v lesních úsecích, kdy GPSmap 60Cx, díky schopnosti zachytit i slabé signály, dosahuje stabilních, mírně zhoršených výsledků v určení pozice, kdežto kvalita měření s přijímačem GPSmap 76S se zde snižuje velmi

výrazně. Velký rozdíl mezi oběma přijímači je pak u čtvrtého úseku, kde se vyskytuje zatáčka v lesním porostu, která přijímačům dělala největší problémy. Ještě výraznější je rozdíl mezi přijímači u prvního úseku (částečně veden v blízkosti budov), kde naopak lepší výsledky dosahuje přijímač GPSmap 76S.

Jak je patrné z vizuálního porovnání, chyby přijímače GPSmap 76S jsou velmi výrazné, často zcela mění tvar zaznamenávané trasy. Naopak chyby přijímače GPSmap 60Cx jsou nevýrazné, plynulé, tvar trasy nemění, a nebýt číselného porovnání, uživatel by rozdíl mezi měřenou trasou a jejím skutečným průběhem u prvních úseků měření prakticky nepoznal.

Pro získání představy, na kolika měřeních dosáhl přijímač GPSmap 60Cx nižší chyby v určení pozice, byly určeny celkové počty takovýchto úseků tras (tab. 10). Celkem bylo do porovnání zahrnuto osmnáct tras v aktivní nebo uložené podobě. Pro každý úsek tedy proběhlo 18 porovnání, celkem 90 porovnání.

Tab. 10: Porovnání měření s různými přijímači podle počtu kvalitnějších záznamů

	GPSma 60Cx je lepší než GPSmap 76S		
	Podle celkové chyby	Podle mediánu	Podle maximální chyby
Na prvním úseku	5x	5x	7x
Na druhém úseku	7x	7x	7x
Na třetím úseku	5x	4x	8x
Na čtvrtém úseku	12x	10x	15x
Na pátém úseku	11x	10x	9x
Celkem	40x	36x	46x

Zdroj dat: vlastní měření

Je patrné, že u prvních tří úseků dosahuje při velkém množství měření přijímač GPSmap 60Cx horších výsledků než přijímač GPSmap 76S. Tento poměr se obrací u dalších dvou úseků, které jsou velmi náročné na příjem satelitního signálu. Srovnání podle maximální chyby vyznívá lépe pro přijímač GPSmap 60Cx ve větším množství případů, než srovnání podle celkové chyby či podle mediánu. Tento fakt vypovídá o tom, že přijímač GPSmap 76S je schopen po dlouhou dobu poměrně přesně kopírovat tvar trasy, ale pak se měření na krátkou dobu velmi výrazně odchýlí od skutečnosti. Naproti tomu měření s přijímačem GPSmap 60Cx odpovídá tvaru trasy po celou délku měření, odchylka je sice minimální, ale při celkovém součtu se stává poměrně výraznou. To potvrzuje i vizuální hodnocení, kde chyby měření přijímačem GPSmap 60Cx jsou ve velké části případů zcela nezřetelné.

Trasa v oblasti Háje

Také trasa v oblasti Háje byla hodnocena jak vizuálně, tak číselně. Pro srovnání byly opět použity charakteristiky celkové chyby, mediánu a maximální odchylky. Trasa má poměrně homogenní charakter z hlediska vnějších podmínek (stejný porost, liší se ve směru výhledu na oblohu). U této trasy byly srovnávány velikosti chyb u měření s přijímači GPSmap 76S a GPSmap 60Cx, rozdíly aktivních a uložených záznamů, při nastavení záznamu na automatický nejčastější nebo po dvou vteřinách, při rychlosti pohybu 2-3 km/hod nebo 5-6 km/hod (pouze u přijímače GPSmap 60Cx), při zapnutém a vypnutém příjmu korekcí EGNOS a podle podmínek pro příjem GPS signálu podle programu Planning. U této trasy nelze posuzovat změny chování přijímače v závislosti na okolních podmínkách. Výhodou oproti trase Šumperk – Nové Domky je však

poměrně malá délka trasy, která umožňuje více měření po sobě v krátkém čase a tedy za velmi podobné konstelace satelitů (lze tedy úspěšněji porovnávat jednotlivá měření, určovat chyby, které jsou způsobeny jinými podmínkami).

Všechny trasy byly měřeny paralelně oběma přijímači, vždy při stejném nastavení (korekcí EGNOS, záznamu dat), bez externí antény. Pro základní srovnání tras podle přijímačů (tab. 11) bylo tedy použito 33 záznamů, z toho 31 v aktivní i uložené podobě.

Tab. 11: Porovnání měření podle přijímačů

	GPSmap 76S	GPSmap 60Cx
Celková chyba (m)	8060,7	5263,6
Medián chyb (m)	4,1	2,9
Max chyba (m)	31,9	15,8

Zdroj dat: vlastní měření

Při měření s přijímačem GPSmap 76S bylo dosaženo významně větších chyb než u měření s přijímačem GPSmap 60Cx, ať už podle celkové chyby měření, mediánu chyby nebo maximální dosažené chyby. GPSmap 60Cx se díky vyšší citlivosti na signál dokáže snáze vyrovnat s horšími podmínkami (lesní porost) i s častými změnami směru.

Při celkovém počtu 64 záznamů v aktivní i uložené podobě bylo s přijímačem GPSmap 60Cx dosaženo lepších výsledků podle celkové chyby měření ve 48 případech, podle mediánu chyb v 52 případech a podle maximální chyby na úseku ve 46 případech. To dokazuje výrazně vyšší vhodnost přijímače GPSmap 60Cx pro použití v těchto podmínkách.

Pro zajímavost bylo provedeno srovnání aktivní a uložené podoby šestnácti měřených tras (viz tab. 12).

Tab. 12: Porovnání měření s rozlišením uložených a aktivních záznamů

	Oba přijímače			
	Aktivní záznam	Uložený záznam		
Celková chyba (m)	6693,0	6657,1		
Medián chyb (m)	3,6	3,5		
Max chyba(m)	31,6	31,9		
	GPSmap 76S		GPSmap 60Cx	
	Aktivní záznam	Uložený záznam	Aktivní záznam	Uložený záznam
Celková chyba (m)	4076,1	3984,6	2616,9	2672,5
Medián chyb (m)	4,5	4,2	2,9	2,9
Max chyba (m)	31,6	31,6	15,8	15,8

Zdroj dat: vlastní měření

Jak je patrné z tabulky 12, ani u jednoho z přijímačů nedochází k výraznějším rozdílům mezi chybami tras uložených a aktivních. Uložené trasy velmi dobře kopírují tvar tras aktivních při menším objemu dat. Na druhou stranu uložené trasy neeliminují ze záznamu odlehlá měření a v některých případech dokonce ponechají při uložení dva body o naprosto stejných souřadnicích, které byly měřeny těsně po sobě.

Pro srovnání záznamů podle nastavení (tab. 13) na trase v oblasti Háje (nejčastější automatický záznam a záznam po dvou vteřinách) bylo použito pro každý záznam celkem jedenáct měření, z toho deset v aktivní a uložené podobě. Vybrány byly pouze trasy, které byly měřeny při rychlosti 5-6 km/hod a do hodnocení byly zařazeny pouze záznamy, u nichž existuje pro druhý způsob záznamu dat měření se stejnými dalšími charakteristikami (stejně podmínky podle programu Planning, vypnuté/zapnuté korekce EGNOS, uložená/aktivní trasa).

Tab. 13: Porovnání měření podle nastavení ukládání

	Oba přijímače			
	Nejčastější	2 sec		
Celková chyba (m)	4555,3	4874,4		
Medián chyb (m)	3,6	3,8		
Max chyba (m)	29,3	31,9		
	GPSmap 76S		GPSmap 60Cx	
	Nejčastější	2 sec	Nejčastější	2 sec
Celková chyba (m)	2618,5	3177,5	1936,7	1696,8
Medián chyb (m)	3,9	6,2	3,5	2,9
Max chyba (m)	29,3	31,9	13,6	14,6

Zdroj dat: vlastní měření

Při hodnocení záznamů z obou přijímačů se záznamy podle nastavení prakticky neliší. Pokud však hodnotíme měření z každého přijímače zvlášť, zjistíme, že zatímco u přijímače GPSmap 76S vychází lépe nejčastější automatický interval záznamu, u přijímače GPSmap 60Cx je lepší naopak záznam po dvou vteřinách. Přitom měření bylo prováděno paralelně oběma přijímači vždy se stejným nastavením. Výsledky odpovídají skutečnosti, že zatímco přijímač GPSmap 60Cx určuje svou polohu neustále velmi přesně, přijímač GPSmap 76S zaznamenává časté drobné změny polohy, které se ve skutečnosti neexistují a při méně častém intervalu záznamu nejsou ukládány. U přijímače GPSmap 60Cx jsou chyby celkově výrazně menší, a rozdíly mezi chybami podle záznamu dat nejsou tak výrazné, jako u přijímače GPSmap 76S.

Pro získání lepší představy o tom, jak velké chyby do měření přináší samotné nastavení záznamu, byly vytvořeny „ideální“ trasy pro jednotlivé záznamy. Na základě měření byl určen délkový interval, s jakým jednotlivá nastavení zaznamenávají pozice GPS přijímače. Poté byl v počítači procházen záznam trasy provedené geodetickou GPS aparaturou a v pravidelných intervalech přesně na trase uložen bod. Takto vytvořené trasy pak byly hodnoceny stejným způsobem, jako trasy měřené (viz tab. 14), tedy pomocí odchylek analyzované trasy od referenčních bodů. Častý interval záznamu odpovídá přibližně nastavení po deseti vteřinách.

Tab. 14.: Porovnání „ideálních“ měření

Nastavení	Celková chyba (m)	Medián chyb (m)	Maximální chyba (m)
Nejméně	36,0	0,7	5,8
Málo	18,9	0,7	2,1
Normálně	15,3	0,2	3,4
Nejčastěji	13,9	0,4	2,4
10 sec	18,1	0,6	3,5
20 sec	35,5	1,1	5,9
30 sec	64,8	2,0	9,5
45 sec	141,6	3,6	17,2

Zdroj dat: vlastní měření

Přijatelné výsledky byly získány z tras odpovídajících nastavení automatického záznamu s málo častým, normálním a nejčastějším intervalem a s intervalem po deseti vteřinách (resp. častým automatickým intervalem). Je nutné si uvědomit, že tyto chyby získáme z měření s odpovídajícím intervalem i za předpokladu, že bude GPS přijímač měřit celou dobu se stoprocentní přesností. Body, které přijímač zaznamená, se u časového intervalu mění s rychlostí pohybu, u automatického záznamu je nelze předem zcela odhadnout, záleží na změnách pozice přijímače.

Během měření byla testována hypotéza, že přijímač GPSmap 60Cx s čipem SiRFstarIII dosahuje nižší přesnosti při velmi nízkých rychlostech (do tří kilometrů v hodině). Tato hypotéza vychází ze zkušeností uživatelů a je podpořena faktem, že přijímač, i když je ponechán v klidu, vykazuje změny polohy.

Proto byla trasa v oblasti Háje několikrát měřena i při rychlosti pohybu 2-3 km/hod a tato měření srovnána se záznamy získanými se stejným nastavením přijímače při rychlosti 5-6 km/hod (viz tab. 15). Celkem bylo pro srovnání využito sedm záznamů tras, z toho šest v uložení i aktivní podobě.

Tab. 15: Porovnání měření podle rychlosti pohybu na trase

	Rychlost 2-3 km/hod	Rychlost 5-6 km/hod
Celková chyba (m)	808,9	1088,7
Medián chyb (m)	2,2	2,1
Max chyba (m)	10,1	13,6

Zdroj dat: vlastní měření

Jak je patrné z tabulky, bylo při nižší rychlosti dosaženo nižší celkové chyby, medián je při obou rychlostech přibližně stejný. Tato měření tedy popírají hypotézu, že při nízkých rychlostech dosahuje přijímač větší chyby, naopak se zdá, že se při nízké rychlosti snáze vyrovnává se změnami polohy.

S rozvojem první fáze evropského GNSS prostřednictvím systému EGNOS bylo umožněno uživatelům ručních GPS přijímačů pomocí příjmu korekcí získat vyšší přesnost měření při použití stejných přijímačů. Nevýhodou tohoto systému je skutečnost, že při geostacionárním umístění satelitů vysílajících korekce EGNOS jsou tyto satelity ve vyšších nadmořských výškách velmi nízko nad obzorem. Lze je tedy při běžných podmínkách velmi obtížně zachytit, na severní straně kopců je to zcela nemožné. Pokud je přijímač nastaven tak, aby mohl přijímat korekce, obsazuje kanály určené běžně pro příjem GPS satelitů signálem ze satelitů EGNOS. Ostatní satelity jsou

tedy odkázány na menší množství kanálů, což může znamenat zřetelnou změnu v přesnosti v určení pozice zvláště v případě, kdy přijímač s vypnutými korekcemi zachycuje velké množství satelitů. Pokud by byly korekce přijímány, měla by se přesnost v určení pozice zlepšit o několik metrů. Protože korekce za celou dobu měření nebyly zachyceny, byla měření provedena pouze s přijímači nastavenými na příjem korekcí. Pro srovnání bylo použito jedenácti záznamů, z toho devět v uložené i aktivní podobě, záznamy nastaveny na automatický nejčastější i po dvou vteřinách.

Během měření došlo k potížím se zachycením první pozice, oproti měření s nastavením bez příjmu korekcí se zvýšila udávaná EPE. Číselné vyhodnocení měření je uvedeno v tabulce 16.

Tab. 16: Porovnání měření podle nastavení korekcí EGNOS

	Oba přijímače			
	Korekce EGNOS			
	Vypnutý	Zapnutý		
Celková chyba (m)	4171,8	4724,5		
Medián chyb (m)	2,9	4,0		
Max chyba (m)	25,0	31,9		
	GPSmap 76S		GPSmap 60Cx	
	Korekce EGNOS		Korekce EGNOS	
	Vypnutý	Zapnutý	Vypnutý	Zapnutý
Celková chyba (m)	2557,9	2855,9	1613,9	1869,6
Medián chyb (m)	4,7	5,0	2,8	3,8
Max chyba (m)	25,0	31,9	13,6	14,6

Zdroj dat: vlastní měření

Při zapnutých korekcích EGNOS došlo k výraznému zhoršení kvality měřených tras, zvýšila se jak celková chyba, tak i medián chyb. Kvalita měření se při zapnutých korekcích snížila u obou přijímačů, u přijímače GPSmap 60Cx výrazněji, než u přijímače GPSmap 76S. Přesto dosahuje přijímač GPSmap 60Cx celkově lepších výsledků i se zapnutými korekcemi, než přijímač GPSmap 76S s korekcemi vypnutými. Příčina výraznějšího zhoršení měření u přijímače GPSmap 60Cx spočívá pravděpodobně v příjmu většího množství signálu. Protože GPSmap 76S běžně obsazuje čtyři až osm kanálů, obsazení dalších dvou kanálů signálem EGNOS nezpůsobí velké změny v kvalitě příjmu. Pro GPSmap 60Cx, který nezřídka přijímá jedenáct satelitů, je obsazení kanálů (byť i jen částečné) satelity EGNOS významným zásahem.

Pro zlepšení kvality měření je dobré plánovat měření na dobu s vhodnou konstelací satelitů. Pro měření v oblasti Háje byly použity hodnoty DOP získané programem Planning, podle kterých bylo plánované měření tak, aby část byla uskutečněna za dobrých podmínek, část za výrazně horších. Porovnání měření je v tabulce 17. Použito bylo celkem třináct záznamů, z toho dvanáct v uložené i aktivní podobě. Záznamy byly vybrány tak, aby k nim vždy existoval záznam měřený v odlišných podmínkách podle programu Planning, avšak při shodném nastavení korekcí EGNOS a intervalu záznamu. Rychlost pohybu byla vždy 5-6 km/hod.

Tab. 17: Porovnání měření podle podmínek pro příjem signálu

	Oba přijímače			
	Podmínky			
	Špatné	Dobré		
Celková chyba (m)	4917,1	5907,8		
Medián chyb (m)	3,6	3,6		
Max chyba (m)	25,0	31,9		
	GPSmap 76S		GPSmap 60Cx	
	Podmínky		Podmínky	
	Špatné	Dobré	Špatné	Dobré
Celková chyba (m)	2787,9	3793,7	2129,2	2114,2
Medián chyb (m)	3,8	6,2	3,3	2,9
Max chyba (m)	25,0	31,9	13,6	14,6

Zdroj dat: vlastní měření

Poznámka: Dobré podmínky – DOP přibližně do hodnoty 3, Špatné – DOP více než 3, častá změna DOP

Při hodnocení obou přijímačů zároveň získáme stejný medián chyb pro dobré i špatné podmínky, celková chyba je výrazně větší při dobrých podmínkách. Pokud je hodnocen každý přijímač zvlášť, dosahuje GPSmap 60Cx přibližně stejných hodnot chyb, bez závislosti na vnějších podmínkách. Naproti tomu GPSmap 76S dosahuje výrazně horších hodnot za dobrých podmínek. To dokazuje vyrovnanost přesnosti měření u přijímače GPSmap 60Cx v jakýchkoli podmínkách pro příjem signálu a také nevhodnost použití programu Planning pro určení podmínek měření.

12. Diskuze metodických postupů a výsledků, hodnocení hypotéz

Hlavním cílem této práce bylo zjistit, jakých chyb dosahují GPS přijímače v prostředí běžném pro turistické trasy a zda je vůbec možné tento způsob mapování použít. Pro tyto účely byly vybrány především dvě trasy – Šumperk – Nové Domky a trasa v oblasti Háje. Trasa Šumperk – Nové Domky velmi dobře reprezentuje typický průběh turisticky značených tras na území České republiky. Je zde úsek procházející zástavbou, volným prostranstvím i hustým lesem. Trasa v oblasti Háje byla zvolena pro testování GPS přijímačů v prostředí, kde bývá dosahováno největších chyb (vysoký les, časté zatačky). Vhodné by bylo provést testování také na údolní trase, zde by však bylo velmi obtížné, ne-li nemožné, získat referenční trasu. Referenční trasa pro testované území byla získána pomocí geodetické GPS aparatury, přijímající korekce CZEPOS. Tím bylo dosaženo dostatečně vysoké přesnosti za poměrně přijatelnou dobu, která se nedá srovnávat s časem, jenž by byl potřeba pro vyměřování celých tras klasickým geodetickým způsobem nebo geodetickou GPS aparaturou bez použití korekcí CZEPOS.

Soubor s referenční trasou byl převeden na formát, který umožňuje zobrazení trasy v prostředí MapSource. Při současném zobrazení jednotlivých tras měřených ručními GPS přijímači je možné sledovat, jakých chyb bylo při měření dosaženo a hledat jejich příčiny. Výčet zjištěných chyb i s ukázkami je v kapitole 12.1. Toto porovnání je velmi důležité právě pro možnost identifikace příčin nepřesností, kterým je při pozdějším měření možné předcházet. Je také prvním porovnáním trasy měřené ručním GPS přijímačem se stejnou trasou zaměřenou geodetickou GPS aparaturou. Všechna dosavadní porovnání tras probíhala porovnáváním dvou záznamů jednoho ručního GPS přijímače, příp. dvou ručních přístrojů. Pokud byla pro porovnání použita měření z geodetické aparatury, jednalo se o zjišťování bodové přesnosti, které, jak bylo zjištěno, se může od přesnosti záznamů při procházení tras velmi lišit (viz vysoká přesnost přijímače GPSmap 60Cx v jednotlivých bodech, na trasách v určitých podmínkách pro měření je však přesnost celkově nižší, než přesnost přijímače GPSmap 76S).

Bylo zjištěno, že přijímače velmi často vytváří neexistující zatačky, nebo existující zatačky zcela ignorují. Za špatných podmínek pro příjem signálu pak po určitou dobu považují jednu či více souřadnic za konstantní, či konstantně se měnící, a v zatačkách pak vytváří rovinné úseky, na rovinách pak trasy s jiným směrem pohybu, než jaký má trasa ve skutečnosti. Po získání dostatečného počtu satelitů a určení pozice se skokově či postupně trasa vrací ke skutečnému průběhu. Pokud mají být výsledky použity pro zpřesnění průběhu trasy v mapě, je zapotřebí o těchto místech vědět a nepřesnosti odstranit. V první řadě je zapotřebí během měření kontrolovat tvar trasy na mapové stránce přijímače. V případě výskytu nepřesností je možné zaznamenat v místě bod a do poznámek (vytištěná mapa, kterou uživatel zpřesňuje, nebo obyčejný papír) zaznamenat tvar skutečného průběhu trasy. Ne vždy je však v takovéto situaci možné zjistit průběh trasy v absolutních hodnotách. Pro získání nejen správného tvaru trasy, ale i jejích souřadnic je pak zapotřebí provést dvojí měření a na úseku vzít souřadnice té trasy, u níž je zřejmé, že zde dosáhla vyšší přesnosti (tvarem trasy lépe odpovídá skutečnosti). Srovnáním dvou měření téže trasy je také možné objevit chyby, které by jinak uživatel vůbec nezaregistroval a byly by zaneseny do zpřesněné mapy.

Pro další porovnání byl vytvořen program Porovnání, jehož prostřednictvím byly kvantifikovány rozdíly mezi analyzovanými trasami a trasou referenční (resp. body

referenční trasy). Byly zjištěny maximální a minimální odchylky, průměr a medián odchylek, jejich celková velikost a rozptyl. Pro další hodnocení byly použity charakteristiky medián, celková velikost odchylek a maximální, resp. minimální odchylka. Výstupy programu je zapotřebí neustále kontrolovat (počet zjištěných vzdáleností musí být roven počtu referenčních bodů, kolmice z bodů musí být sestrojeny na nejbližší úsečku) a v případě nalezení chyby do výpočtu ručně zasáhnout (např. doplnit chybějící vzdálenost). Pro práci s větším množstvím dat by bylo zapotřebí odstranit tyto chyby, aby program pracoval spolehlivě bez nutnosti kontroly uživatelem.

Vytvoření programu, který kvantifikuje rozdíly dvou tras, umožnilo zcela nový pohled na porovnávané trasy. Díky velmi dobrému vystižení tvaru tras přijímačem GPSmap 60Cx zřetelnému při vizuálním porovnání byl tento přijímač dlouhou dobu považován autorem práce za jednoznačně přesnější za všech situací. Jak se díky programu Porovnání ukázalo, byly výsledky přijímače GPSmap 76S na několika úsecích s dobrými podmínkami pro příjem satelitního signálu lepší než záznamy přijímače GPSmap 60Cx.

Porovnávána byla měření v různých prostředích (rozdělení trasy Šumperk – Nové Domky na pět rozdílných úseků), měření provedená rozdílnými přijímači (GPSmap 76S a GPSmap 60Cx), s různým nastavením intervalu záznamu dat, s vypnutými, resp. zapnutými korekcemi EGNOS, měření rozdělená podle vhodnosti konstelace satelitů pro měření podle programu Planning, měření provedená při rychlosti pohybu na trase 5-6 km/hod, resp. 2-3 km/hod (pouze s přijímačem GPSmap 60Cx), aktivní záznamy srovnány s uloženými a záznamy provedené s externí anténou a bez ní (pouze u přijímače GPSmap 76S).

Bylo zjištěno, že přijímač GPSmap 76S dosahuje lepších výsledků než přijímač GPSmap 60Cx v prostředí s dobrým výhledem na oblohu, v zastíněných oblastech se tento poměr obrací. Po vizuálním srovnání je jasné, že zatímco přijímač GPSmap 60Cx vytváří systematicky chyby malých velikostí v celém úseku, chyby přijímače GPSmap 76S jsou velmi náhlé a výrazné. To potvrzují i vysoké hodnoty maximálních odchylek. Ty jsou vyšší u přijímače GPSmap 76S s výjimkou jediného úseku. Na trase v oblasti Háje dosahoval přijímač GPSmap 60Cx jednoznačně lepších výsledků u naprosté většiny záznamů.

Přijímač GPSmap 76S se tedy jeví jako vhodnější pro použití v oblastech s dobrým výhledem na oblohu, kde je ovšem možné s úspěchem použít i přijímač GPSmap 60Cx. Naopak v zastíněných oblastech je nutné jednoznačně upřednostnit přijímač GPSmap 60Cx.

Při porovnání záznamů měřených s externí anténou a bez ní bylo zjištěno, že mezi záznamy u čtyř úseků trasy Šumperk – Nové Domky neexistují prakticky žádné rozdíly, ty jsou patrné pouze u posledního úseku. Je tedy možné v souladu se stanovenou hypotézou konstatovat, že použití externí antény nemá vliv na kvalitu záznamu, pouze zvyšuje komfort uživatele.

Při porovnání měření podle nastaveného kroku záznamu dat zjistíme, že lepších výsledků bylo dosaženo při automatických nastaveních, příp. při natavení po dvou, resp. po deseti vteřinách. Další hodnocení podle číselného porovnání je velmi obtížné, protože byly provedeny s každým nastavením pouze tři záznamy, obvykle těsně za sebou. Ty pak vykazují podobné podmínky konstelace satelitů, které se mohou od dalších měření velmi lišit. Pro lepší hodnocení by tedy bylo zapotřebí provést větší množství záznamů v různých časových odstupech, aby se eliminoval vliv konstelace satelitů. Pro lepší představu o tom, jak velké chyby přináší do měření samotné nastavení záznamu bez vlivu dalších podmínek, byly pro trasu v oblasti Háje vytvořeny „ideální“ trasy, které by měly přibližně odpovídat záznamům podle různého nastavení v případě,

kdy GPS přijímač měří po celou dobu se stoprocentní přesností (využito bylo záznamu geodetického přijímače, ale je možné použít jakýkoli záznam, pokud bude stejný pro tvorbu všech tras). Tak bylo zjištěno, že nejmenších chyb je možné dosáhnout s nastavením po deseti vteřinách, automatickým záznamem s intervalem normálně, často a nejčastěji. Toto srovnání je však zapotřebí brát s rezervou, protože bylo vytvořeno uměle, a zvláště u měření s automatickým záznamem není nikdy možné předem přesně odhadnout, kdy přijímač zaznamená svou polohu. Přesto práce v rozporu s tvrzením Tesaře (2001), který považuje automatický záznam za nedostatečně podrobný, prokázala, že i méně častý interval automatického záznamu dokáže velmi přesně vystihnout průběh trasy.

Pro další měření, a jako nejvhodnější pro účely mapování, byl vybrán automatický záznam s nejčastějším intervalem. Automatický záznam se jeví jako výhodnější, protože přizpůsobuje záznam bodu reálné situaci, a v místech dlouhých rovin, kde při nastavení s časovým, resp. vzdálenostním intervalem získá uživatel zbytečně velké množství bodů zaplňujících paměť, si automatický záznam vystačí s minimálním počtem bodů. Naopak v místě častých změn polohy pak přijímač volí dostatečně častý interval záznamu. Jak bylo zjištěno, za dobrých podmínek vystačí pro vykreslení zatáček i méně častý interval záznamu. Díky kapacitě paměti přístroje je však možné použít i podrobnějšího vykreslování trasy při nejčastějším intervalu, který s kapacitou aktivní paměti vystačí přibližně na 24 hodin měření (v závislosti na členitosti trasy).

Při srovnání aktivních a uložených záznamů tras nebyly zjištěny výraznější rozdíly. Proto bylo rozhodnuto využívat zásadně aktivních záznamů, protože při ukládání záznamů dochází k redukci bodů, která se mění podle zaplnění paměti. Při ztrátě signálu pak není vůbec možné uložený záznam z trasy před ztrátou signálu získat. Také kapacita aktivní paměti je při vybraném nastavení (automatický nejčastější záznam) dostatečná, proto není nutné využívat ukládání záznamu.

Trasa v oblasti Háje byla měřena s automatickým nejčastějším nastavením záznamu bodu a se záznamem po dvou vteřinách. Tento záznam byl vybrán pro velmi přesné kopírování trasy tak, jak je přístrojem postupně zjišťována jeho pozice. Je tedy vhodný pro zjišťování rozdílů mezi trasami v závislosti na dalších podmínkách. Nevýhodou je rychlé zaplnění paměti přístroje a častý výskyt drobných neexistujících zatáček, které přijímač zjistí během měření, ale při méně častém intervalu záznamu je neuloží. Celkově se výsledky při srovnání měření s automatickým nastavením a s nastavením po dvou vteřinách příliš neliší, při srovnání měření podle jednotlivých přístrojů zjistíme, že zatímco přijímač GPSmap 60Cx dosahuje lepších výsledků při nastavení se záznamem dvou vteřin, u přijímače GPSmap 76S je tomu právě naopak. Výsledky odpovídají skutečnosti, že zatímco přijímač GPSmap 60Cx určuje svou polohu neustále velmi přesně, přijímač GPSmap 76S zaznamenává časté drobné změny polohy. Pro přijímač GPSmap 60Cx se tedy jako vhodnější jeví záznam s intervalem dvou vteřin, který byl zavrhnut pro přílišné zaplňování kapacity paměti přijímače a také kvůli tvorbě neexistujících zatáček, které je velmi obtížné ze záznamu eliminovat, aniž by byly odstraněny zatáčky skutečné.

Podle zjištění uživatelů přijímačů s čipem SiRFstarIII je s těmito přijímači měřeno s větší chybou, pokud je rychlost pohybu velmi malá. U přijímače GPSmap 60Cx byly tedy srovnány záznamy trasy měřené při rychlosti 5-6 km/hod a při rychlosti 2-3 km/hod. Bylo zjištěno, že mediány chyb jsou při obou rychlostech srovnatelné, celková velikost chyb se ukázala při nízkých rychlostech dokonce menší. Měření tedy popírají hypotézu, že při nízkých rychlostech pohybu dosahuje přijímač GPSmap 60Cx větších chyb. Naopak se zdá, že chyby jsou při nižších rychlostech menší, čehož by se

dalo využít zejména v zatáčkách, kde přijímače obecně dosahují nejvyšších chyb. Toto selektivní snížení rychlosti by přitom nijak výrazně neovlivnilo celkovou dobu potřebnou pro mapování turistických tras, což souvisí také s náklady vynaloženými na měření a zlepšení přesnosti map.

Korekce EGNOS by měly přinést snížení chyby měření. V našich zeměpisných šířkách je však velmi obtížné korekce zachytit kvůli nízké elevaci satelitu, který korekce vysílá. Jako jedna z hypotéz bylo stanoveno, že korekce nebude možné přijmout na severní straně kopců. Ve skutečnosti se však během celého měření a několika zvláštních pokusů korekce vůbec nepodařilo zachytit (více viz kapitola 10). Zdá se, že korekce EGNOS je v našich zeměpisných šířkách velmi obtížné zachytit bez ohledu na orientaci okolních svahů. Měření bylo tedy provedeno s přijímačem nastaveným na příjem korekcí a porovnáno s měřeními, kdy byl příjem korekcí zakázán, aby se ukázalo, jak nastavení příjmu korekcí ovlivní celkový výsledek a zda je vůbec vhodné se korekce pokoušet zachytit. Bylo zjištěno, že u obou přijímačů se kvalita měření při zapnutých korekcích snížila, u přijímače GPSmap 60Cx dokonce výrazněji, než u přijímače GPSmap 76S. Důvodem je pravděpodobně fakt, že přijímač GPSmap 60Cx díky vyšší citlivosti běžně využívá velkého množství kanálů pro příjem signálu a v případě, že se o kanály musí dělit se signálem EGNOS korekcí, kvalita měření se snižuje. Tento jev není tak patrný u přijímače GPSmap 76S, který běžně využívá menší počet kanálů. Přes snížení přesnosti při nastavení na příjem EGNOS korekcí dosahuje měření s přijímačem GPSmap 60Cx lepších výsledků, než měření provedené přijímačem GPSmap 76S bez korekcí. Měření tedy prokázalo nevhodnost nastavení na příjem korekcí v době, kdy není možné signál EGNOS zachytit a nemožnost spoléhat na zvýšení přesnosti měření pomocí těchto korekcí.

Jako jedna z hypotéz bylo stanoveno tvrzení, že na severní straně svahů budou celkově horší podmínky pro příjem satelitního signálu než na jižní straně. Tato hypotéza nakonec nebyla prověřena. Měření na Dlouhých Stráních se ukázalo jako nedostatečně průkazné pro stanovení pevných závěrů. Testy by měly být provedeny v místech s horšími podmínkami pro příjem satelitního signálu, kde by snížení kvality příjmu v závislosti na orientaci svahu vyvolalo větší chyby v určení pozice. Trasa pro takovéto testy však musí v celé své délce vykazovat stejné podmínky pro příjem signálu, s výjimkou rozdílnosti v orientaci svahů. Zároveň musí být měření na trase provedeno v tak krátkém časovém úseku, aby změna konstelace satelitů během měření byla jen minimální. Trasu splňující tyto podmínky se však nepodařilo nalézt, proto hypotéza o změnách podmínek pro příjem satelitního signálu v závislosti na orientaci svahu nebyla prověřena.

Měření bylo provedeno z části za dobrých podmínek konstelace satelitů podle programu Planning (DOP menší než tři), z části za špatných podmínek (DOP větší než tři, častá změna DOP). Při porovnání měření v dobrých a špatných podmínkách zjistíme, že u přijímače GPSmap 60Cx nejsou zřetelné žádné změny v přesnosti určení pozice, u přijímače GPSmap 76S se přesnost výrazně zlepšila ve špatných podmínkách. Tato skutečnost vypovídá jednak o vyrovnanosti měření s přijímačem GPSmap 60Cx, jednak o nepoužitelnosti programu Planning pro odlišení podmínek pro měření.

V hypotézách bylo stanoveno, že mapa TOPO50 bude dosahovat vysokých nepřesností v zákresu mapových prvků (50 – 70 m). Při srovnání trasy v oblasti Háje měřené geodetickým GPS přijímačem (tedy přesný průběh trasy) s mapou TOPO50 byly zjištěny nepřesnosti mapy v rozmezí 25 – 70 m. Tvar trasy přibližně odpovídá, ale je oproti skutečnosti systematicky posunut. Při srovnání mapy s trasami měřenými ručními přijímači získáme větší či menší rozdíly v závislosti na velikosti chyby měření a na směru jeho posunu.

U trasy Šumperk – Nové Domky je zapotřebí rozlišovat chyby podle úseků. U prvních dvou úseků (vedeny po silnici), dosahují chyby velikosti 7 – 10 m. Tato chyba je ovlivněna také měřením na kraji silnice, přičemž zákres v mapě je pravděpodobně k jejímu středu. U dalších úseků je chyba minimálně 11 m, nejvíce pak 40 m. Největší chyba dosahuje mapa na konci celé trasy. Zde dochází také k rozporu mezi jednotlivými prvky mapy, kdy turistické značení v mapě nevede po cestě, po níž vede ve skutečnosti. Na rozdíl od měření s geodetickým přijímačem je cesta v mapě zaznačena o 48 m dále směrem na severovýchod, turistické značení je zakresleno 58 m od geodetického měření jihovýchodním směrem.

Měření tedy potvrdilo hypotézu o velkých odchylkách v mapě. Snad ještě větší chybou, než jsou nepřesnosti v absolutním určení polohy prvků v mapě, je skutečnost, že v mapě jsou běžně zakresleny turistické trasy mimo cesty, po nichž ve skutečnosti vedou. Pro zvýšení kvality mapy je velmi důležité, aby byly tyto rozpory během mapování odstraněny.

Zajímavé by bylo také srovnání výsledků s ortofotem. Trasy, které byly vybrány, však vedou z velké části zalesněným územím a na snímku jsou tedy zřetelné pouze úseky s menším vegetačním pokryvem. V těchto oblastech je i dobrý příjem signálu a GPS přijímače zde dosahovaly malé chyby. Navíc pro získání referenční trasy bylo ortofoto nahrazeno měřením s geodetickým GPS přijímačem, takže srovnání analyzovaných tras s ortofotem by bylo uskutečněno pouze z estetického, nikoli však praktického důvodu.

Podle jedné ze stanovených hypotéz by chyby v určení polohy neměly být větší než 25 m. Tato podmínka byla splněna pouze s přijímačem GPSmap 60Cx, s nímž byla naměřena největší chyba o velikosti 14,6 m, a to při zapnutém příjmu korekcí EGNOS a intervalu záznamu po dvou vteřinách. Při vypnutém příjmu a automatickém nejčastějším intervalu záznamu byla maximální chyba 13,6 m. Naproti tomu s přijímačem GPSmap 76S bylo dosaženo při automatickém nejčastějším intervalu záznamu chyby 31,5 m na trase Šumperk – Nové Domky (při tomto záznamu bylo měřeno pouze jedním přijímačem). Na této trase (Šumperk – Nové Domky) dosáhl přijímač GPSmap 60Cx maximální chyby 12,7 m, přičemž maximální chyba přijímače GPSmap 76S byla při odpovídajícím paralelním měření 26,0 m. Na trase v oblasti Háje byl chyba přijímače při automatickém nejčastějším intervalu záznamu 29,3 m, při dvouvteřinovém záznamu a zapnutém příjmu korekcí EGNOS byla chyba dokonce 31,9 m. Hypotézu o chybě v určení pozice do 25 m tedy splňuje pouze přijímač GPSmap 60Cx. Maximální chyba tohoto přijímače (14,6 m) se jeví jako přijatelná i pro zpřesnění digitální mapy odvozené z podkladů v měřítku 1:50 000.

Pro zajímavost byla v průběhu několika měření na trase Šumperk – Nové Domky zaznamenána poloha bodů na předělech jednotlivých úseků. Maximální chyba, naměřená s přijímačem GPSmap 76S byla 40,0 m, s přijímačem GPSmap 60Cx 12,2 m. Obě hodnoty byly zaznamenány na bodě na předělu čtvrtého a pátého úseku. Tato měření je však zapotřebí brát s velkou rezervou, protože byla provedena během měření tras, na bodech bylo zastaveno na minimální potřebnou dobu, nebylo provedeno žádné průměrování polohy. Pokud by bylo zapotřebí získat důvěryhodnější měření bodových objektů, vyžadovalo by to vícenásobné měření, s různou dobou průměrování, s přijímačem umístěným v klidu vždy přesně nad stejným bodem. Tyto podmínky nebyly během měření v této práci dodrženy. Prací, které se zabývají přesností bodového určení polohy pomocí ručních GPS přijímačů, je velké množství, a tato práce má za cíl ověřit měření přijímačů při pohybu po trase, bodové zaměření bylo provedeno pouze jako doplněk během měření tras.

13. Aplikování vybrané metody

13.1 Popis trasy, nastavení GPS přijímače a postup práce

S pomocí zjištěných údajů o chování GPS přijímačů v různém prostředí a za různých situací byla zaměřena trasa Vikýřovice – Prostřední skála – vodní nádrž Krásné – Kamenec – Sobotín. Trasa měří 30 km a byla procházena průměrnou rychlostí 4 km/hod.

Trasa vede převážně zalesněným terénem, v nadmořských výškách od 340 m n. m. do 952 m n. m. Je vedena po turisticky značených trasách, jež jsou zakresleny v mapě TOPO50.

Měření bylo provedeno dne 15. 8. 2006, stromy byly olistěné. Po celou dobu měření byla vysoká vlhkost vzduchu, od Kamence přšelo.

Pro měření byl zvolen přijímač GPSmap 60Cx bez externí antény. Příjem korekcí EGNOS byl po celou dobu měření vypnut. Interval záznamu dat byl nastaven na automatický nejčastější. Podmínky podle programu Planning nebyly zjišťovány. Pro vyhodnocení měření byl použit aktivní záznam trasy. Pohyb po trase byl uskutečňován běžnou turistickou rychlostí přizpůsobenou terénu, pouze v zatáčkách či místech, kde byl předpokládán horší příjem přijímače, byla rychlost pohybu snížena.

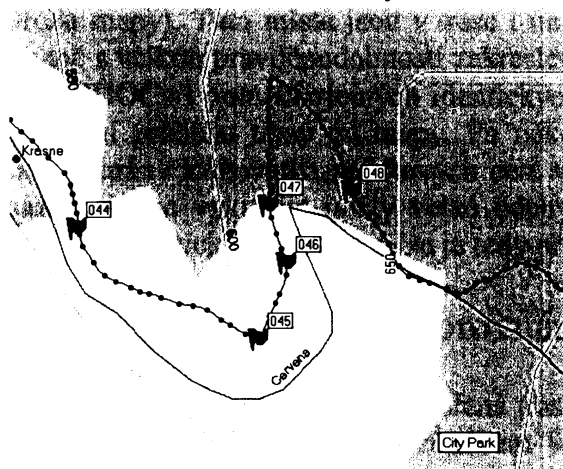
Pokud zpřesňujeme pomocí nových, polohově přesných dat stávající mapu, je nutné si uvědomit, že podle toho, o jaké mapové prvky se jedná, je možné stávající mapy „napasovat“ na přesná data, nebo data připojit ke staré databázi bez jakýchkoli deformací. V prvním případě je možné zvýšit polohovou přesnost celé mapy (vznikne tzv. hybridní mapa), při získání jiných přesných mapových prvků a jejich umístění do mapy je však zapotřebí striktně oddělit, která data byla získána z původních podkladů (a mohou být tedy deformována) a která již z přesných měření. Řešením může být jednorázové zpřesnění podkladů např. na základě přesných dat silniční sítě a přidávání dalších mapových prvků již bez deformací podkladu. Pokud však přidáváme mapové prvky bez deformace celé mapy (nebo s deformací při nedostatečném množství lícovacích bodů), může dojít k rozporům mezi novými a původními mapovými prvky, přestože by měly mít stejné polohové atributy (např. přesně zaměřené cyklotrasy nebudou souhlasit se silniční sítí podkladu). Pokud bychom chtěli tyto rozpory odstranit, je možné posunout nový prvek (zůstane relativní přesnost, ale sníží se absolutní přesnost nového prvku), nebo původní podklad. V druhém případě ale ztratíme relativní přesnost podkladu, nebo budeme nuceni „od oka“ upravit celé okolí nepřesnosti. Možnost úpravy mapy v místě či okolí nepřesnosti existuje jen v případě vektorových map. Dalším problémem při upravování vzájemných rozporů je obtížnost určení, kde jsou ještě mapové prvky skutečně polohově shodné a kde již je „nepřesnost“ skutečností (např. cyklotrasa vede vedle silnice po paralelní cestě).

Trasa na Kamenec byla proto zobrazena nad stávající mapou TOPO50 (patrné chyby mapy), poté byl z mapy odstraněn původní zakres turistických tras a nahrazen novým měřením bez úpravy mapy (tímto způsobem je dnes mapa zpřesňována). Nakonec byl upraven i mapový podklad tak, aby co nejlépe odpovídal skutečnosti a průběh tras se opravdu shodoval s cestami, po kterých trasy vedou.

Díky nepřesnostem mapy je možné i s GPS přijímačem na značené trase zabloudit. Na trase na Kamenec byl v jednom místě vykácen les a s ním i značení trasy. Cesta, po níž trasa běžně vede, je velmi nezřetelná. Protože mapa TOPO50 již v předchozím úseku nebyla přesná, neodbočil uživatel na paseku, jak ho vedla mapa, ale pokračoval dále po cestě a na správný průběh trasy narazil po stočení cesty zpět na paseku (obr. 34). Chyba byla zřetelná pouze při pohledu z tohoto místa, kdy zůstal u trasy stát jediný strom se značkou viditelnou svrchu. Ve skutečnosti tedy trasa vede obloukem mezi body 47 – 48. Na obrázku je průběh trasy v mapovém podkladu značen plnou šedou čarou s nápisem „Cervena“, průběh měřené trasy černou lomenou čarou s tečkami v místech záznamu pozice. Waypointy jsou zobrazeny modrým praporkem s číslem.

K další chybě došlo na konci měřené trasy (obr. 35). V mapě vede turistická značka delší dobu mimo cestu směrem na sever. Cesta značená v mapě, po které ve skutečnosti trasa vede (zakreslena čárkovaně), je tedy posunuta od zákresu trasy na západ, v severní části vytváří oblouk, v němž odbočuje další cesta stejným směrem jako trasa. Mapa tedy vyvolává dojem, že trasa vede po celou dobu po cestě a v zatáčce odbočuje na jinou cestu. Po projití oblouku však nebyla zaregistrována jediná značka, ta nebyla zřetelná ani na odbočující cestě. Uživatel se tedy vrátil asi sedmdesát metrů zpět, než opět narazil na značku, která v tomto místě velmi nenápadně odbočuje z cesty a prochází pěšinou pod cestou po zarostlé pasece. V tomto případě je zákres turistické značky polohově správně, ale kvůli předcházejícímu rozporu značky s cestou v podkladu vytváří mapa velmi matoucí dojem.

Obr. 34: Kamenec – chyba 1



Obr. 35: Kamenec – chyba 2



Zdroj podkladové mapy: TOPO50, Zdroj tematického obsahu: vlastní měření

Během procházení trasy byly zaznamenávány body v místech výskytu bodových mapových prvků, u nichž je možné jednoduchou úpravou zvýšit jejich polohovou přesnost v mapě. Uživatel měl k dispozici výtisk výřezu mapy TOPO50, do něhož zaznamenával s přibližnou polohou bodu i další atributy. Nejčastěji zaznamenávaným bodem bylo turistické informační místo (rozcestník), k němuž byly zaznamenávány název a nadmořská výška. Dále byla zaznamenávána veškerá místa, kde se trasa stýkala s jakýmkoli plošným či liniovým prvkem mapy identifikovatelným v terénu a k bodu přidána informace o podobě tohoto místa. Tak byly mimo jiné určeny styky trasy s lesem, potokem, místa, kde turistická značka přichází na cestu zakreslenou v mapových podkladech a kde ji opět opouští. Zároveň byla po celou dobu pohybu po trase sledována mapová stránka přijímače, kde je zobrazována poloha, kterou

zaznamenává přijímač. Takto mohly být zjištěny rozpory mezi měřenou pozicí a průběhem trasy alespoň co se týče tvaru trasy. V místech rozporu skutečného průběhu trasy a jejího zákresu v mapě byl zaznamenán bod, do výtisku mapy pak byl zaznačen skutečný tvar cesty. Tak mohlo být později po stažení dat do počítače kontrolováno, zda záznam opravdu odpovídá skutečnému průběhu. Protože nejčastější chyby záznamu se vyskytují v zatáčkách, byly při prudkých změnách trasy zaznamenány body na místech změny směru. Záznam je pak možné v počítači upravit tak, aby v místě záznamu bodu byl opravdu vrchol zatáčky.

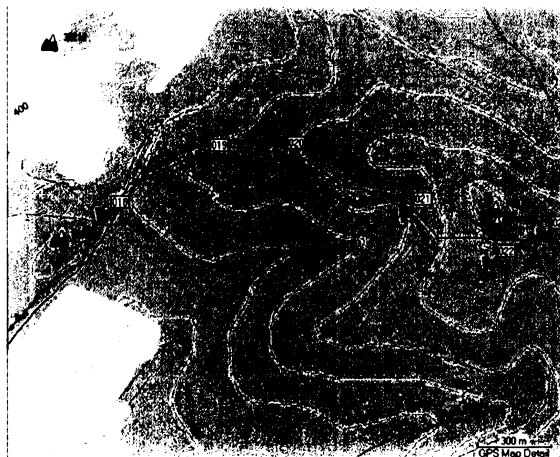
Trasa byla do počítače stažena programem MapSource. Zde byla také trasa zobrazena nad mapou TOPO50. Poté byl v programu OCAD překreslen výřez mapy i s měřenou trasou. Vynechán byl původní zákres turisticky značených tras (pro jednoduchost také bodové prvky). Tímto způsobem je mapa na základě zpřesnění vybraných prvků upravována dnes. Další verze mapy byla vytvořena posunutím liniových a plošných prvků podle zaznamenaných bodů tak, aby mapa v okolí turistické trasy odpovídala nejen v absolutních souřadnicích, ale také v relativním zákresu mapových prvků.

Trasa byla poté v programu MapSource transformována do souřadného systému S-42/83 a překreslena v programu OCAD. Zde byla zobrazena nad naskenovanými turistickými mapami měřítka 1:50 000 od firmy SHOCart a z edice Klubu českých turistů (KČT). Mapy bylo zapotřebí v programu OCAD usadit do souřadnic pomocí identických bodů s trasou. Pro mapu KČT byly vybrány body křižovatka asfaltových cest v obci Vikýřovice a křižovatka asfaltových cest u bývalé chaty Traťovka (ve středu výřezu mapy). Tato místa jsou v trase i na mapě velmi dobře identifikovatelná a jsou v mapě s velkou pravděpodobností zakreslena s vysokou přesností. Při usazení mapy od firmy SHOCart pomocí stejných identických bodů došlo na mnoha místech k velkému odchýlení průběhu trasy od mapy. Po několika dalších pokusech byly jako identické body vybrány křižovatka asfaltových cest v obci Vikýřovice a vrchol Kamence. Takto usazená mapa vykazuje místy velké odchylky od trasy, tyto rozdíly však již nemají nikde systematický charakter a lze je tedy přisoudit chybě mapy.

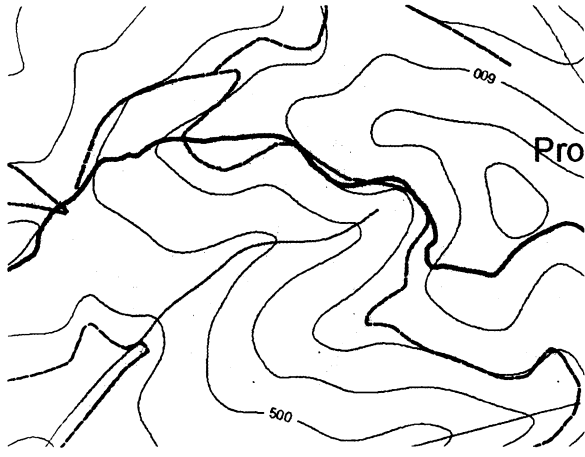
13.2 Výsledky měření, porovnání s mapami

Na obr. 36 je zobrazena měřená trasa nad mapou TOPO50. Je zde patrný rozdíl mezi měřenou trasou a jejím průběhem v mapě. Navíc v mapě je rozpor také mezi značkou a cestou, která se ke značce místy přibližuje a není jasné, zda trasa ve skutečnosti vede po cestě či mimo ni. Velikosti rozdílu mezi trasou zakreslenou v mapě a jejím průběhem měřeným GPS přijímačem se pohybuje většinou mezi 20 – 50 m, v oblasti na východě výřezu dosahuje chyba velikosti 160 m. Na obr. 37 je stejný úsek trasy v překreslené mapě, zobrazen je mapový podklad se značenou trasou, jejíž průběh byl upraven podle měření. Úpravu mapových prvků v okolí trasy s pomocí zaznamenaných bodů zobrazuje mapa na obr. 38. Změněny byly konce cest v západní části výřezu a průběh cesty v místě, kde se cesta shoduje s průběhem trasy nebo kde cesta křížuje trasu (pomocí bodů značících křížení trasy a cesty a bodů zaznamenaných v místě příchodu značky na cestu a v místě jejího opuštění – mezi těmito body byla cesta přizpůsobena průběhu trasy).

Obr. 36: Kameneč1 – TOPO50



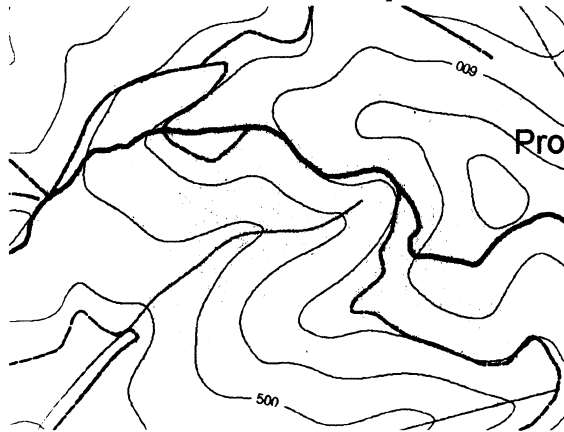
Obr. 37: Kameneč1 - neupraveno



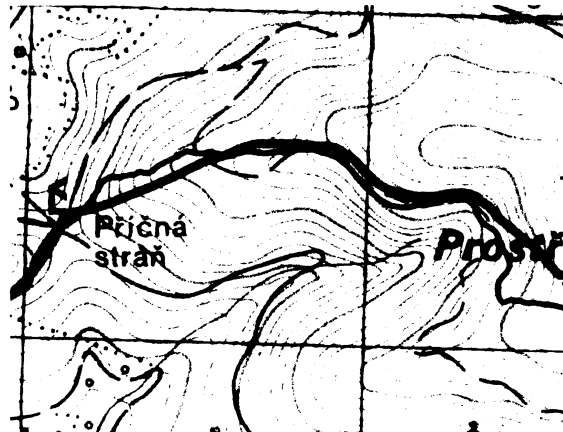
Zdroj podkladové mapy: TOPO50, Zdroj tematického obsahu: vlastní měření

Stejný úsek trasy nad mapami KČT a SHOCart je zobrazen na obr. 39 a 40. Mapy jsou zobrazeny v nezměněné podobě, nad nimi je navíc fialovou čarou vykreslen průběh trasy, zaznamenaný GPS přijímačem. Obě mapy zobrazují průběh turistické trasy poměrně přesně. Na rozdíl od mapy TOPO50 je u těchto map zřejmé, kde trasa vede po cestě a v kterých místech z ní odbočuje, navíc průběh trasy i cesty dobře odpovídá skutečnosti. Obě mapy zobrazují špatně průběh trasy ve východní části výřezu. Maximální odchylka je zde přibližně 130 m u mapy SHOCart, u mapy KČT sice lépe odpovídá tvar a poloha trasy (nevede po hřebeni), ale maximální odchylka dosahuje 150 m.

Obr. 38: Kameneč1 – upraveno



Obr. 39: Kameneč1 – KČT



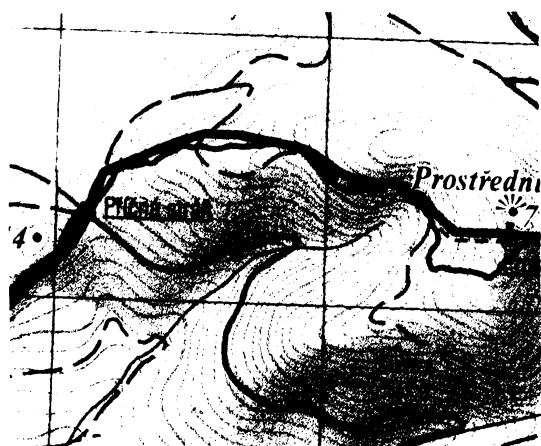
Zdroj podkladové mapy: TOPO50

Zdroj podkladové mapy: KČT

Zdroj tematického obsahu: vlastní měření

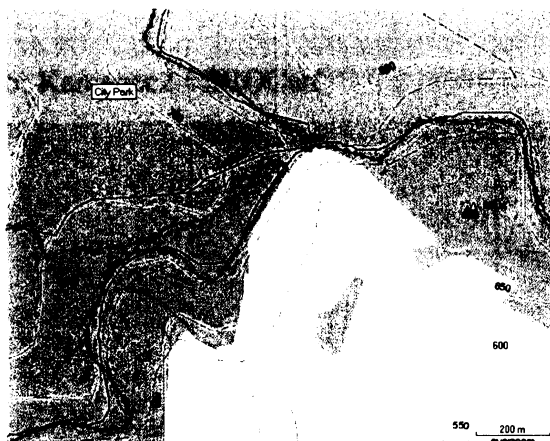
Další část trasy nad mapou TOPO50 je na obr. 41 (v mapě nejsou z důvodu lepší přehlednosti zobrazeny zaznamenané waypointy). Mapa má chybu obvykle do velikosti dvaceti metrů, u zelené trasy na západě výřezu však chyba dosahuje velikosti přes 120 m. Stejný výřez mapy se správným zákresem trasy je na obr. 42, opravená mapa na obr. 43. Je patrné, že úprava mapy pouze zpřesněním zákresu trasy je nejen velmi neestetická, ale zároveň i ztěžuje navigaci v místě.

Obr. 40: Kamenec1 – SHOCart



Zdroj podkladové mapy: SHOCart

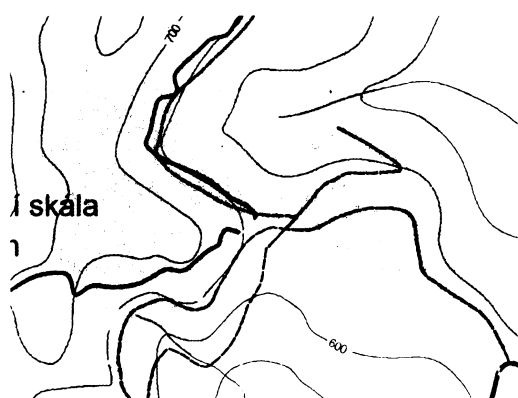
Obr. 41: Kamenec2 – TOPO50



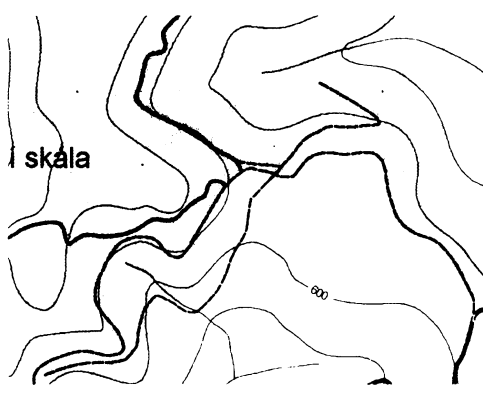
Zdroj podkladové mapy: TOPO50

Zdroj tematického obsahu: vlastní měření

Mapa KČT v tomto úseku velmi dobře odpovídá průběhu trasy (obr. 44), největší chyba (60 m) byla dosažena na západní části výřezu vynecháním jedné zatáčky. Naproti tomu mapa SHOCartu (obr. 45) odpovídá jen velmi přibližně, chyba běžně dosahuje velikosti 60 m. Přitom chyba není zcela systematická, nedá se tedy vysvětlit případným posunem mapy vůči trase v důsledku špatného slícování pomocí identických bodů. Přesto lze obě mapy hodnotit jako lepší než mapa TOPO50, která je kvůli rozporům mezi trasami a cestami, po nichž trasy vedou, zvláště v místech složitějších křižovatek velmi špatně čitelná.



Obr. 42: Kamenec2 – neupraveno



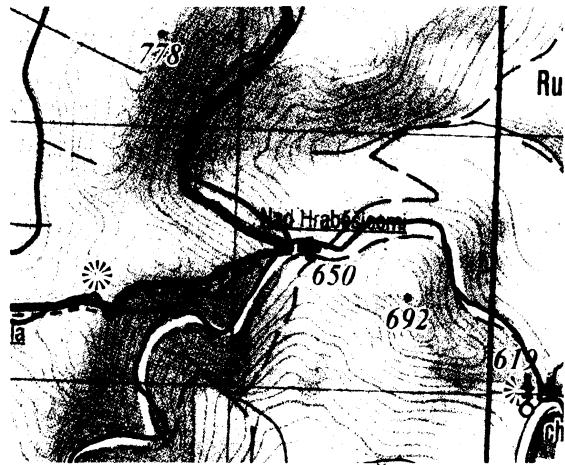
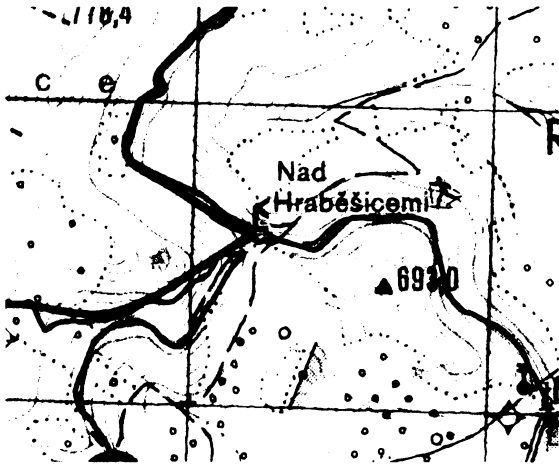
Obr. 43: Kamenec2 - upraveno

Zdroj podkladové mapy: TOPO50, Zdroj tematického obsahu: vlastní měření

Na dalším úseku trasy (obr. 46, 47, 48) se vyskytuje rovnou několik chyb mapy TOPO50. Zákres turisticky značené trasy je veden nepřesně v absolutních souřadnicích a je v rozporu se zákresem cesty, po níž trasa vede, místní asfaltová silnička je zde špatně zakreslena a to nejen tvarem, ale i svou délkou trvání (končí několik set metrů před svým skutečným koncem), u žluté značky v severní části výřezu zcela chybí široká zpevněná lesní cesta, po níž trasa vede v celé své délce. Chyba v oblasti potoka je v celé délce přibližně 30 m, v severním ohybu značky dokonce 130 m. Pokud by došlo k pouhému zpřesnění turistické trasy, chyba mapy by se ještě zvýšila. U červené trasy by došlo k vedení trasy částečně potokem, částečně po jeho druhém břehu. Při

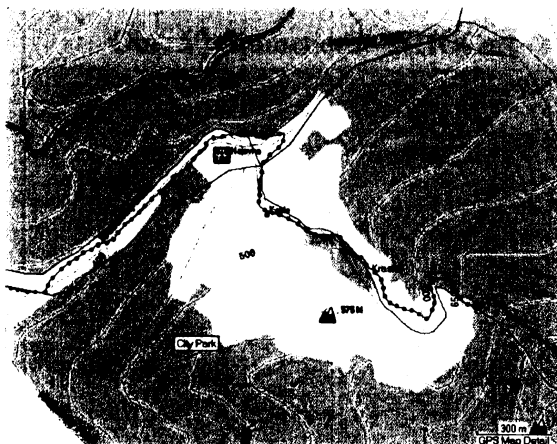
překreslení mapy pomocí informací získaných během měření turistické trasy bylo tedy zapotřebí změnit nejen průběh cest, ale i potoka. Výsledná mapa (obr. 48) však dosahuje mnohem vyšší absolutní a relativní přesnosti.

Obr. 44: Kamenec2 – KČT Obr. 45: Kamenec2 - SHOCart

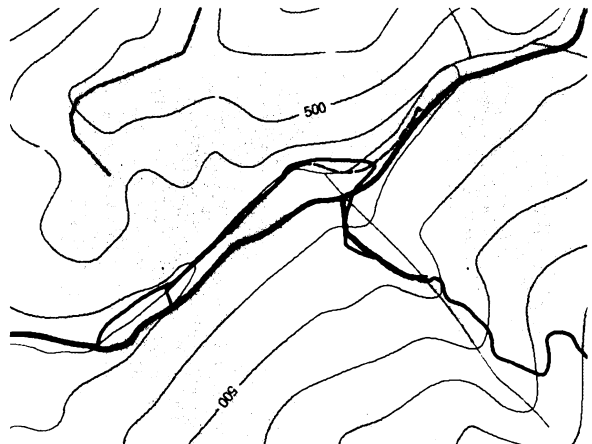


Zdroj podkladové mapy: SHOCart Zdroj podkladové mapy: KČT
Zdroj tematického obsahu: vlastní měření

Obr. 46: Kamenec3 – Topo50

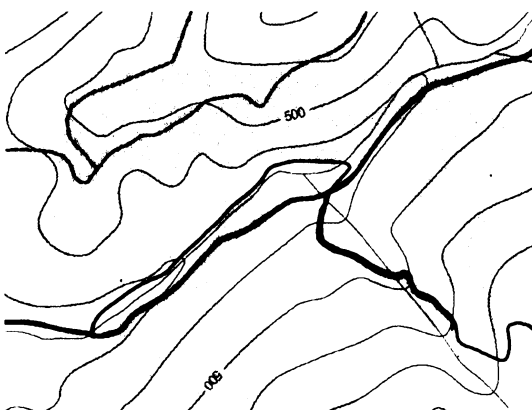


Obr. 47: Kamenec3 - neupraveno

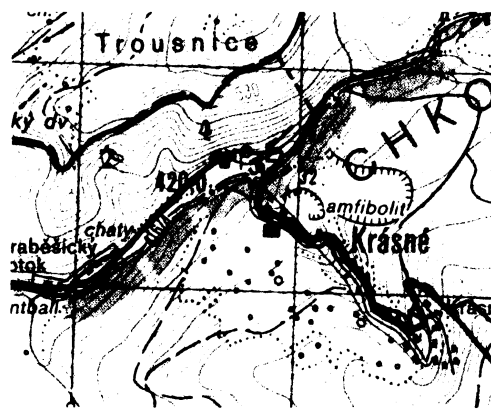


Zdroj podkladové mapy: TOPO50, Zdroj tematického obsahu: vlastní měření

Obr. 48: Kamenec3 – upraveno



Obr. 49: Kamenec3 - KČT



Zdroj podkladové mapy: TOPO50 Zdroj podkladové mapy: KČT

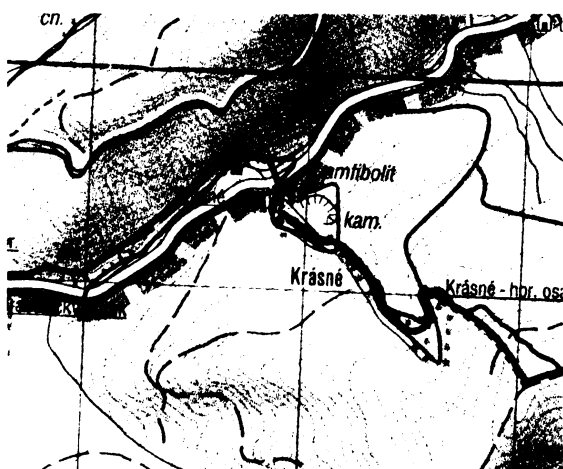
Zdroj tematického obsahu: vlastní měření

Na mapě firmy SHOCart (obr. 50) se v tomto úseku vyskytují prakticky stejné chyby, jako u mapy TOPO50, avšak velikost odchylky u trasy podél potoka je přibližně 70 m, chyba v ohybu trasy pak 100 m. Mapa KČT (obr. 49) je zde velmi přesná jak v relativním umístění mapových prvků, tak i v absolutních hodnotách souřadnic trasy. Odchyluje se až v jihovýchodní části trasy, kde generalizuje tvar trasy rovinou v místě, kde ve skutečnosti existuje zatáčka (stejná chyba se vyskytuje také u map firmy SHOCart a TOPO50).

Úpravy dalšího úseku trasy zobrazují obr. 51, 52, 53. K získání lepšího výsledku by bylo zapotřebí provést měření také u turistických tras začínajících v jižní části výřezu.

U všech prověřovaných map se vyskytuje chyba v zákresu turistické trasy od rozcestníku Nad Říjištěm. Přestože ve skutečnosti zde trasa pokračuje dále severovýchodním směrem po široké traverzové lesní cestě a teprve po téměř čtyřech stech metrech uhýbá dolů východním směrem, trasa v mapě SHOCart (obr. 55) klesá na východ přímo od rozcestníku Nad Říjištěm, mapa KČT (obr. 54) jen krátce naznačuje severovýchodní směr trasy. Maximální velikost chyby je v tomto místě u mapy TOPO50 120 m, u mapy SHOCart (vztaheno k zákresu pěšiny vedoucí pod značkami tras) 140 m. U mapy KČT je velmi obtížné určit přesný průběh trasy. Pod kresbou tras nevede žádná cesta (ta vede dále severněji, ale po ní trasy v horní část úseku vedeny nejsou), kresba tří barevných tras je velmi široká. Chyba, která byla brána k prostřední značce tras, dosahuje velikosti 95 m.

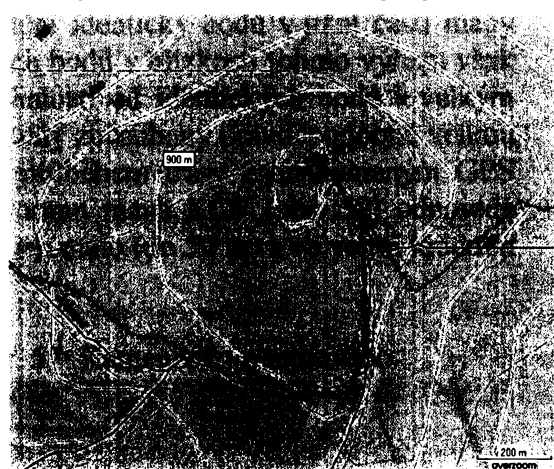
Obr. 50: Kamenec3 – SHOCart



Zdroj podkladové mapy: SHOCart

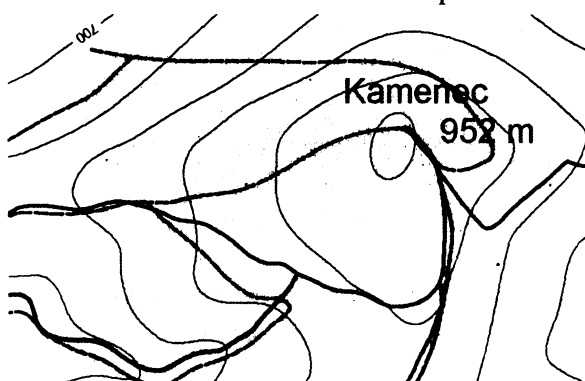
Zdroj tematického obsahu: vlastní měření

Obr. 51: Kamenec4 – TOPO50

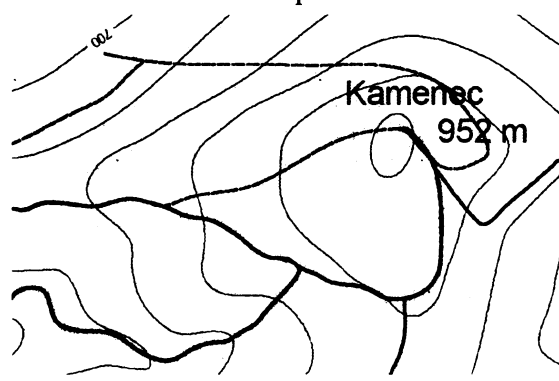


Zdroj podkladové mapy: TOPO50

Obr. 52: Kamenec4 – neupraveno



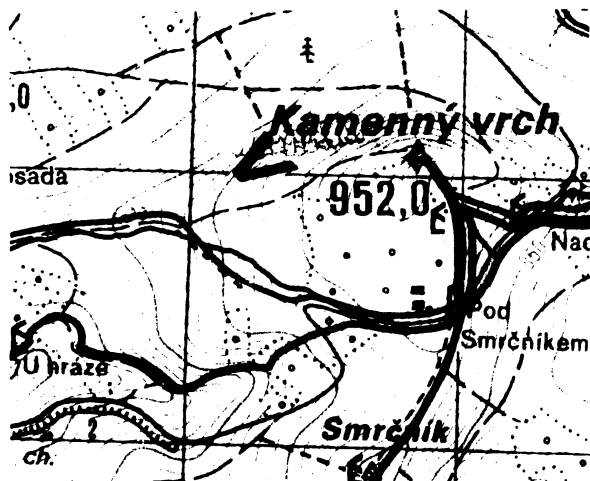
Obr. 53: Kamenec4 - upraveno



Zdroj podkladové mapy: TOPO50, Zdroj tematického obsahu: vlastní měření

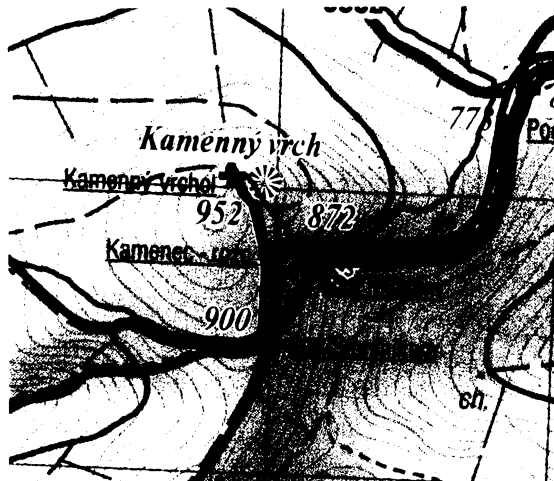
Ke stálému posunu cest od průběhu trasy (o velikosti přibližně 30 m) dochází výřezu mapy TOPO50 na obr. 56, 57, 58. Tato situace předcházela bloudění popsanému výše, zobrazenému na obr. 34.

Obr. 54: Kamenec4 – KČT



Zdroj podkladové mapy: KČT

Obr. 55: Kamenec4 - SHOCart



Zdroj podkladové mapy: SHOCart

Zdroj tematického obsahu: vlastní měření

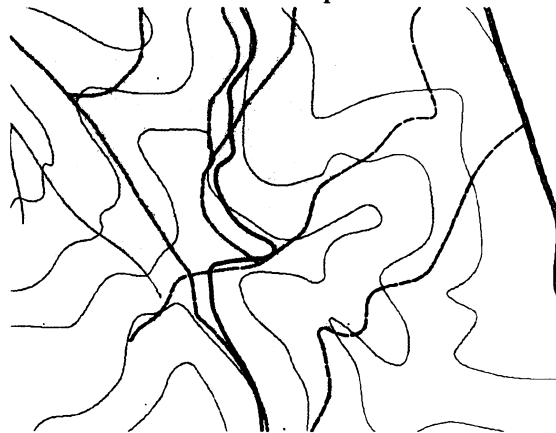
K systematickému posunu trasy došlo u tohoto výřezu na mapě SHOCart (obr. 60). Tato situace mohla nastat v důsledku umístění identických bodů v jižní části mapy (výřez je ze severní části). I při použití identických bodů v blízkosti tohoto výřezu však docházelo v této oblasti v poměrně krátké vzdálenosti od identických bodů k velkým nepřesnostem mezi mapou a trasou. Chyby jsou tedy způsobeny pravděpodobně velkou chybou mapy. Velikost rozdílů mezi mapou a průběhem trasy zaznamenaným GPS přijímačem je zde běžně kolem 70 m. Naproti tomu mapa KČT (obr. 59) odpovídá průběhu měřené trasy velmi přesně, odchyluje se jen málo (do 50 m) a ve velmi krátkém úseku.

Obr. 56: Kamenec5 – TOPO50



Zdroj podkladové mapy: TOPO50, Zdroj tematického obsahu: vlastní měření

Obr. 57: Kamenec5 - neupraveno



Relativně přesně byla trasa zaznamenána v mapě TOPO50 u výřezu na obr. 61. K velkému rozporu však došlo mezi trasou a průběhem cesty, po níž trasa z části vede (obr. 62). Díky úpravě mapy je teď zcela zřetelné, kde trasa odbočuje z cesty (obr. 63) a

mělo by tak být zabráněno bloudění turistů. Během opravy mapy musela být pozměněna i cesta, po níž trasa nevede a s kterou se v celém průběhu vůbec neseťká (cesta vedoucí západně od trasy v severní části výřezu). Tato cesta by bez úpravy protínala značenou trasu. Jelikož se tak ve skutečnosti neděje, byla cesta upravena podle svého průběhu v mapě tak, aby neprocházela trasou a přitom si uchovala původní tvar. Lepším řešením by samozřejmě bylo projít i tuto cestu, ale takovéto komplexní úpravy mapy by byly velmi časově náročné. V tuto chvíli se jako reálné jeví zaměřit samotné turisticky značené trasy, okolí dle možností upravit a zachovat informaci, které mapové prvky byly přesně zaměřeny a při dalším zpřesňování mapy se s nimi již nebude hýbat.

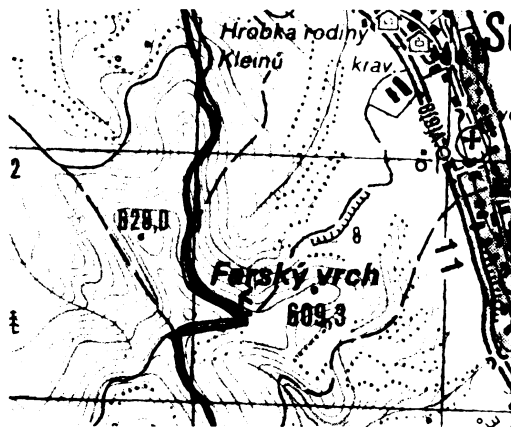
Obr. 58: Kamenec5 – upraveno



Zdroj podkladové mapy: TOPO50

Zdroj tematického obsahu: vlastní měření

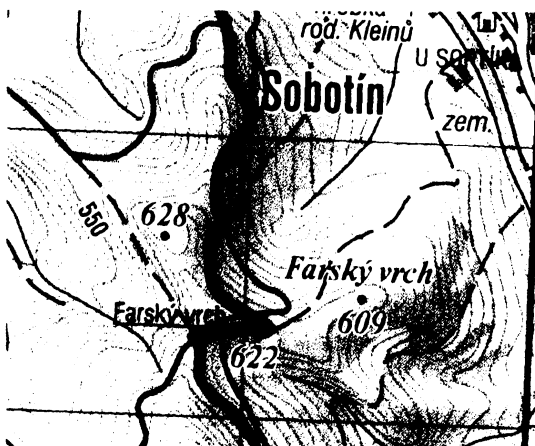
Obr. 59: Kamenec5 - KČT



Zdroj podkladové mapy: KČT

Zdroj tematického obsahu: vlastní měření

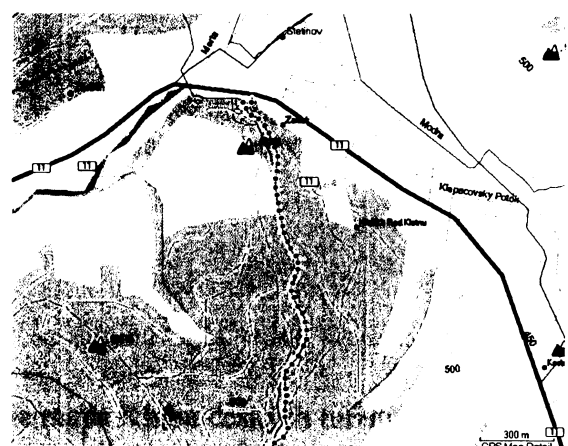
Obr. 60: Kamenec5 –SHOCart



Zdroj podkladové mapy: SHOCart

Zdroj tematického obsahu: vlastní měření

Obr. 61: Kamenec6 – TOPO50



Zdroj podkladové mapy: TOPO50

Zdroj tematického obsahu: vlastní měření

U tohoto výřezu dosahuje mapa KČT (obr. 64) systematické chyby o velikosti do 50 m, maximální chyba 95 m. Trasa na mapě z produkce SHOCart (obr. 65) je systematicky posunuta západním směrem. Trasa je vedena zcela chybně po cestě, jejíž přítomnost vyvolala bloudění popsané u obr. 35 (kdyby tato cesta byla v podkladu mapy KČT, podle průběhu zákresu trasy se dá odhadnout, že by trasa byla i v této mapě vedena po této cestě). Chyba dosahuje velikosti přibližně 80 m, v severní části trasy, kdy se zákres odchyluje zcela na opačnou stranu, než kudy trasa ve skutečnosti prochází, roste chyba až na 145 m.

Obr. 62: Kameneč6 – neupraveno

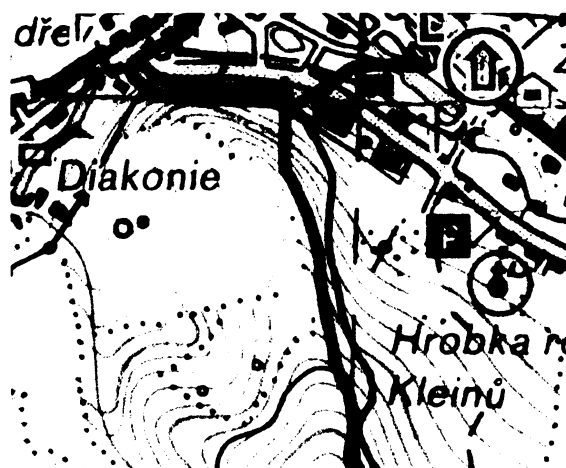


Obr. 63: Kameneč6 - upraveno

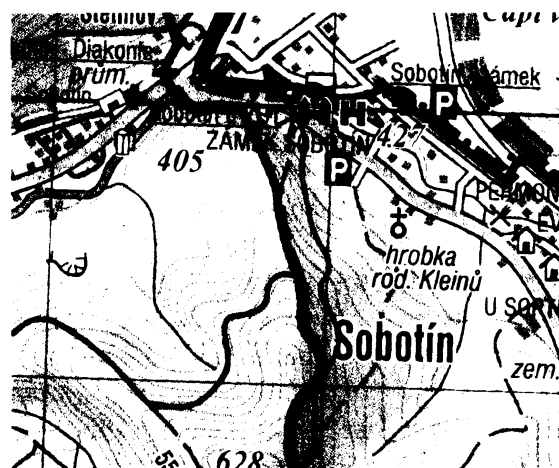


Zdroj podkladové mapy: TOPO50, Zdroj tematického obsahu: vlastní měření

Obr. 64: Kameneč6 – KČT



Obr. 65: Kameneč6 - SHOCart



Zdroj podkladové mapy: KČT

Zdroj podkladové mapy: SHOCart

Zdroj tematického obsahu: vlastní měření

13.3 Dílčí závěr

Na celém úseku měřené trasy dosahovala mapa Klubu českých turistů nejlepších výsledků ze všech tří prověřovaných map. Přesnost zákresu tras byla u map SHOCart a TOPO50 znatelně nižší. U mapy TOPO50 navíc dochází k rozporům v zákresu trasy a cesty, po níž trasa vede, což velmi ztěžuje orientaci v terénu.

Odchytky měřené trasy od zákresu značky v mapě se velmi často blížily velikosti 50 m, výjimkou nejsou ani více jak stometrové odchytky. Toto zjištění jednoznačně potvrzuje jednu ze stanovených hypotéz, kde byly předpokládány vysoké, až 50 - 70 m velké chyby map a také skutečnost, že mapa TOPO50 nebude přesnější než papírové mapy. Zároveň byla tímto měřením potvrzena nutnost provádět mapování takovým způsobem, aby mohly být odstraněny chyby v relativním umístění mapových prvků v mapě TOPO50.

14. Metodika mapování turisticky značených tras pomocí GPS přijímačů

Během měření, provedených v rámci této práce, bylo zjištěno několik skutečností, kterými je důležité se během mapování turisticky značených tras pomocí GPS přijímačů řídit, aby byly získány souřadnice tras v kvalitě dostačující pro zpřesnění stávajících map, které bude možné využít pro navigaci pomocí GPS přijímačů. Je tak možné sestavit určitou metodiku mapování, jejíž dodržení zajistí srovnatelnou kvalitu získaných trasových souřadnic od libovolně velkého množství mapařů.

V dalším textu jsou uvedeny postupy, které je nutné dodržet při mapování, kurzívou je pak připojeno stručné vysvětlení určitých rozhodnutí.

1. Použít přijímač GPSmap 60Cx. *V oblastech s dobrými podmínkami pro příjem satelitního signálu jsou získávány lepší hodnoty souřadnic s přijímačem GPSmap 76S. Zde je tedy možné použít i tento přijímač. V zalesněných oblastech je však nezbytně nutné používat přijímač GPSmap 60Cx, uživatele mapující v rozlišných oblastech je výhodnější vybavit jediným přijímačem (GPSmap 60Cx), který zajistí dostatečnou kvalitu příjmu u všech tras.*

2. Nepoužívat externí anténu. *Nebylo prokázáno významné zlepšení kvality měřených souřadnic při použití externí antény. Ta tak plní pouze funkci zlepšení komfortu uživatele, což se při současném zvýšení nákladů na vybavení jednoho uživatele jeví jako neekonomické.*

3. Nastavení mapové stránky přijímače na orientaci mapy směrem k severu. *Při nastavení ve směru pohybu dochází během pohybu k neustálému „třesení“ mapy podle toho, jak je natáčen přijímač a mapa se tak stává hůře čitelnou.*

4. Detail mapy na mapové stránce přístroje nastavit na největší.

5. Ukládání trasy nastavit na automatický záznam s nejčastějším krokem záznamu.

6. Operační režim nastavit na normální. *Úsporný režim sníží spotřebu energie za cenu snížení frekvence aktualizace navigačních dat.*

7. Nastavit přepis dat při zaplnění paměti. *Pokud se stane, že uživatel na začátku měření nesmazal data z předchozího měření, která již jsou uložena v počítači, začnou se při zaplnění paměti nejstarší data přepisovat.*

8. EGNOS korekce povolit jen v oblastech, kde jsou korekce opravdu přijímány. Pokud korekce k dispozici nejsou, v nastavení přístroje jejich příjem vypnout. *Při zapnutých korekcích bez jejich příjmu dochází ke zhoršení kvality měření.*

9. Při zapnutí přijímače ponechat přístroj před samotným měřením na místě s dobrým výhledem po dostatečně dlouhou dobu. *Po prvním určení pozice přijímače po zapnutí je zapotřebí ponechat přijímač v klidu ještě přibližně tři až pět minut (záleží na podmínkách pro příjem satelitů), přestože již udávaná EPE neklesá.*

10. Pro pohyb po trase dodržovat běžnou turistickou rychlost (4 – 6 km/hod), v zatáčkách rychlost krátkodobě snížit pod 3 km/hod. Dlouhé rovné úseky s dobrými podmínkami pro příjem satelitního signálu je možné mapovat při projíždění na kole (s rychlostí do 15 km/hod), s GPS přijímačem umístěným na batohu na zádech cyklisty.

11. Při zastavení neukládat GPS přijímač do kapsy či batohu, ale ponechat na místě s dobrým výhledem na oblohu. Pokud je nutné přístroj na určitou dobu vypnout, je zapotřebí jej po opětovném zapnutí ponechat dostatečně dlouhou dobu v klidu.

12. Záznamy tras v lesních porostech provést v období, kdy jsou stromy bez listí.

13. Za deště neměřit v lesních, zvláště pak listnatých porostech. *Je nebezpečí, že by kapky vody v porostech zhoršovaly kvalitu určení polohy.*

14. Během měření používat výtisk mapy, kterou uživatel zpřesňuje, příp. zápisník pro poznámky k trase a zaznamenaným bodům.

15. Během pohybu po trase je nezbytné sledovat mapovou stránku přístroje a případné nepřesnosti v určování pozice zaznamenávat do zápisníku pomocí waypointu a zakresu přibližného tvaru trasy v jeho okolí.

16. Lesní a polní cesty měřit tak, aby byl přijímač nesen nad středem cesty. *Ke středu cesty by měl být veden správný záznam trasy, navíc u lesních cest jsou v jejich středu obvykle nejlepší podmínky pro příjem signálu.*

17. Každá trasa musí být zaznamenána při dvou časově nezávislých měřeních. *Během měření může dojít k nepřesnému učení pozice, kdy není možné určit, které body byly zaznamenány s dostatečnou přesností a které je třeba vymazat (viz obr. 19). Pravděpodobnost vzniku chyby na stejném úseku trasy při opakovaném měření je dostatečně malá.*

18. Během měření zaznamenávat waypointy v místech identifikovatelných na podkladové mapě. Pro jejich označení použít zkratky uvedené v tab. 18 (před samotnou zkratkou ponechat číselné označení jednoznačně identifikující bod), nebo ponechat číselné označení a ke každému souboru dat připojit jednoznačně identifikovatelný textový soubor s přiřazením zkratk (nebo celých označení uvedených v tabulce) jednotlivým bodům. Přidat další informace (např. název místa). *Tabulka byla vytvořena na základě mapy TOPO50. Je možné ji jednoduše upravit pro jakýkoli mapový obsah, důležité je zaznamenat veškerý bodový obsah, křížení, začátky a konce liniových prvků a vzájemné křížení plošných prvků, resp. křížení liniových a plošných prvků.*

19. U turistických rozcestníků v textovém souboru uvést název rozcestníku a udanou nadmořskou výšku.

20. Při záznamu bodu zastavit a počkat, až přijímač ukáže nulovou rychlost. Přijímač udržovat v poloze, kdy má nejlepší podmínky pro příjem signálu. *Jak ukázalo několik bodových měření, pro získání dostatečně přesného záznamu není zapotřebí používat průměrování bodu.*

21. Pokud je nebezpečí, že záznam GPS přijímače bude vytvářet zatáčku o větším poloměru, než je ve skutečnosti (např. u ostré zatáčky o 90°), je potřeba ve vrcholu zatáčky vytvořit bod a trasu později v počítači upravit vypuštěním následujících bodů tak, aby průběh trasy odpovídal skutečnosti.

22. Na konci každého měření stáhnout veškerá data do počítače a uložit ve formátu „gdb“.

23. Používat aktivní záznam trasy.

24. Trasy pojmenovat názvem okresu, v němž se vyskytuje většina trasy, názvem prvního a posledního významného místa na trase, příp. míst mezilehlých, jménem autora a označením, o který ze dvou záznamů jedné trasy se jedná. V případě, že bude pro hodnocení použita jen jedna z obou měřených tras, uvést tuto skutečnost v pojmenování obou tras (spravne x spatne).

Např.:

Sumperk_Sumperk_Prostredni_skala_Kamenec_Sobotin_Horka_I_spravne

25. U souboru s jedinou trasou uvést stejné pojmenování, soubor s více trasami pojmenovat názvem okresu a jménem autora.

26. Ze záznamu smazat veškeré body zaznamenané mimo měřenou trasu (odlehlá měření), zdvojené body.

27. K trasám připojit textový soubor (případně obrázků ve formátu „jpg“) s popisem všech nebo vybraných bodů (pokud je popis ostatních uveden formou zkratků či celých pojmenování podle tab. 18 přímo u bodů v souboru „gdb“), zvláštních situací.

28. Pokud je během mapování zjištěna skutečnost, že trasa vede v celé své délce po významné lesní či polní cestě, která není v podkladu, ale uživatel má celou cestu zaznamenanou minimálně v délce úseku mezi dvěma křižovatkami dalších cest v podkladu značených, je potřeba tuto skutečnost s označením waypointů, ohraničujících začátek a konec cesty, uvést v příloženém textovém souboru.

29. V případě rozporu dvou záznamů stejné trasy uvést, v kterých místech (rozmezím dvou existujících waypointů, nebo přidáním dvou waypointů označených libovolnými čísly) odpovídá který záznam více skutečnosti.

30. Pokud z obou záznamů jeden odpovídá správnému průběhu trasy v celé její délce, uvést tuto skutečnost v názvech trasy (viz bod 22). Pokud je potřeba pro získání správného průběhu trasy použít oba záznamy, uvést v příloženém textovém souboru informace, v kterých úsecích je nutné použít který záznam.

Tab. 18: Označení zaznamenávaných bodů

Označení bodu	Zkratka	Poznámka
Začátek Modrá (červená, zelená, žlutá)	zacMdr (cer, zel, zlu)	Začátek trasy příslušné barvy
Konec Modrá (červená, zelená, žlutá)	konMdr (cer, zel, zlu)	Konec trasy příslušné barvy (příp. její odbočení mimo procházenou trasu)
Odbočka doprava	odbocP	Doprava ve směru pohybu odbočuje z trasy cesta značená v podkladové mapě
Odbočka doleva	odbocL	Doleva ve směru pohybu odbočuje z trasy cesta značená v podkladové mapě
Křižovatka	kriz	Křižovatka značky a cesty v podkladu
Připojení na cestu	naCst	Trasa se připojuje na cestu zaznačenou v podkladové mapě
Odbočení z cesty	zCst	Trasa opouští cestu zaznačenou v podkladové mapě
Zatáčka	zate	Vrchol zatáčky
Konec cesty	konCst	Trasa pokračuje po cestě či pěšině nezakreslené v podkladu
Zástavba	domy	Hranice zástavby
Les nalevo	lesL	Hranice lesa po levé straně ve směru pohybu
Les napravo	lesP	Hranice lesa po pravé straně ve směru pohybu
Potok	ptk	Křížení trasy s potokem
TIM	TIM	Turistické informační místo
Vrchol kopce	vrch	Do textového souboru připojit název a nadmořskou výšku
Výstaviště	vyst	
Sportoviště	spotr	

Význačný bod	bod	Pamětihodnost, stavební památka, hraniční kámen
Muzeum	muz	
Zahrada	zahr	Botanická zahrada
Auto-půjčovna	pujc	
Autoopravna	oprav	
Parkoviště	park	
Banka	bank	Banka, bankomat
Hraniční přechod	hran	
Clo	clo	Celní úřady, velvyslanectví (připojit stát)
Soudní budova	soud	
Knihovna	knih	Knihovna, archiv
Policie	pol	
Pošta	post	
Bar	bar	Bar, noční klub
Kasino	kas	
Kino	kino	
Divadlo	div	
Fast food	fast	
Restaurace	rest	
Čerpací stanice	benz	
Nemocnice	nemoc	
Kemp	kemp	
Hotel	hot	Hotel, motel
Golfové hřiště	golf	
Letiště	let	
Lyžařské centrum	ski	
Koupaliště	koup	
Obchod	obch	
Lékárna	lek	
Nádraží	nadr	

Zdroj dat: vytvořeno na podkladě mapy TOPO50

15. Závěr

GPS přijímače stále více pronikají do života nejen geodetů a námořníků, ale i motoristů, cyklistů, botaniků, geologů a v neposlední řadě i turistů. Společným zájmem všech uživatelů ručních GPS přijímačů jsou kvalitní mapy, které jsou nedílnou součástí používání GPS přístrojů. Naprostá většina dnes vydávaných map je opatřena sítí souřadnic, díky nimž je možné využití těchto map v kombinaci s GPS přijímači, stále oblíbenější jsou digitální mapy určené přímo pro mapové GPS přijímače.

Tato práce potvrdila hypotézu o nízké přesnosti map - fakt známý již od doby, kdy se začaly GPS přijímače s mapami používat. Stejně mapy, používané klasickým způsobem, se mohou jevit jako velmi přesné, při použití s GPS přijímačem však zjistíme chyby mapy běžně přesahující velikost sta metrů. Jak ukázala práce, při snaze o vyšší přesnost byly kombinací dat z různých zdrojů vytvořeny mapy, kde objekty ve skutečnosti polohově totožné jsou reprezentovány různými souřadnicemi. Takovéto mapy jsou nejen esteticky nepovedené, navíc působí velmi matoucím dojmem a uživateli stěžují navigaci.

Další zvyšování přesnosti vybraných prvků bez ohledu na objekty v okolí by vedlo pouze ke zhoršení kvality mapy. Proto byla navržena metoda jak zvýšit absolutní i relativní přesnost mapy alespoň v okolí mapovaných prvků.

Podle stanovených cílů práce byly vybrány trasy, vhodné pro srovnávací měření. Bylo provedeno velké množství měření s různými podmínkami pro příjem GPS signálu a s různým nastavením přijímačů. Po získání referenční trasy byl určen a aplikován způsob porovnání měřených tras se skutečným průběhem trasy. Po vybrání nejvhodnějšího nastavení GPS přijímače a určení pravidel pro mapování bylo zaměřeno rozsáhlé území a provedeno porovnání získaných výsledků s turistickými mapami.

GPS přijímačů je dnes na trhu velké množství. Liší se jak cenou, tak i kvalitou, různé přijímače přináší uživateli odlišný komfort při jejich využití, velké rozdíly jsou také v přesnosti určení polohy, které tyto přijímače dosahují. Pro mapování turistických tras připadají v úvahu pouze ruční přijímače, určené pro turistiku. Za všechny byly pro testování vybrány dva velmi kvalitní přijímače, GPSmap 76S a GPSmap60Cx. Byla zjištěna skutečnost, že přijímač GPSmap 76S dosahuje menších chyb v oblastech s dobrým příjmem signálu, v zastíněných oblastech je však – narozdíl do přijímače GPSmap 60Cx - pro mapování nepoužitelný. Odlišné přesnosti v určení polohy je možné samozřejmě dosáhnout i rozdílným nastavením přístrojů či zacházením s nimi. Při každém nastavení se GPS přijímače chovají poněkud odlišně a podle zkušenosti každého uživatele je pak voleno nejvhodnější nastavení. Práce proto prověřila tvrzení různých uživatelů o chování GPS přijímačů za určitých situací a poté bylo zvoleno nejvhodnější nastavení GPS přijímače a stanoveny zásady, které je nutné během měření dodržet, aby byly získány co nejlepší výsledky. V rozporu se stanovenou hypotézou bylo zjištěno, že přijímač GPSmap 60Cx nevykazuje horších výsledků při malé rychlosti pohybu. Jako nejvhodnější byl určen automatický záznam dat s nejčastějším intervalem. Hypotéza předpokládala, že korekce EGNOS nebudou přijímány na severní straně svahů. Ve skutečnosti se ukázalo, že korekce je velmi obtížné zachytit i na místech s velmi dobrým výhledem do všech světových stran. Použití externí antény, jak předpokládala jedna ze stanovených hypotéz, nemá vliv na kvalitu záznamu. Během měření, která byla provedena metodou, později vybranou jako nejvhodnější pro mapování, nebyly zjištěny žádné chyby, přesahující stanovenou hranici pětadvaceti

metrů pro chybu v určení polohy. Chyby map v místech měření velmi přesahovaly předpokládanou velikost chyb, nebyly výjimkou chyby větší než 100 m, mapa TOPO50 nejenže není přesnější než papírové mapy, navíc vykazuje mnoho dalších chyb, které uživateli ztěžují navigaci podle mapy.

Měření byla porovnána vizuálně s referenční trasou, získanou geodetickým GPS přijímačem. Jako velmi důležité se později ukázalo také srovnání, provedené ve speciálně vytvořeném programu, kvantifikujícím velikosti chyb. Tak byly zjištěny významné skutečnosti, které při vizuálním porovnání nevyšly najevo, a bylo také usnadněno vzájemné porovnání různých způsobů měření, které bylo provedeno v mnoha opakováních. Naproti tomu vizuální porovnání pomohlo určit příčiny mnoha chyb, kterým bude možno dodržet stanovených zásad při mapování předejít.

Stanovená metoda měření by měla zajistit jednotné výsledky z libovolně velkého území, které bude mapováno velkým počtem různých mapařů, přesnost dosažená během měření by přitom měla být dostatečná pro zpřesnění stávajících digitálních map určených pro využití v kombinaci s GPS přijímači.

16. Literatura a prameny

16.1 Literatura

BONSEN, G., AMMAN, D., AMMAN, M., FAVEY, E., FLAMMANT, P.: Continuous Navigation - Combining GPS with Sensor-Based Dead Reckoning. *GPS World*, 2005, č. 4, s. 47-54. ISSN 1048-5104.

BUREŠ, J., KRATOCHVÍL, R., ŠVÁBENSKÝ, O., WEIGEL, J.: Testování metody RTK na VUT v Brně. In *Sborník referátů pro Seminář s mezinárodní účastí Družicové metody v geodézii, VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie, Brno*. 1. vyd. Brno: ECON publishing, 2006. s. 87-93.

CIMBÁLNÍK, M., MERVART, L. : *Vyšší geodézie 1: geometrická*. Vydání druhé přepracované. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. 184 s. ISBN 80-01-02527-6.

De JONG, K.: GLONASS and GPS: East Meets West. *Geoinformatics*, 1999, roč. 2, č. 6, s.16-17. ISSN 1387-0858.

Global Positioning Service, Standard Positioning Service, Signal specification. 2. vyd. U.S. Coast Guard. 1995. 51 s. Dostupné z: <www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/sigspec/gpssps1.pdf>.

GULDAN, A.: *Využívanie satelitného navigačného systému v pešej turistike*. 1. vyd. Bratislava: Klub značkárov Slovenska – KST Bratislava ve spolupráci s firmou CONAN, Žilina, 2002. 75 s. ISBN 80-968819-9-X.

HABÁN, I., MAREČEK, P., LENHART, Z.: *Venušiny misky, východ*. Opava: Oddíl orientačního běhu Nord Opava, 2004. Mapa pro orientační běh.

HARRELSON, K., SURRATT, D.: *Magellan Meridian FAQ*. Ver. 2. 30 s. 2003.

HORKÁ, J.: *GPS a jeho využití při tvorbě map pro orientační běh*. Praha, 2004. 40 s. Diplomová práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie. Vedoucí práce Ing. Miroslav Čábelka.

Hrubý Jeseník. 3. vydání. Praha: TRASA, spol. s r. o., obchodní společnost Klubu českých turistů, 2002. Turistická mapa v měřítku 1:50 000. ISBN 80-7234-026-2.

HUGENTOBLER, U., SCHAER, S., FRIDEZ, P.: *Bernese GPS Software, Version 4.2*. Berne: University of Berne, Astronomical Institute, 2001. 557 s.

KOSTELECKÝ, J., KOSTELECKÝ, J., SKOUPÝ, V.: Testovací základna GPS Skalka. In *Sborník referátů pro Seminář s mezinárodní účastí Družicové metody v geodézii, VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie, Brno*. 1. vyd. Brno: ECON publishing, 2006. s. 59-63.

MERVART, L., LUKEŠ, Z.: Algoritmy používané v RTK aplikacích GPS. In *Sborník referátů pro Seminář s mezinárodní účastí Vývoj metod a technologií GPS v geodézii, VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie, Brno*. 1. vyd. Brno: ECON publishing, 2005. s. 64-68.

MOISEJEV, N. F.: Sozdanie i modernizacija kosmičeskich sredstv dlja rešenija zadač geodezii, kartografii i navigacii. *Geodezja i kartografija*, 2004, č. 12, s. 15-19. ISSN 0016-7126.

NAVSTAR GPS, User Equipment Introduction. Public release version. U.S. Coast Guard. 1996. 215 s. Dostupné z: <www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/gpsuser/gpsuser.pdf>.

SLÁMA, J., BÁRTA, L.: Praktické použití RTK systému TRIMBLE GPS 5700. In *Sborník referátů pro Seminář s mezinárodní účastí Družicové metody v geodézii, VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie, Brno*. 1. vyd. Brno: ECON publishing, 2006. s. 64-71.

TABARA, P.: Využití české sítě permanentních stanic pro určování polohy CZEPOS v geodetické praxi. In *Sborník referátů pro Seminář s mezinárodní účastí Družicové metody v geodézii, VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie, Brno*. 1. vyd. Brno: ECON publishing, 2006. s. 9-13.

TESAŘ, P.: *Použití ručních GPS pro mapování*. Praha, 2001. 57 s. Diplomová práce na Fakultě stavební ČVUT v Praze na katedře vyšší geodézie. Vedoucí práce prof. Ing. Miloš Cimbálník, DrSc.

TESAŘ, P.: *Úvod do GNSS*. Praha, 2006. 29 s. Výukový materiál Českého vysokého učení technického v Praze.

Turistický atlas Česko. Vizovice:SHOCart, spol. s r. o., 2004. Atlas turistických map v měřítku 1:50 000. ISBN 80-7224-202-4.

VACEK, P. *Možnosti využití GPS v katastru nemovitostí*. Plzeň, 2004. 61 s. Diplomová práce na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni na katedře matematiky. Vedoucí práce Ing. Václav Čada, CSc.

Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad. Dobruška: Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, 2005.

16.2 Prameny

ATM on-line [online]. Duben 2006 [cit. 2006-06-08]. Dostupné z: <<http://www.atmonline.cz/news/2006/duben/110406b.htm>>.

BAIN, J.: *GlobalSat BT 332* [online]. [cit. 2006-04-11a]. Dostupné z: <<http://www.gpsweb.cz/globalsatbt338.htm>>.

BAIN, J.: *GPS NAVIGACE – Chyby systému* [online]. [cit. 2006-06-27b]. Dostupné z: <<http://www.gpsweb.cz/chyby.htm>>.

BAIN, J.: *GPS web* [online]. [cit. 2006-07-06c]. Dostupné z: <<http://www.gpsweb.cz>>.

bkg – GPS/GLONASS Data Center [online]. Updated 2005-08-19 [cit. 2006-06-13]. Dostupné z: <http://igs.ifag.de/index_ntrip.htm>.

DGPS on Garmin Receivers [online]. Revision 2006-03-15 [cit. 2006-06-30]. Dostupné z: <www.gpsinformation.org/dale/dgps.htm>.

EADS SPACE – GNSS [online]. 2005 [cit. 2006-06-09]. Dostupné z: <<http://www.space.eads.net/families/daily-life-benefits/navigation/gnss/view?searchterm=gps>>.

EADS SPACE – The European Satellite Navigation System Galileo [online]. 2004-05-10 [cit. 2006-06-13]. Dostupné z: <<http://www.space.eads.net/press-center/archives/2004/295/view?searchterm=gps>>.

ESA – Navigation – The present – EGNOS [online]. 2005-04-14 [cit. 2006-06-09]. Dostupné z: <http://www.esa.int/esaNA/GGG63950NDC_egnos_0.html>.

ESA – Navigation [online]. Last update 2005-12-28 [cit. 2006-06-08]. Dostupné z: <http://www.esa.int/esaNA/GGGMX650NDC_galileo_0.html>.

eTrex vs. Sportrak [online]. [cit. 2006-06-06]. Dostupné z: <http://home.sprynet.com/%7Esearching_ut/compare.htm>.

GAKSTATTER E., FLICK, J.: *Navigation the World of GNSS* [online]. 2006-04-01 [cit. 2006-07-21]. Dostupné z: <<http://www.geospatial-online.com/geospatialolutions/article/articleDetail.jsp?id=318856&pageID=3>>.

Galileo – Kontaktní bod [online]. 2006-01-26 [cit. 2006-06-08]. Dostupné z: <<http://www.czechspace.cz/cso/galileo>>.

Garmin Česká republika [online]. [cit. 2006-07-21]. Dostupné z: <http://garmin.cz/index.php?section=2001&category=outdoor&sub_category=outdoor_mapove&view=detail&product=26>.

Garmin: What is GPS? [online]. c1996-2006 [cit. 2006-06-26]. Dostupné z: <<http://www.garmin.com/aboutGPS/>>.

Global Positioning Service, Standard Positioning Service, Signal specification [online]. [cit. 2006-06-06]. Dostupné z: <www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/sigspec/gpssps1.pdf>.

Global Positioning System – Wikipedie, otevřená encyklopedie [online]. Naposledy editována 2005-06-21 [cit. 2006-06-30]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/GPS>>.

- Global View* [online]. 2006-02-01 [cit. 2006-06-08]. Dostupné z: <<http://www.gpsworld.com/gpsworld/article/articleDetail.jsp?id=291925>>.
- GLONASS - Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. 2006-06-24 [cit. 2006-07-21]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/GLONASS>>.
- GPS – Accuracy* [online]. [cit. 2006-04-11]. Dostupné z: <<http://mywebpages.comcast.net/dmibert/handacc/accur2.htm>>.
- GPS Block II R* [online]. Last modified 2005-09-26 [cit. 2006-06-26]. Dostupné z: <http://www.globalsecurity.org/space/systems/gps_2r.htm>.
- GPS centrum* [online]. [cit. 2006-07-21]. Dostupné z: <<http://www.gpscentrum.cz>>.
- GPS Operational Advisory* [online]. 2006-07-15 [cit. 2006-06-22]. Dostupné z: <<http://www.navcen.uscg.gov/Ftp/gps/status.txt>>.
- GPS Utility* [počítačový program]. Ver. 4,20.5. GPS Utility Ltd., c1999-2006. Dostupné z: <<http://www.gpsu.co.uk>>.
- HANSLIAN, J.: *Stručné představení protokolu Ntrip* [online]. 2005-06-15 [cit. 2006-06-13]. Dostupné z: <<http://gisak.vsb.cz/gportal/files/ntripdoc.pdf>>.
- How GPS works: Error sources* [online]. Last updated 2005-12-01 [cit. 2006-06-26]. Dostupné z: <<http://www.kowoma.de/en/gps/errors.htm>>.
- Ionosféra – Aldebaran Glossary* [online]. [cit. 2006-06-26]. Dostupné z: <<http://www.aldebaran.cz/glossary/print.php?id=140>>.
- JANDA, K: *CZEPOS – Aktuální stav* [online]. c2005-2006a, [cit. 2006-06-12]. Dostupné z: <<http://czepos.cuzk.cz/actualState.aspx>>.
- JANDA, K: *Popis sítě* [online]. c2005-2006b, [cit. 2006-06-12]. Dostupné z: <<http://czepos.cuzk.cz/>>.
- Klub českých turistů* [online]. c2005-2006a, [cit. 2006-02-06]. Dostupné z: <<http://klubturistu.cz/?oid=10180&PHPSESSID=9151739e60478cf0d4ed1615e58da4be>>.
- Klub českých turistů* [online]. c2005-2006b, [cit. 2006-02-06]. Dostupné z: <<http://klubturistu.cz/index.php?oid=10191&PHPSESSID=9151739e60478cf0d4ed1615e58da4be>>.
- KOUKL, J.: *Chyby systému GPS* [online]. 2001-11-25 [cit. 2006-03-30]. Dostupné z: <<http://www.beruna.cz/beruna/phprs/view.php?cislocclanku=2001112502>>.
- KTR – laboratorní cvičení, GPS přijímač* [online]. Červen 2005 [cit. 2006-06-06]. Studijní materiály Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze, katedry radioelektroniky. Dostupné z: <radio.feld.cvut.cz/courses/X37KTR/lab/7_GPS_KTR.pdf>

MapSource [program na CD-ROM]. Ver. 6.10.2. Garmin Ltd., c1999-2006.

MARŠÍKOVÁ, M.: *Definice systému WGS-84* [online]. [cit. 2006-04-11]. Dostupné z: <<http://home.zf.jcu.cz/public/departments/kpu/vyuka/marsikova/kartografie/kartografie-prednaska2.pdf>>.

Matlab [program na CD-ROM]. Ver. 6.0.0.88. Release 12. The MathWorks, Inc., c1984-2000.

MEHAFFEY, J.: *Errors Measures > What do they mean?* [online]. [cit. 2006-07-10]. Dostupné z: <<http://gpsinformation.net/main/errors.htm>>.

Microsoft Excel [program na CD-ROM]. Ver. 10.2701.2625. Microsoft Corporation, c1985-2001.

Navstar GPS Constellation Status [online]. 2006-06-20 [cit. 2006-06-26]. Dostupné z: <<http://gge.unb.ca/Resources/GPSConstellationStatus.txt>>.

NPS GPS Support Facility – What is EPE? [online]. [cit. 2006-07-10]. Dostupné z: <<http://www.nps.gov/gis/gps/WhatisEPE.html>>.

OCAD [program na CD-ROM]. Ver. 8.07 Standard. Steinegger Software, 2002.

Planning [online]. Ver. 2.7. Trimble Navigation Limited, 2001-2002. <http://www.trimble.com/planningsoftware_ts.asp>.

PURICER, Pavel: *Zeměměřič* [online]. Březen 2000 [cit. 2006-06-08]. Dostupné z: <http://www.zememeric.cz/3-00/sat_navig.html>.

RAK, P.: *Navigační průvodce – část první, satelitní intro* [online]. 2003-03-28 [cit. 2006-03-30]. Dostupné z: <<http://www.softnov.cz/index.php?ID=18913>>.

REVNIVYKH, S.: *GLONASS: Status and Perspectives* [online]. Last modified: 2005-03-17 [cit. 2006-06-13]. Elektronická prezentace pro European Meeting of the International Information Sub-Committee of the Civil GPS Service Interface Committee, 14.-15.3.2005 v Praze. Dostupné z: <<http://radio.feld.cvut.cz/satnav/CGSIC/>>.

ŘEZNÍČEK, J., PAŠEK, O.: *CZEPOS – multipurpose positioning system for the Czech Republic*. [online]. Last modified: 2005-03-17 [cit. 2006-06-13]. Elektronická prezentace pro European Meeting of the International Information Sub-Committee of the Civil GPS Service Interface Committee, 14.-15.3.2005 v Praze. K dispozici na <<http://radio.feld.cvut.cz/satnav/CGSIC/>>.

ŠTĚPANOVKÁ, R.: *Přínos organizované turistiky k udržitelnému rozvoji cestovního ruchu*. [online]. 2003-12-03 [cit. 2004-11-19]. Dostupné z: <www.cot.cz>.

TOPO50 [CD-ROM]. Ver. 0.01. Picodas Praha, c2003-2004. Turistická mapa České republiky v digitální podobě.

Úvod do GIS [online]. [cit. 2006-07-21]. Dostupné z:
<gama.fsv.cvut.cz/~safarik/dpz/labor/vyuka/prednaskyGIS/1uvod.ppt>.

VEJRAŽKA, F.: *Computer Design – Současnost a budoucnost diferenčních metod určování polohy pomocí navigačních družic* [online]. 2000-10-01 [cit. 2006-07-01]. Dostupné z: <<http://www.cdesign.cz/h/Clanky/AR.asp?ARI=84>>.

VEJRAŽKA, František: *Prezentace Výroční zprávy za rok 2004 projektu Účast České republiky v projektu GALILEO* [online]. 2005-12-20 [cit. 2006-06-13]. Dostupné z: <http://radio.feld.cvut.cz/satnav/galileo_cz/>.

VOJTA, J.: *GPS* [online]. [cit. 2006-04-11]. Dostupné z:
<<http://botany.natur.cuni.cz/geobotanika/vybaveni/gps.htm>>.

Výzkumná a experimentální síť pro observace s GNSS [online]. 2005-12-12 [cit. 2006-06-12]. Dostupné z: <<http://pecny.asu.cas.cz/vesog/>>.

WGS-84 – CZCacheWiki [online]. Naposledy editováno 2006-06-07 [cit. 2006-07-02]. Dostupné z: <<http://wiki.geocaching.cz/index.php?title=WGS84>>.

Wilson, D. L.: *GPS Accuracy Web Page* [online]. [cit. 2006-07-06]. Dostupné z:
<<http://users.erols.com/dlwilson/nosa.htm>>.

WORMLEY, J.: *Sam Wormley's GPS Errors and Estimating Your Receiver's Accuracy* [online]. Updated 2006-05-06 [cit. 2006-05-29]. Dostupné z: <http://www.edu-observatory.org/gps/gps_accuracy.html>.

ŽÁČEK, M.: Nejmenší atomové hodiny. *Aldebaran Bulletin* [online]. 2004, roč. 2, č. 43 [cit. 2006-06-30]. Dostupné z: <http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_43_nah.html>. ISSN: 1214-1674.

17. Seznam zkratek

2D – dvojdímenzionální
3D – trojdímenzionální
A-S – Anti-Spoofing
BIH – Bureau International de l'Heure
C/A – Coarse Acquisition, Clear Acces
CTP – Conventional Terrestrial Pole
CZEPOS – Česká permanentní síť pro určování polohy
DGPS – Differential GPS
DOP – Dilution of Precision
DORIS – Doppler Orbitography and Radio-positioning Integrated by Satellite
EGNOS – the European Geostationary Navigation Overlay Service
EPE – Estimated Position Error
ESA – European Space Agency
ETRS – European Terrestrial Reference System
FKP – Flächenkorrekturparameter
GDOP – Geometric Dilution of Precision
GIS – Geografické informační systémy
GLONASS – Globální navigační družicový systém
GNSS – Globální navigační satelitní systémy
GPRS – General Packet Radio Service
GSM – the Global System for Mobile Communications
HDOP – Horizontal Dilution of Precision
HTTP – Hyper Text Transfer Protocol
IGEB - Interagency Executive Board
IGS – International GPS Service
KČT – Klub českých turistů
LORAN – Long Range Aid to Navigation
MCS – Master Control Station
MMPOC – Main Military Point of Contact
NATO – North Atlantic Treaty Organisation
NAVSTAR GPS – Navigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System
NIST – National Institute of Standards and Technology
NMEA – National Marine Electronics Association
NTRIP – Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
OB – orientační běh
P – Precision, Protected
PDA – Personal Digital Assistant
PDOP – Positional Dilution of Precision
PPS – Precise Positioning Service
PRN – PseudoRandom Noise
PRS – pseudoreferenční stanice
PRS – Public Regulated Service
RIMS – Ranging and Integrity Monitoring Station
RINEX – Receiver Independent Exchange
RTCM – the Radio Technical Commission for Maritime Services

RTK – Radio Time Kinematic
S-42/83 – Souřadnicový systém 1942/83
SA – Selective Availability
SAR – Search and Rescue
SBAS – Satellite-Based Augmentation System
S-JTSK – Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
SoL – Safety of Life
SPS – Standard Positioning Service
TDOP – Time Dilution of Precision
TTF – Time To First Fix
UEE – User Equipment Errors
USNO – United States Naval Observatory
UTC – Universal Coordinated Time
UTM – Universal Transverse Mercator
VDOP – Vertical Dilution of Precision
VEGOS – Výzkumná a experimentální síť pro observace s GNSS
WAAS – Wide Area Augmentation System
WGS84 – World Geodetic System 1984

18. Seznam tabulek a obrázků

- Obr. 1: Oblasti SBAS
- Obr. 2: Mapa permanentních stanic v ČR
- Obr. 3: Nízké hodnoty DOP
- Obr. 4: Vysoké hodnoty DOP
- Obr. 5: Zobrazení hodnot DOP pro jeden den
- Obr. 6: Program Porovnání – graf vzdáleností
- Obr. 7: Program Porovnání – Statistiky
- Obr. 8: Konec pátého úseku
- Obr. 9: Druhý úsek
- Obr. 10: Třetí úsek – 5. měření
- Obr. 11: Třetí úsek – 23. měření
- Obr. 12: Třetí úsek – 52. měření
- Obr. 13: Čtvrtý úsek – 1. měření
- Obr. 14: Čtvrtý úsek – 2. měření
- Obr. 15: Čtvrtý úsek – 6. měření
- Obr. 16: Čtvrtý úsek – 7. měření
- Obr. 17: Čtvrtý úsek – 9. měření
- Obr. 18: Upravené 9. měření
- Obr. 19: Čtvrtý úsek – 9. měření – vznik nové trasy
- Obr. 20: Čtvrtý úsek – 10. měření
- Obr. 21: Čtvrtý úsek – 17. měření
- Obr. 22: Měření č. 31 – malé měřítko
- Obr. 23: Měření č. 31 – velké měřítko
- Obr. 24: Čtvrtý úsek – 38. měření
- Obr. 25: Čtvrtý úsek – 5. měření s GPSmap 60Cx
- Obr. 26: Trasa nad mapou TOPO50
- Obr. 27: Trasa nad OB mapou
- Obr. 28: Trasa přijímače GPSmap 60Cx
- Obr. 29: Trasa přijímače GPSmap 76S
- Obr. 30: Porovnání obou přijímačů 1
- Obr. 31: Porovnání obou přijímačů 2
- Obr. 32: Háj – GPSmap 60Cx
- Obr. 33: Háj – GPSmap 76S
- Obr. 34: Kamenec – chyba 1
- Obr. 35: Kamenec – chyba 2
- Obr. 36: Kamenec1 – TOPO50
- Obr. 37: Kamenec1 - neupraveno
- Obr. 38: Kamenec1 – upraveno
- Obr. 39: Kamenec1 – KČT
- Obr. 40: Kamenec1 – SHOCart
- Obr. 41: Kamenec2 – TOPO50
- Obr. 42: Kamenec2 – neupraveno
- Obr. 43: Kamenec2 – upraveno
- Obr. 44: Kamenec2 – KČT
- Obr. 45: Kamenec2 - SHOCart
- Obr. 46: Kamenec3 – Topo50

Obr. 47: Kamenec3 - neupraveno
Obr. 48: Kamenec3 – upraveno
Obr. 49: Kamenec3 - KČT
Obr. 50: Kamenec3 – SHOCart
Obr. 51: Kamenec4 – TOPO50
Obr. 52: Kamenec4 – neupraveno
Obr. 53: Kamenec4 - upraveno
Obr. 54: Kamenec4 – KČT
Obr. 55: Kamenec4 - SHOCart
Obr. 56: Kamenec5 – TOPO50
Obr. 57: Kamenec5 - neupraveno
Obr. 58: Kamenec5 – upraveno
Obr. 59: Kamenec5 - KČT
Obr. 60: Kamenec5 –SHOCart
Obr. 61: Kamenec6 – TOPO50
Obr. 62: Kamenec6 – neupraveno
Obr. 63: Kamenec6 - upraveno
Obr. 64: Kamenec6 – KČT
Obr. 65: Kamenec6 - SHOCart

Tab. 1.: Měření na trase Šumperk – Nové Domky, přijímač GPSmap 76S
Tab. 2.: Měření na trase Šumperk – Nové Domky, přijímač GPSmap 60Cx
Tab. 3.: Měření v oblasti Háje, oba přijímače
Tab. 4: Rozdíly v určení pozice bodů
Tab. 5: Největší naměřené odchylky
Tab. 6: Chyby měření podle nastavení záznamu dat
Tab. 7: Součty pořadí měření podle jednotlivých nastavení
Tab. 8: Porovnání měření s externí anténou a bez externí antény
Tab. 9: Porovnání měření s různými přijímači
Tab. 10: Porovnání měření s různými přijímači podle počtu kvalitnějších záznamů
Tab. 11: Porovnání měření podle přijímačů
Tab. 12: Porovnání měření s rozlišením uložených a aktivních záznamů
Tab. 13: Porovnání měření podle nastavení ukládání
Tab. 14.: Porovnání „ideálních“ měření
Tab. 15: Porovnání měření podle rychlosti pohybu na trase
Tab. 16: Porovnání měření podle nastavení korekcí EGNOS
Tab. 17: Porovnání měření podle podmínek pro příjem signálu
Tab. 18: Označení zaznamenávaných bodů

19. Seznam příloh

- Příloha 1 - Program Porovnání 1
- Příloha 2 - Program Porovnání 2
- Příloha 3 - Program Porovnání 3
- Příloha 4 - Program Porovnání 4
- Příloha 5 - Program Porovnání 5
- Příloha 6 - Program Porovnání 6
- Příloha 7 - Program Porovnání 7
- Příloha 8 - Program Porovnání 8
- Příloha 9 - Měřené trasy 1
- Příloha 10 - Měřené trasy 2
- Příloha 11 - Měřené trasy 3
- Příloha 12 - Měřené trasy 4
- Příloha 13 - Měřené trasy 5
- Příloha 14 - Měřené trasy 6
- Příloha 15 - Měřené trasy 7
- Příloha 16 - Měřené trasy 8
- Příloha 17 - Měřené trasy 9
- Příloha 18 - Měřené trasy 10
- Příloha 19 - Měřené trasy 11
- Příloha 20 - Měřené trasy 12
- Příloha 21 - Měřené trasy 13
- Příloha 22 - Měřené trasy 14
- Příloha 23 - Měřené trasy 15

Abstrakt

Práce se zabývá využitím ručních GPS přijímačů pro zpřesňování turistických map určených pro použití v kombinaci s GPS přijímači. V teoretické části podává práce základní přehled globálních navigačních satelitních systémů, objasňuje příčiny, jež vedou ke snížení přesnosti GPS přijímačů, věnuje se samotným GPS přijímačům, jejich nastavení, které může ovlivnit záznam trasy. Samostatná kapitola se zabývá pracemi, které byly věnovány problematice zjišťování přesnosti GPS přijímačů a mapování s ručními GPS přijímači.

V rámci práce byly několikanásobně zaměřeny tři trasy, dále byla zaměřena jedna oblast s hustou sítí cest a na závěr bylo vybranou metodou zaměřeno několik turistických tras. Trasy byly vizuálně porovnávány se záznamem trasy geodetickým GPS přijímačem, dále byl vytvořen program, kvantifikující velikost odchylek dvou křivek. Porovnáním dvou GPS přijímačů, různých nastavení přístrojů a způsobů zacházení s nimi během měření byla určena metodika pro mapování s pomocí GPS přijímačů. Dodržením této metodiky lze zvýšit přesnost mapovaných prvků a jejich okolí a zlepšit tak kvalitu map.

Abstract

This dissertation is about the possibility of hand GPS receivers to produce more accurate touristic maps when these maps are used in combination with GPS receivers. In the theoretical section, this work deals with the basic outline of global navigation satellite systems, explains the reasons which lead to the reduction of the accuracy of GPS receivers, deals also exclusively with the GPS receivers, their setup which might affect the recording of the tracks. A special chapter treats papers dealing with the accuracy and the recording of maps with hand GPS receivers.

Three tracks were surveyed many times for this dissertation. An area with a large system of routes was surveyed and in conclusion a few touristic tracks were surveyed with a special method. The tracks were visually compared with the recording of the tracks made with a geodetic GPS receiver, further, a software was developed which measured the size of the deviation between two graphs. The technique for the recording of maps with hand GPS receivers was decided by comparing two GPS receivers, also by different setups of instruments and by a method of using them during the surveying. This method increases the accuracy of the map site and its surroundings thus improving the quality of the map.

Příloha 1 k magisterské práci J. Horké (2006): „Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů“

Program Porovnání 1

```
clear all
close all

ref_soubor = input('Jmeno souboru s referencni trasou : ','s');
trasa_soubor = input('Jmeno souboru s analyzovanou trasou : ','s');
grafy = lower(input('Vykresleni grafu (a/n) : ','s'));

if exist(ref_soubor) == 0
    error(strcat(ref_soubor,' - soubor neexistuje !'))
end

if exist(trasa_soubor) == 0
    error(strcat(trasa_soubor,' - soubor neexistuje !'))
end

r = load(ref_soubor);
t = load(trasa_soubor);
ref_x = r(:,1);
ref_y = r(:,2);

if ~isempty(find(ref_x < ref_x(1)))
    n = length(ref_x);
    pom_x = [];
    pom_y = [];
    for i=1:n
        pom_x(i) = ref_x(n-i+1);
        pom_y(i) = ref_y(n-i+1);
    end
    ref_x = pom_x;
    ref_y = pom_y;
    disp('Referencni trasa byla prevracena')
end

trasa_x = t(:,1);
trasa_y = t(:,2);

if ~isempty(find(trasa_x < trasa_x(1)))
    n = length(trasa_x);
    pom_x = [];
    pom_y = [];
    for i=1:n
        pom_x(i) = trasa_x(n-i+1);
        pom_y(i) = trasa_y(n-i+1);
    end
    trasa_x = pom_x;
    trasa_y = pom_y;
    disp('Analyzovana trasa byla prevracena.')
end
```

Příloha 2 k magisterské práci J. Horké (2006): „Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů“

Program Porovnání 2

```
n = length(ref_x);
pom_x = ref_x(1);
pom_y = ref_y(1);

for i=2:n
    j = length(pom_x);
    if ~(ref_x(i) == pom_x(j) & ref_y(i) == pom_y(j))
        pom_x = [pom_x, ref_x(i)];
        pom_y = [pom_y, ref_y(i)];
    else
        disp(strcat('Bod ', num2str(i), ' vynechan. '))
    end
end

ref_x = pom_x;
ref_y = pom_y;

n = length(trasa_x);
pom_x = trasa_x(1);
pom_y = trasa_y(1);

for i=2:n
    j = length(pom_x);
    if ~(trasa_x(i) == pom_x(j) & trasa_y(i) == pom_y(j))
        pom_x = [pom_x, trasa_x(i)];
        pom_y = [pom_y, trasa_y(i)];
    else
        disp(strcat('Bod ', num2str(i), ' vynechan. '))
    end
end

trasa_x = pom_x;
trasa_y = pom_y;

n = length(ref_x);
pom = [];
for i=1:n-1
    X = [ref_x(i), ref_y(i)];
    Y = [ref_x(i+1), ref_y(i+1)];
    pom(i) = dist(X, Y);
end

pom(find(pom == max(pom))) = [];
pom(find(pom == min(pom))) = [];
avg_dist = mean(pom);
```


Příloha 3 k magisterské práci J. Horké (2006): „Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů“

Program Porovnání 3

```
new_x = [];  
new_y = [];  
pom_x = [];  
pom_y = [];  
  
for i=1:n-1  
    X = [ref_x(i),ref_y(i)];  
    Y = [ref_x(i+1),ref_y(i+1)];  
    if dist(X,Y) >= 2*avg_dist  
        poc = floor(dist(X,Y)/avg_dist) - 1;  
        disp(strcat('mezi ',num2str(i),' a ',num2str(i+1),' doplnuji body,  
pocet : ', num2str(poc)))  
        dx = ref_x(i+1) - ref_x(i);  
        dy = ref_y(i+1) - ref_y(i);  
        pom_x = [pom_x, ref_x(i)];  
        pom_y = [pom_y, ref_y(i)];  
        for j=1:poc  
            new_x = [new_x, ref_x(i) + j*dx/(poc + 1)];  
            new_y = [new_y, ref_y(i) + j*dy/(poc + 1)];  
            pom_x = [pom_x, ref_x(i) + j*dx/(poc + 1)];  
            pom_y = [pom_y, ref_y(i) + j*dy/(poc + 1)];  
        end  
    else  
        pom_x = [pom_x, ref_x(i)];  
        pom_y = [pom_y, ref_y(i)];  
    end  
end  
pom_x = [pom_x, ref_x(n)];  
pom_y = [pom_y, ref_y(n)];  
  
if grafy ~= 'n'  
    figure  
    set(gcf,'Name','Referencni a analyzovana trasa - graficke znazorneni')  
    title('Referencni a analyzovana trasa - graficke znazorneni')  
    plot(ref_x,ref_y,'rx')  
    hold on  
    plot(trasa_x,trasa_y,'b+')  
    plot(new_x,new_y,'gx')  
    legend('referencni trasa','analyzovana trasa','doplnene body')  
    hold off  
    axis equal  
end  
  
ref_x = pom_x;  
ref_y = pom_y;
```

Příloha 4 k magisterské práci J. Horké (2006): „Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů“

Program Porovnání 4

```
n = length(trasa_x);
m = length(ref_x);
vzdalenosti_pom = ones(1,m)*(-1);
vzdalenosti_indexy = zeros(1,m);
paty_x = zeros(1,m);
paty_y = zeros(1,m);

for i=1:n-1

    for j=1:m
        X = [trasa_x(i), trasa_x(i+1)];
        Y = [trasa_y(i), trasa_y(i+1)];
        XP = ref_x(j);
        YP = ref_y(j);
        [x,y] = pata(X,Y,XP,YP);
        if i <= n-2
            a = lezi_na_usecce([trasa_x(i), trasa_y(i)], [trasa_x(i+1),
trasa_y(i+1)], [x,y]);
        else
            a = lezi_na_usecce([trasa_x(i), trasa_y(i)], [trasa_x(i+1),
trasa_y(i+1)], [x,y]);
        end

        if a == 1

            if vzdalenosti_pom(j) == -1
                vzdalenosti_pom(j) = dist([x,y],[ref_x(j), ref_y(j)]);
                vzdalenosti_indexy(j) = i;
                paty_x(j) = x;
                paty_y(j) = y;
            else
                if vzdalenosti_pom(j) > dist([x,y],[ref_x(j), ref_y(j)])
                    vzdalenosti_pom(j) = dist([x,y],[ref_x(j), ref_y(j)]);
                    vzdalenosti_indexy(j) = i;
                    paty_x(j) = x;
                    paty_y(j) = y;
                end
            end
        end
    else
end
end
end

start = 1;
while vzdalenosti_indexy(start) == 0
    start = start + 1;
end
```

Příloha 5 k magisterské práci J. Horké (2006): „Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů“

Program Porovnání 5

```
konec = m;
while vzdalenosti_indexy(konec) == 0
    konec = konec - 1;
end

for i=(start + 1):(konec-1)
    pom = [];
    pom2 = [];
    if vzdalenosti_indexy(i) == 0
        vzad = i-1;
        while vzdalenosti_indexy(vzad) == 0
            vzad = vzad - 1;
        end
        vpred = i+1;
        while vzdalenosti_indexy(vpred) == 0
            vpred = vpred+1;
        end
        vzad = vzdalenosti_indexy(vzad) + 1;
        vpred = vzdalenosti_indexy(vpred);
        for j=vzad:vpred
            pom = [pom, dist([ref_x(i), ref_y(i)], [trasa_x(j), trasa_y(j)])]];
            pom2 = [pom2, j];
        end
        vzdalenosti_pom(i) = min(pom);
        k = find(pom == min(pom));
        paty_x(i) = trasa_x(pom2(k));
        paty_y(i) = trasa_y(pom2(k));
    end
end

end

vzdalenosti = vzdalenosti_pom;
vzdalenosti(vzdalenosti == -1) = [];
statistiky(vzdalenosti);

if grafy == 'a'
    figure
    set(gcf,'Name','Graficke znazorneni vysledku');
    plot(trasa_x, trasa_y, 'b+-');
    hold on
    for i=1:m
        if vzdalenosti_pom(i) >= 0
            plot([ref_x(i), paty_x(i)], [ref_y(i), paty_y(i)], 'rx--');
        else
            plot(ref_x(i), ref_y(i), 'gx')
        end
    end
    axis equal
end
end
```

Příloha 6 k magisterské práci J. Horké (2006): „Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů“

Program Porovnání 6

```
-----  
  
function v = dist(x,y)  
  
v = sqrt((x(1)-y(1))^2 + (x(2)-y(2))^2);
```

```
-----  
  
function [x,y]=pata(X,Y,XP,YP)  
  
alfa=bearing([Y(1),X(1);Y(2),X(2)]);  
XP1=XP+100*cos(alfa+pi/2);  
YP1=YP+100*sin(alfa+pi/2);  
[x,y]=intersec([X(1),X(2),XP,XP1],[Y(1),Y(2),YP,YP1]);
```

```
-----  
  
function a = lezi_na_usecce(A,B,X,p)  
  
if nargin == 3  
    p = 0;  
end  
u = B - A;  
  
if u(1) == 0 & u(2) == 0  
    if X(1) == A(1) & X(2) == A(2)  
        a = 1;  
    else  
        a = 0;  
    end  
elseif u(1) == 0 & u(2) ~= 0  
    if X(1) == A(1)  
        if A(2) > B(2)  
            t = B(2);  
            B(2) = A(2);  
            A(2) = t;  
        end  
    end  
End
```

Jana Horká
2006

Příloha 7 k magisterské práci J. Horké (2006): „Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů“

Program Porovnání 7

```
switch p
case p == 0
    pom = X(2) >= A(2) & X(2) <= B(2);
case p == 1
    pom = X(2) >= A(2) & X(2) < B(2);
otherwise
    pom = X(2) > A(2) & X(2) <= B(2)
end

if pom == 1
    a = 1;
else
    a = 0;
end;
else
    a = 0;
end
elseif u(1) ~= 0 & u(2) == 0

if X(2) == A(2)
    if A(1) > B(1)
        t = B(1);
        B(1) = A(1);
        A(1) = t;
    end
    switch p
    case p == 0
        pom = X(1) >= A(1) & X(1) <= B(1);
    case p == 1
        pom = X(1) >= A(1) & X(1) < B(1);
    otherwise
        pom = X(1) > A(1) & X(1) <= B(1)
    end

    if pom == 1
        a = 1;
    else
        a = 0;
    end;
else
    a = 0;
end
```

Příloha 8 k magisterské práci J. Horké (2006): „Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů“

Program Porovnání 8

```
else
    t = [(X(1) - A(1))/u(1), (X(2) - A(2))/u(2)];

    switch p
    case p == 0
        pom = t >= 0 & t <= 1;
    case p == 1
        pom = t >= 0 & t < 1;

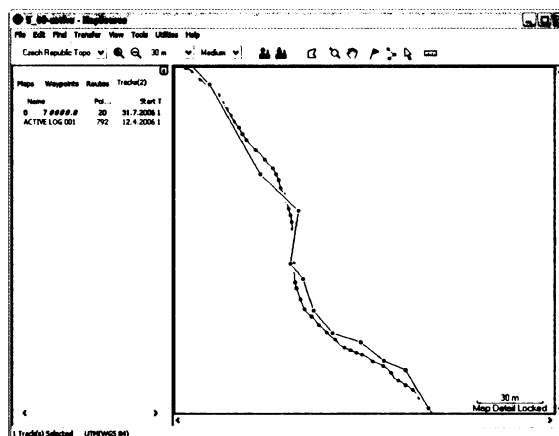
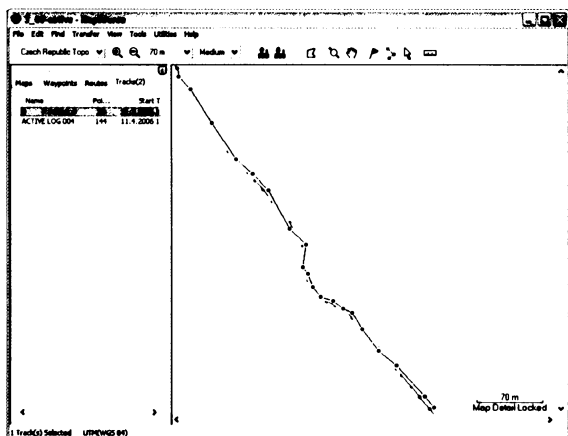
    otherwise
        pom = t > 0 & t <= 1;
    end
    if sum(pom) == 2
        a = 1;
    else
        a = 0;
    end
end
```

```
function [] = statistiky(vzdalenosti)
disp(strcat('Celkova velikost odchylek : ',num2str(sum(vzdalenosti))))
disp(strcat('Prumerna velikost odchylky : ',num2str(mean(vzdalenosti))))
disp(strcat('Rozptyl odchylek : ',num2str(std(vzdalenosti))))
disp(strcat('Median odchylek : ',num2str(median(vzdalenosti))))
disp(strcat('Maximalni velikost odchylky : ',num2str(max(vzdalenosti))))
disp(strcat('Minimalni velikost odchylky : ',num2str(min(vzdalenosti))))
```

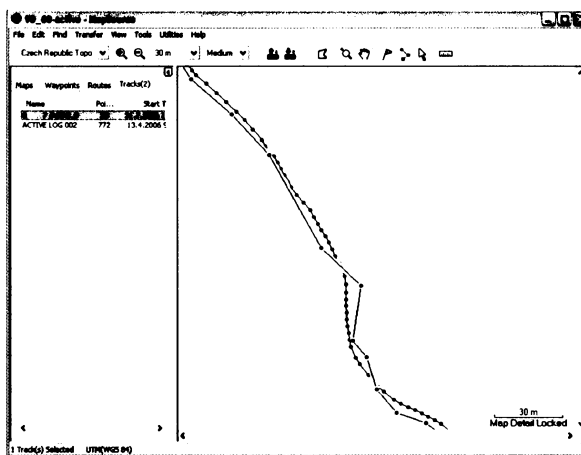
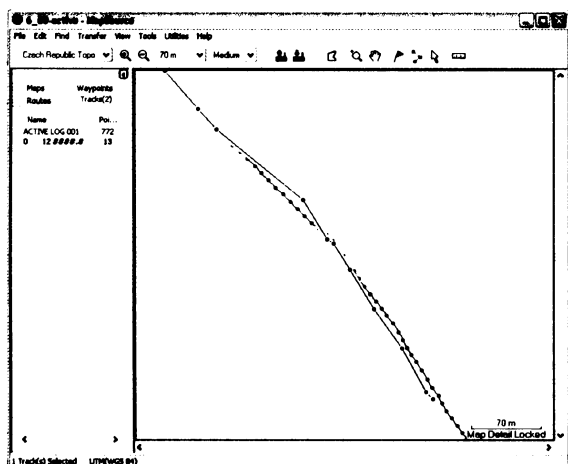
Příloha 9 k magisterské práci J. Horké (2006): „Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů“

Měřené trasy 1

Čtvrtý úsek – 3. měření přijímačem GPSmap 60Cx, Čtvrtý úsek – 5. měření přijímačem GPSmap 60Cx



Čtvrtý úsek – 6. měření přijímačem GPSmap 60Cx, Čtvrtý úsek – 10. měření přijímačem GPSmap 60Cx

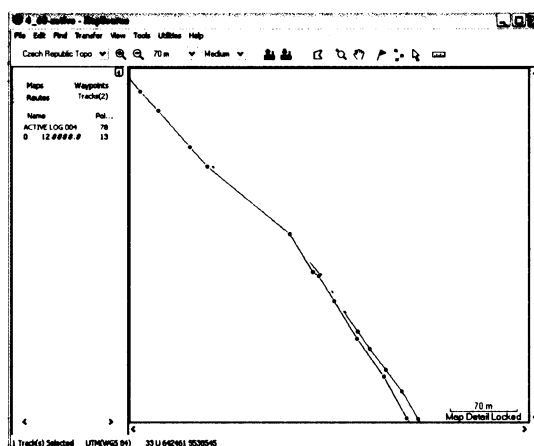
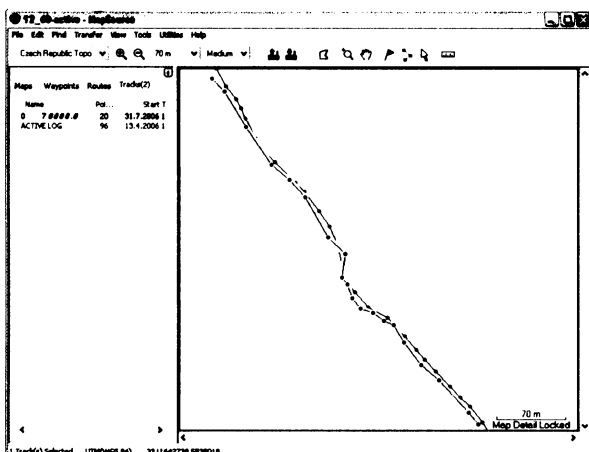


Jana Horká
2006
Zdroj dat: vlastní měření

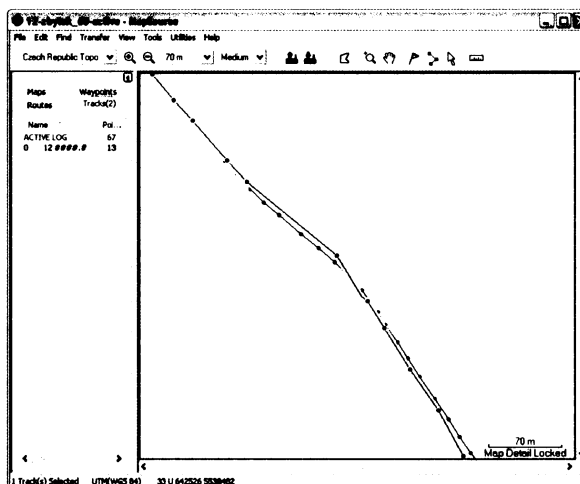
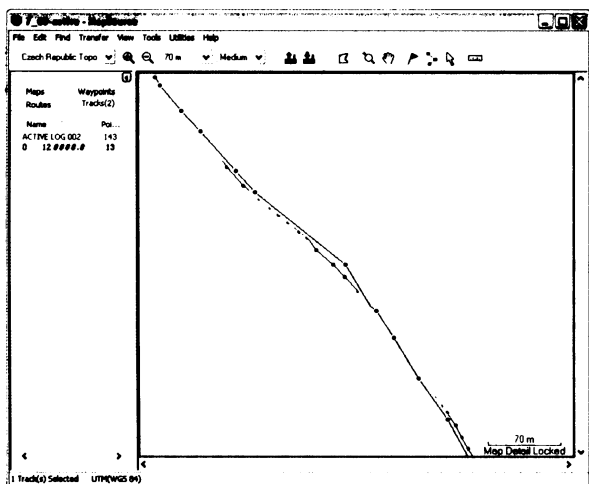
Příloha 10 k magisterské práci J. Horké (2006): „Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů“

Měřené trasy 2

Čtvrtý úsek – 12. měření přijímačem GPSmap 60Cx, Pátý úsek – 4. měření přijímačem GPSmap 60Cx



Pátý úsek – 7. měření přijímačem GPSmap 60Cx, Pátý úsek – 12. měření přijímačem GPSmap 60Cx

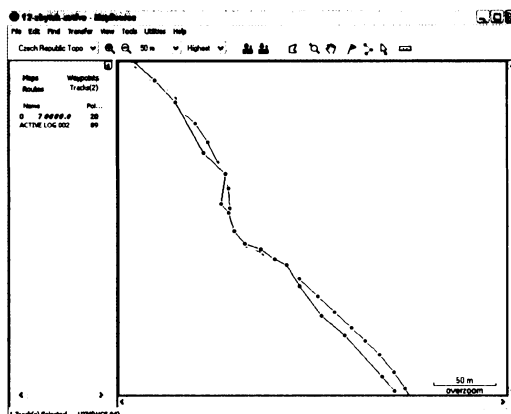
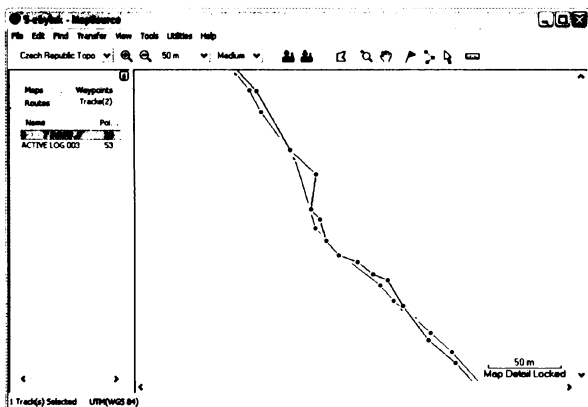


Jana Horká
2006
Zdroj dat: vlastní měření

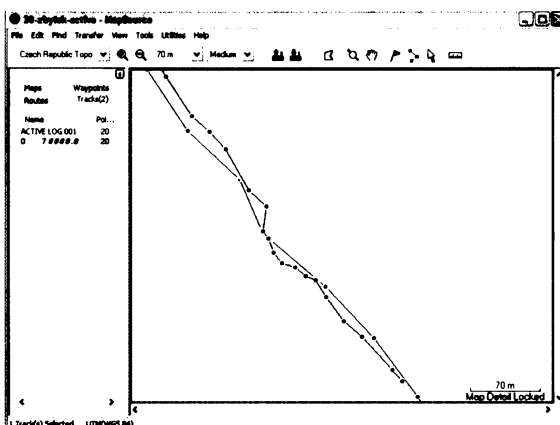
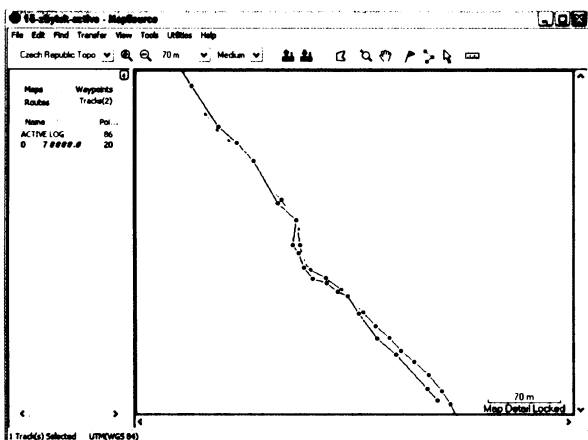
Příloha 11 k magisterské práci J. Horké (2006): „Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů“

Měřené trasy 3

Čtvrtý úsek – 5. měření, přijímač GPSmap 76S, Čtvrtý úsek – 12. měření, přijímač GPSmap 76S



Čtvrtý úsek – 16. měření, přijímač GPSmap 76S, Čtvrtý úsek – 20. měření, přijímač GPSmap 76S

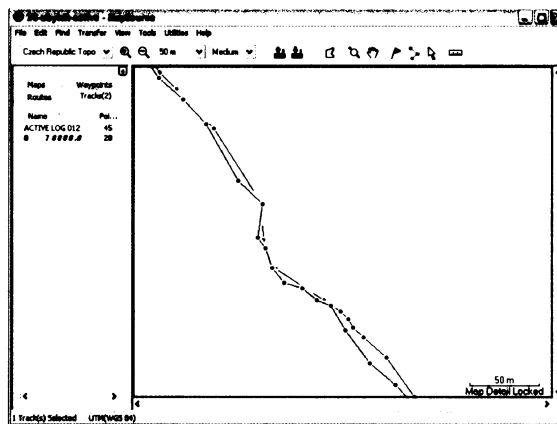
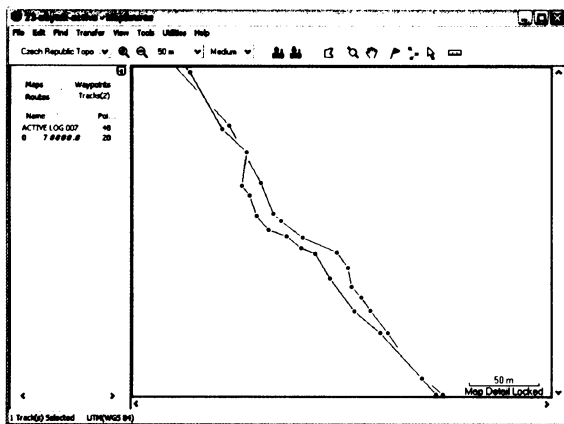


Jana Horká
2006
Zdroj dat: vlastní měření

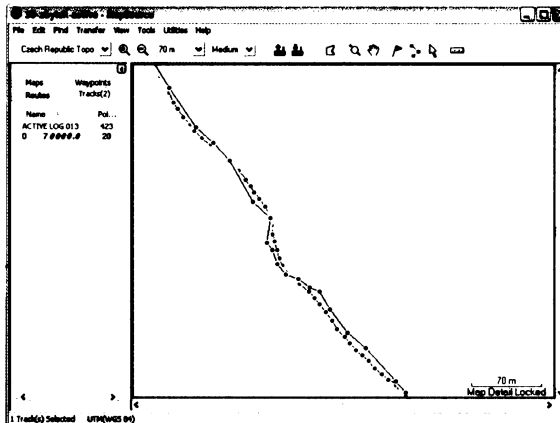
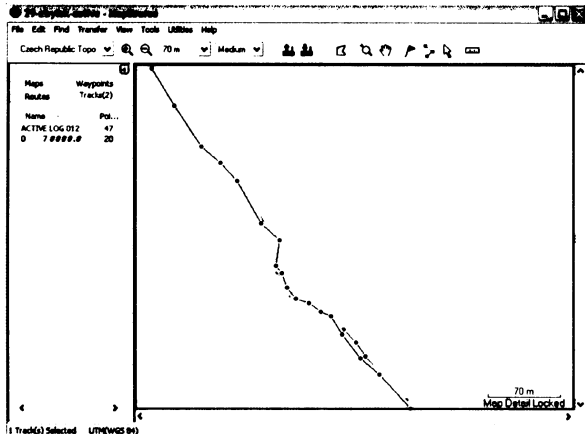
Příloha 12 k magisterské práci J. Horké (2006): „Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů“

Měřené trasy 4

Čtvrtý úsek – 23. měření, přijímač GPSmap 76S, Čtvrtý úsek – 26. měření, přijímač GPSmap 76S



Čtvrtý úsek – 29. měření, přijímač GPSmap 76S, Čtvrtý úsek – 30. měření, přijímač GPSmap 76S

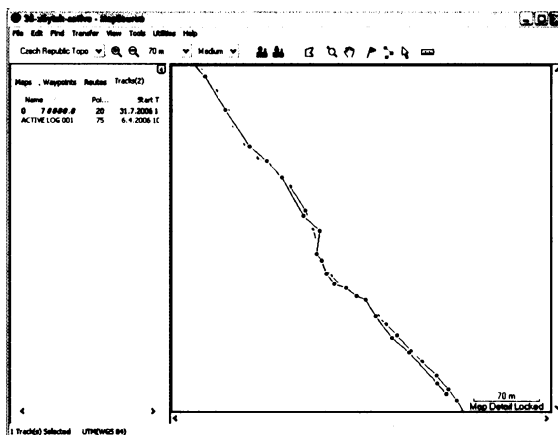
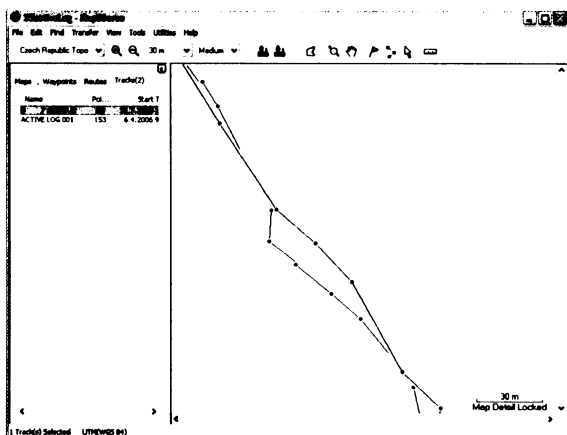


Jana Horká
2006
Zdroj dat: vlastní měření

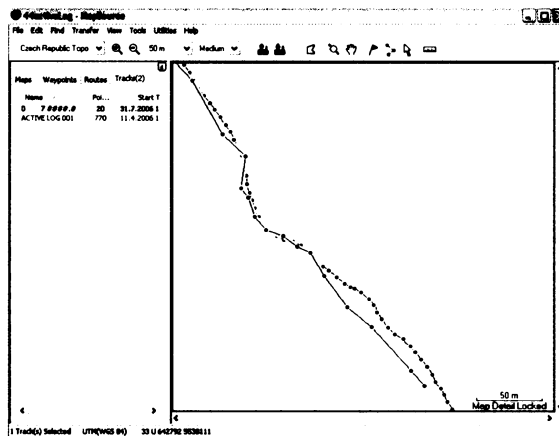
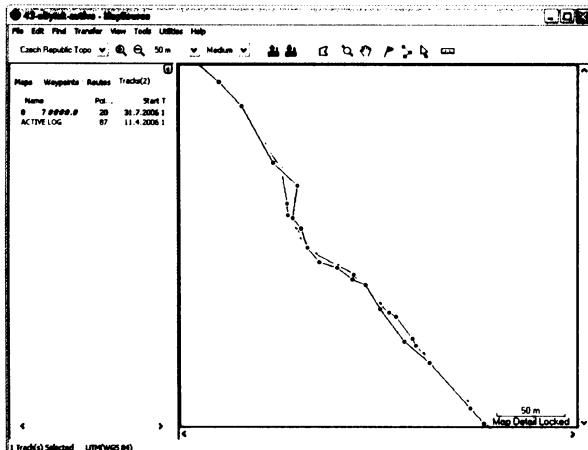
Příloha 13 k magisterské práci J. Horké (2006): „Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů“

Měřené trasy 5

Čtvrtý úsek – 35. měření, přijímač GPSmap 76S, Čtvrtý úsek – 36. měření, přijímač GPSmap 76S



Čtvrtý úsek – 43. měření, přijímač GPSmap 76S, Čtvrtý úsek – 44. měření, přijímač GPSmap 76S

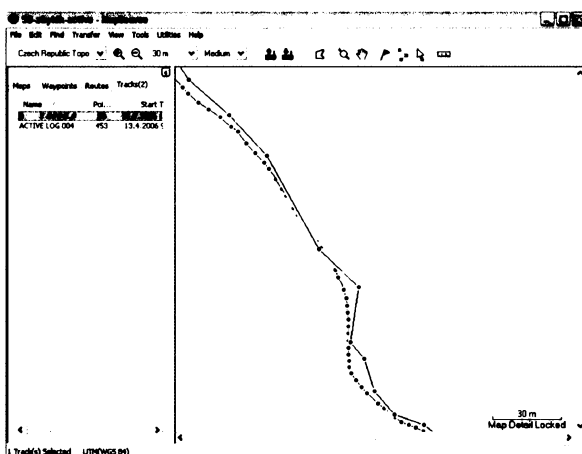
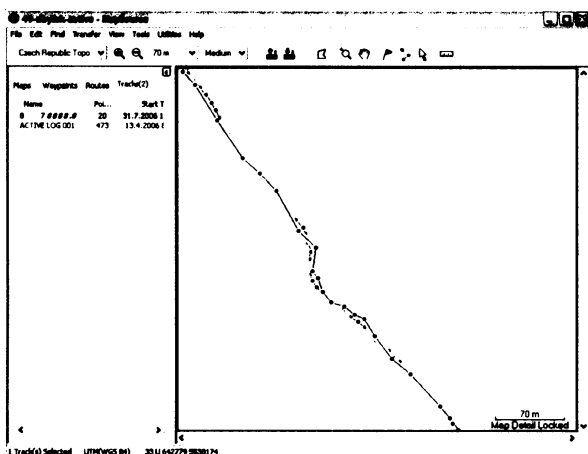


Jana Horká
2006
Zdroj dat: vlastní měření

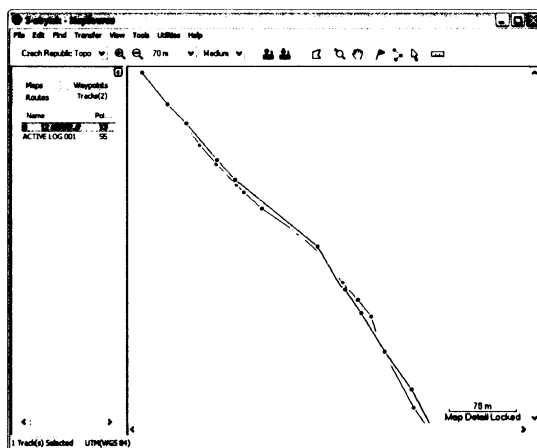
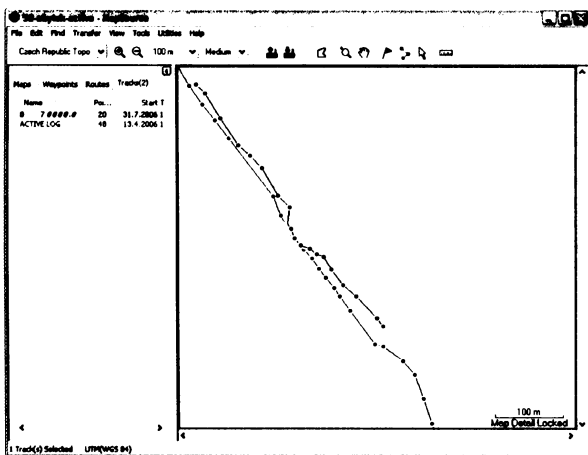
Příloha 14 k magisterské práci J. Horké (2006): „Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů“

Měřené trasy 6

Čtvrtý úsek – 49. měření, přijímač GPSmap 76S, Čtvrtý úsek – 50. měření, přijímač GPSmap 76S



Čtvrtý úsek – 52. měření, přijímač GPSmap 76S, Pátý úsek – 3. měření, přijímač GPSmap 76S

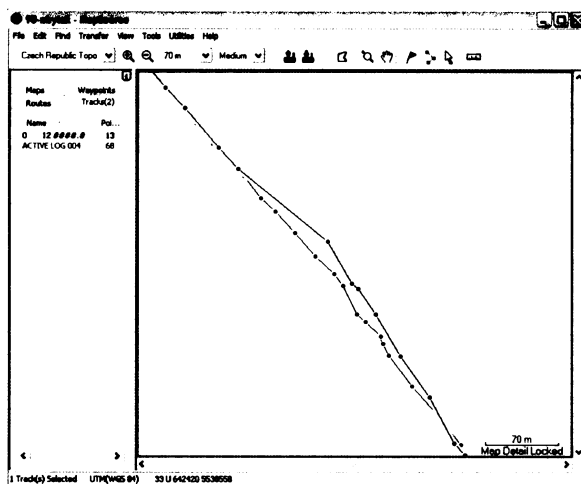
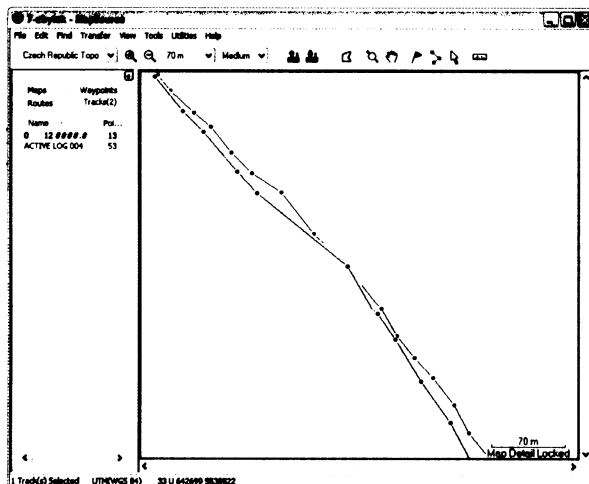


Jana Horká
2006
Zdroj dat: vlastní měření

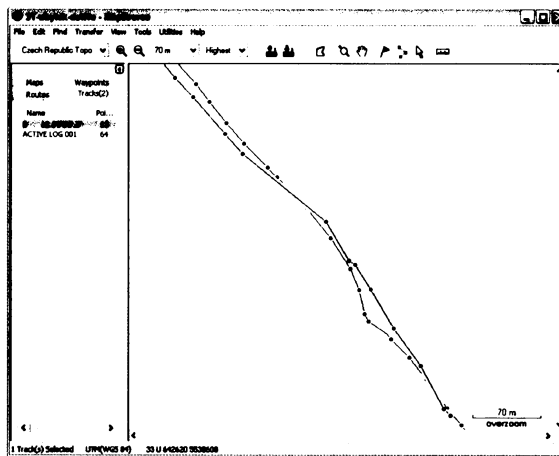
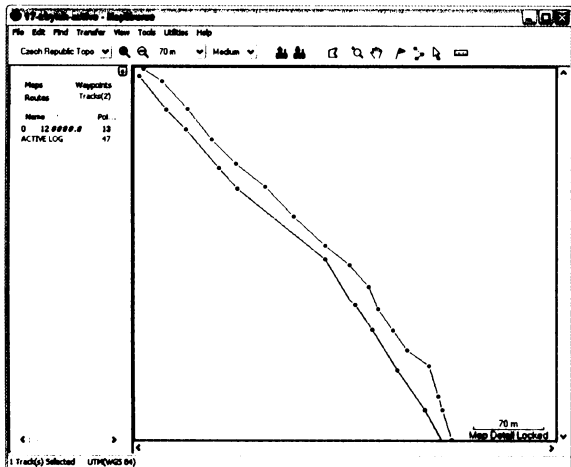
Příloha 15 k magisterské práci J. Horké (2006): „Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů“

Měřené trasy 7

Pátý úsek – 7. měření, přijímač GPSmap 76S, Pátý úsek – 10. měření, přijímač GPSmap 76S



Pátý úsek – 17. měření, přijímač GPSmap 76S, Pátý úsek – 31. měření, přijímač GPSmap 76S

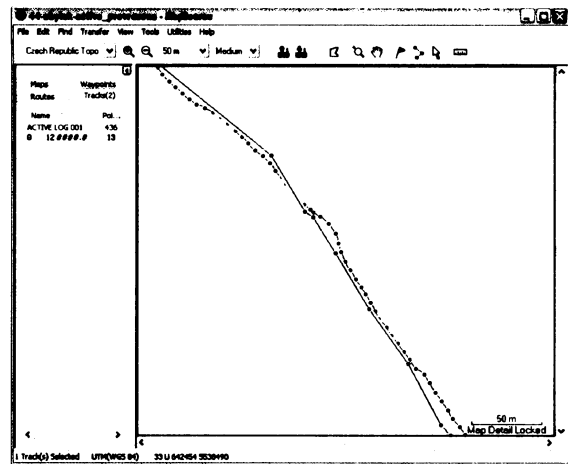
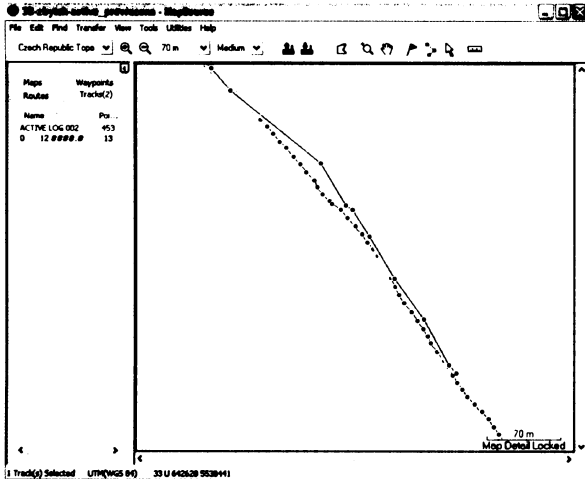


Jana Horká
2006
Zdroj dat: vlastní měření

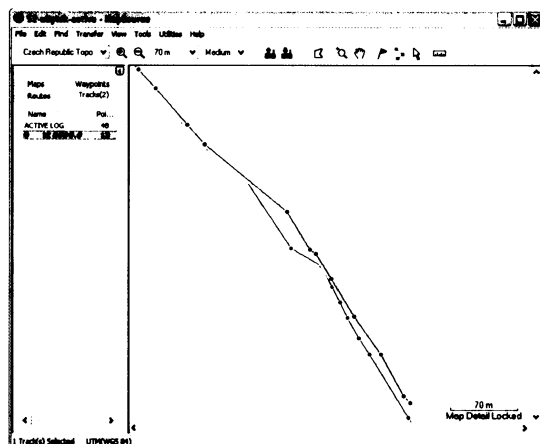
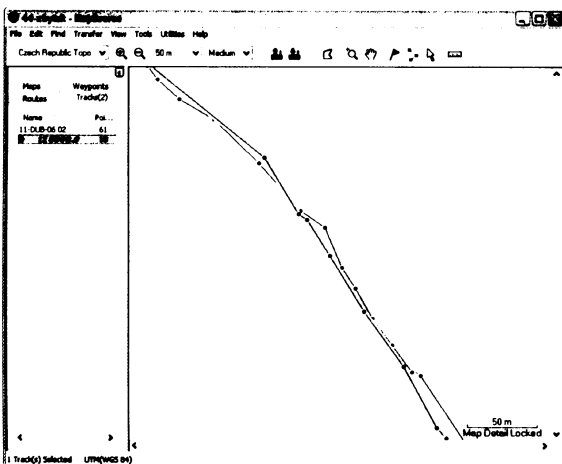
Příloha 16 k magisterské práci J. Horké (2006): „Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů“

Měřené trasy 8

Pátý úsek – 38. měření, přijímač GPSmap 76S, Pátý úsek – 44. měření, přijímač GPSmap 76S



Pátý úsek – 44. měření, uložené přijímač GPSmap 76S, Pátý úsek – 52. měření, přijímač GPSmap 76S

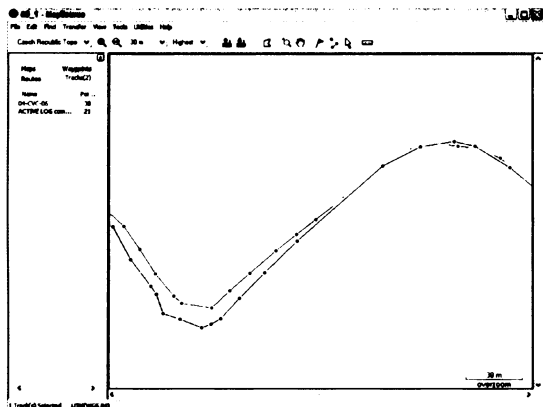


Jana Horká
2006
Zdroj dat: vlastní měření

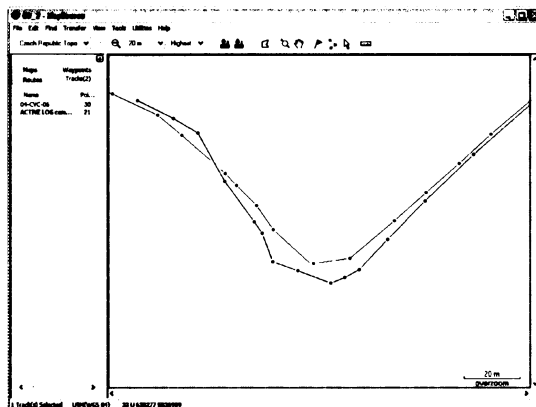
Příloha 17 k magisterské práci J. Horké (2006): „Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů“

Měřené trasy 9

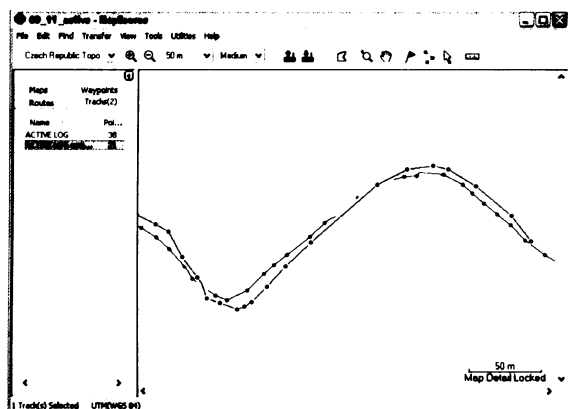
Háj – 1. měření, GPSmap 60Cx



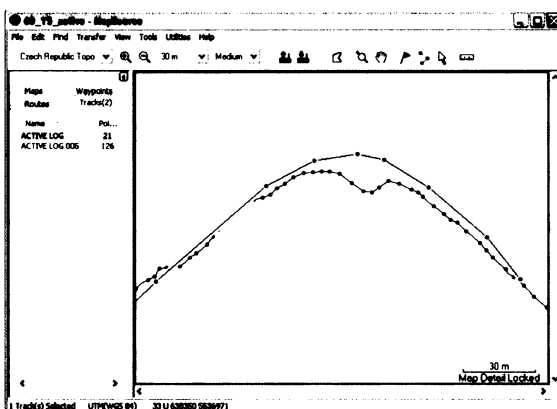
Háj – 2. měření, GPSmap 60Cx



Háj – 11. měření, GPSmap 60Cx



Háj – 15. měření, GPSmap 60Cx

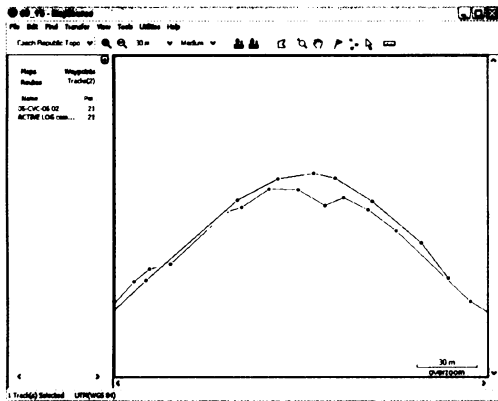


Jana Horká
2006
Zdroj dat: vlastní měření

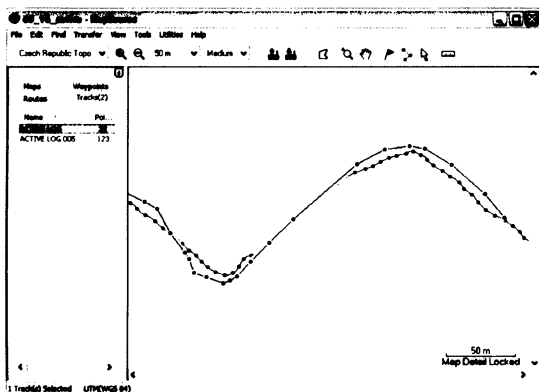
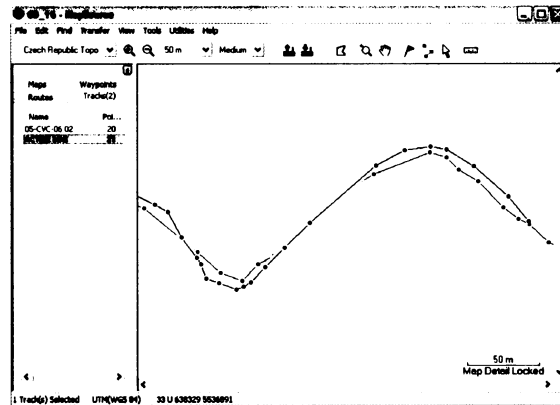
Příloha 18 k magisterské práci J. Horké (2006): „Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů“

Měřené trasy 10

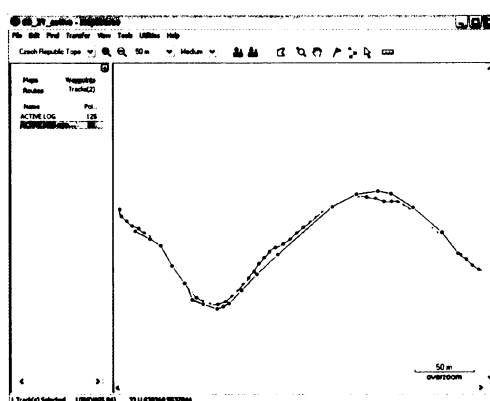
Háj – 15. měření, uložená, GPSmap 60Cx



Háj – 16 . měření, uložená GPSmap 60Cx



Háj – 16. měření, GPSmap 60Cx



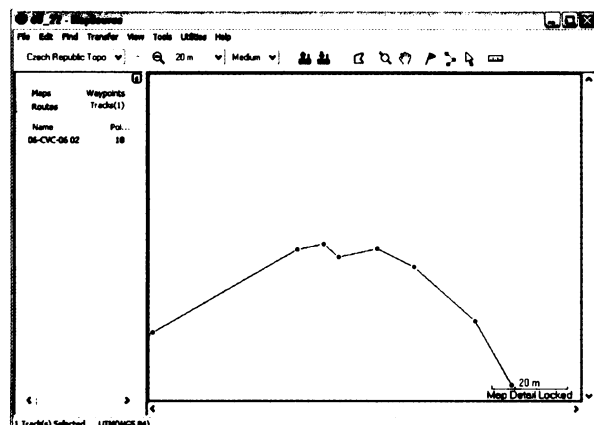
Háj – 21 . měření, GPSmap 60Cx

Jana Horká
2006
Zdroj dat: vlastní měření

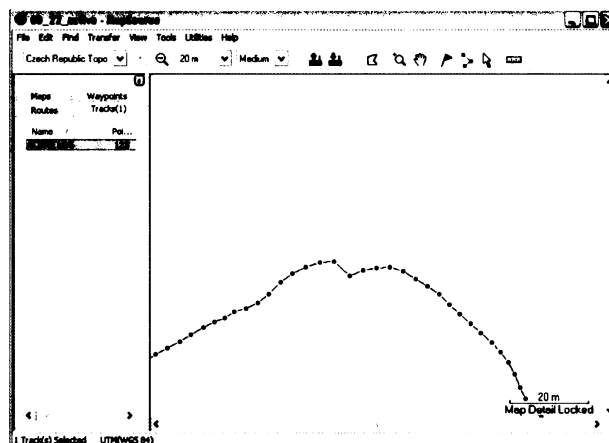
Příloha 19 k magisterské práci J. Horké (2006): „Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů“

Měřené trasy 11

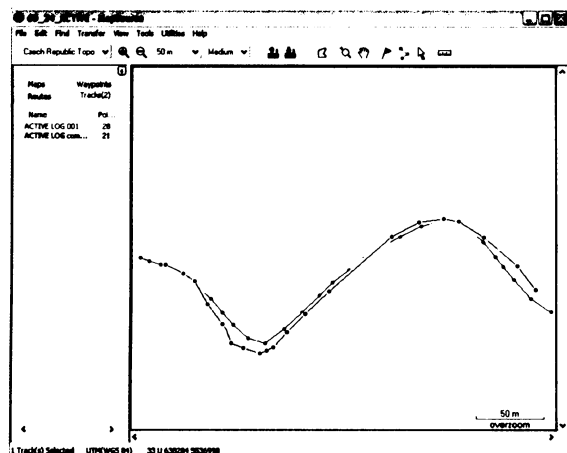
Háj – 22. měření, GPSmap 60Cx



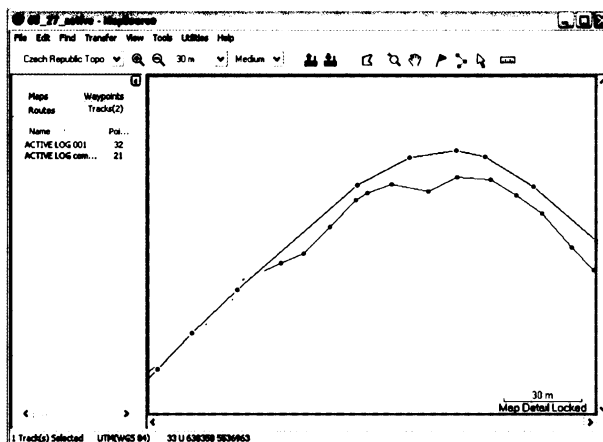
Háj – 22 . měření, GPSmap 60Cx



Háj – 24. měření, GPSmap 60Cx



Háj – 27 . měření, GPSmap 60C

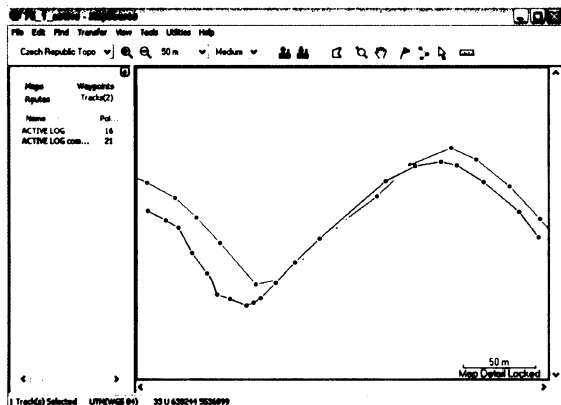


Jana Horká
2006
Zdroj dat: vlastní měření

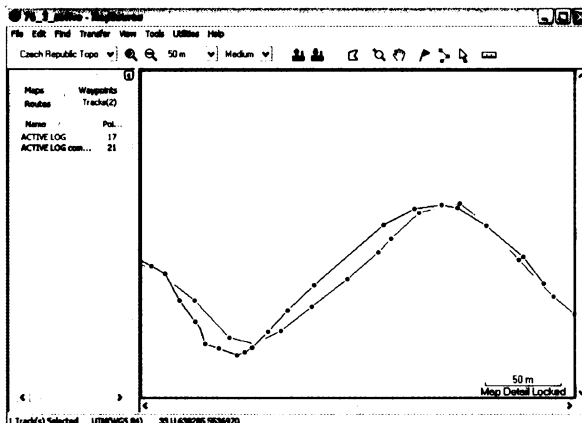
Příloha 20 k magisterské práci J. Horké (2006): „Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů“

Měřené trasy 12

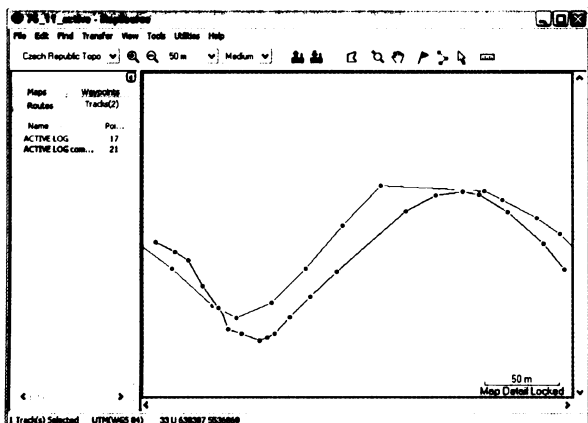
Háj – 1. měření, GPSmap 76S



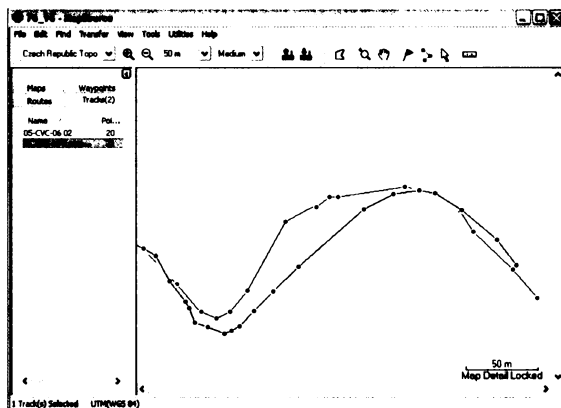
Háj – 2 . měření, GPSmap 76S



Háj – 11. měření, GPSmap 76S



Háj – 16 . měření, GPSmap 76S

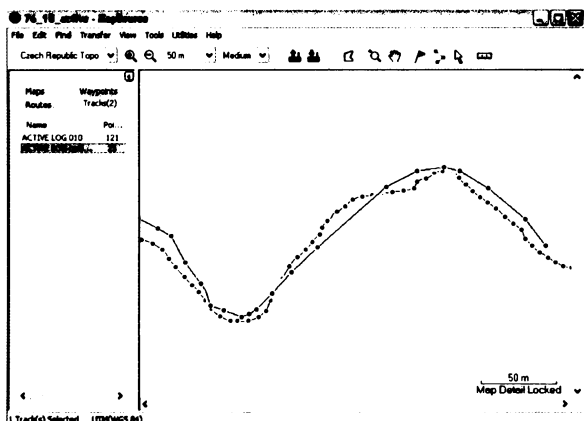


Jana Horká
2006
Zdroj dat: vlastní měření

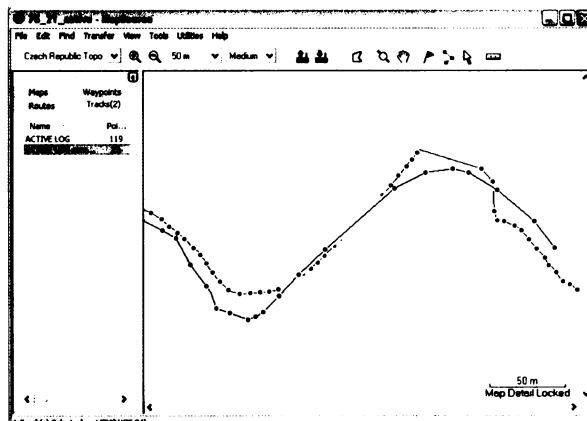
Příloha 21 k magisterské práci J. Horké (2006): „Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů“

Měřené trasy 13

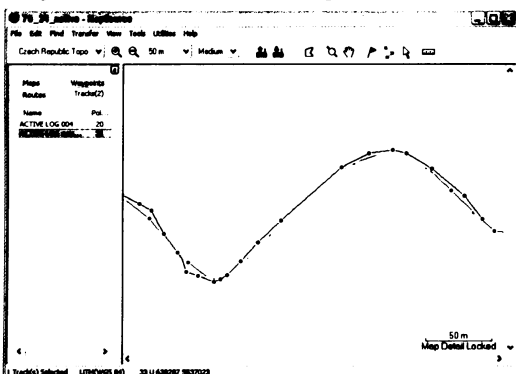
Háj – 18. měření, GPSmap 76S



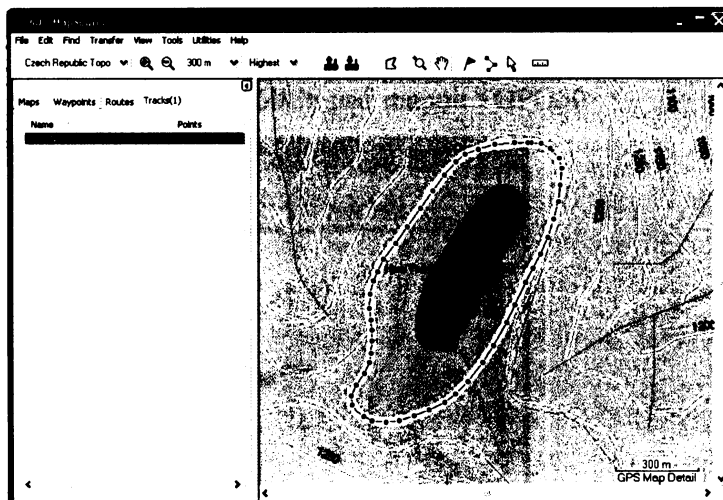
Háj – 21 . měření, GPSmap 76S



Háj – 24. měření, GPSmap 76S



Měření na Dlouhých stráních



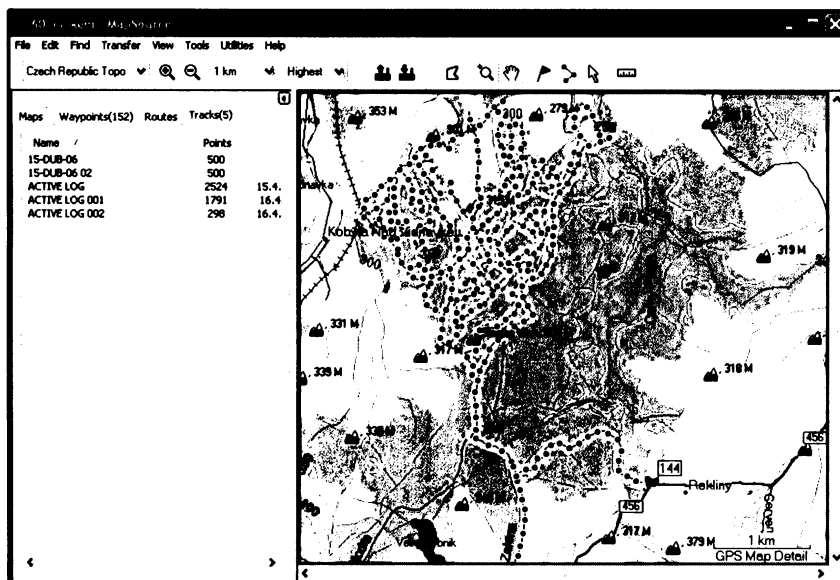
Jana Horká
2006

Zdroj dat: vlastní měření
Zdroj podkladové mapy: TOPO50

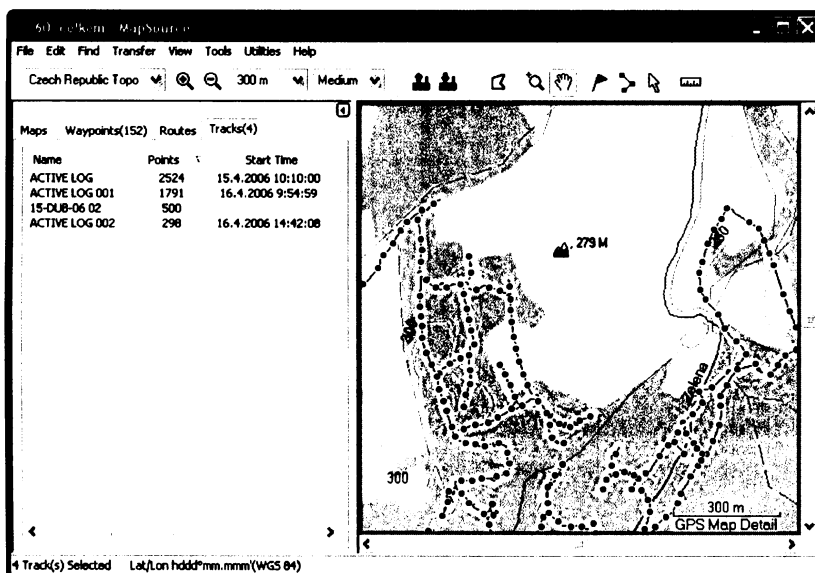
Příloha 22 k magisterské práci J. Horké (2006): „Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů“

Měřené trasy 14

Vidnava - měření s přijímačem GPSmap 60Cx nad mapou TOPO50



Vidnava - výsek měření s přijímačem GPSmap 60Cx nad mapou TOPO50



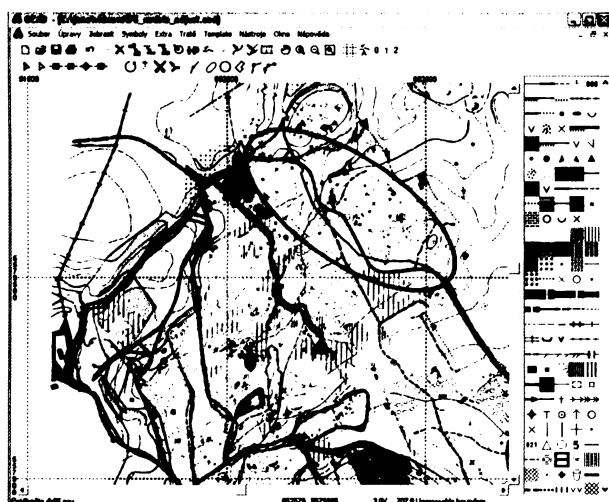
Jana Horká
2006

Zdroj dat: vlastní měření
Zdroj podkladové mapy: TOPO50

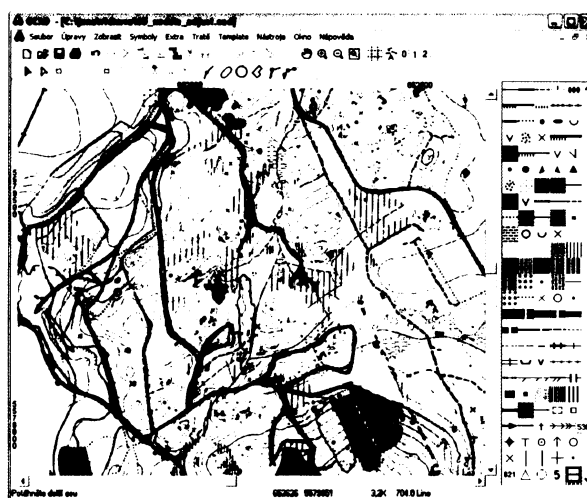
Příloha 23 k magisterské práci J. Horké (2006): „Metodika mapování turistických značených tras pomocí GPS přijímačů“

Měřené trasy 15

Vidnava – GPSmap 76S



Vidnava – GPSmap 60Cx



Vidnava 2 – GPSmap 76S



Vidnava 2 – GPSmap 60Cx



Jana Horká
2006

Zdroj dat: vlastní měření
Zdroj podkladové mapy: mapa pro orientační běh