

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta aplikovaných věd

Katedra matematiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Budování polohového bodového pole u
rozsáhlé liniové stavby

Plzeň, 2006

David Vojtěch

Zadání diplomové práce (vložený list)

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

V Plzni, dne 29.5. 2006

.....

podpis

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce Doc. Ing. Václavu Čadovi, CSc. za odborné vedení a poskytnuté rady.

Dále také děkuji vedoucímu regionálního pracoviště Střediska železniční geodézie Praha, společnosti Českých drah, a.s. Ing. Pavlu Průchovi za poskytnutí dat a možnosti tato data zpracovat.

Rovněž děkuji Ing. Pavlu Tarabovi ze Zeměměřického úřadu za poskytnutá data sítě permanentních stanic CZEPOS.

Abstrakt

Práce se zabývá budováním polohových bodových polí technologií globálních polohových systémů. Důraz je kladen na existující právní předpisy upravující danou problematiku a jejich aplikaci při posuzování dosažené přesnosti měření. Dále je hodnocena možnost využití sítě permanentních stanic CZEPOS pro budování polohových polí podél liniových staveb.

Klíčová slova

GPS, bodová pole, geodézie, zeměměřictví, CZEPOS, ETRS, S-JTSK

Abstract

This diploma thesis is focused on building of horizontal controls by using GPS. Accent is given on existing legislation which are linked to this topic and on its application at expertising of achieved accuracy of measuring. There is also valuation of using network of permanent stations CZEPOS for building horizontal control around linear building structure.

Keywords

GPS, horizontal control, geodesy, surveying, CZEPOS, ETRS, S-JTSK

Použité zkratky

Bpv – výškový systém Balt po vyrovnání

ČD – České dráhy, a.s.

ČÚZK – Český úřad zeměměřický a katastrální

CZEPOS – síť permanentních referenčních stanic

DOP – dilution of precision

ETRS – evropský terestrický referenční systém

GPS – Globální polohový systém

ITRS – mezinárodní terestrický referenční systém

MNČ – Metoda nejmenších čtverců

OB – orientační bod

PPBP – podrobné polohové bodové pole

S-JTSK – systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

SŽG – Středisko železniční geodézie

UTM – zobrazení univerzální transverzální válcové Mercatorovo

VESOG – experimentální a vědecká síť permanentních referenčních stanic

VRS – virtuální referenční stanice

WGS84 – souřadnicový systém

ZhB – zhušťovací bod

ŽPBP – železniční polohové bodové pole

Obsah

0	Úvod	8
1	Bodové polohové pole u rozsáhlé liniové stavby	9
1.1	Železniční polohové bodové pole	9
1.2	Technické požadavky na železniční polohové bodové pole	9
2	Popis současného postupu budování železničního polohového bodového pole	11
2.1	Používaná technika a programové vybavení	11
2.2	Metody měření a zpracování dat	11
3	Aspekty přesnosti určení polohy pomocí technologie GPS	13
3.1	GPS v geodézii	13
3.2	Faktory ovlivňující přesnost GPS aplikací	13
4	Předpisy a návody upravující určování polohy bodů pomocí systému GPS	15
4.1	Vývoj předpisů a pravidel upravujících měření pomocí GPS	15
4.2	Vyhláška č. 31/1995 Sb.	16
4.3	Výklad Pravidel ČÚZK pro přejímání a hodnocení výsledků určení bodů PPBP a podrobných bodů technologií GPS	18
4.4	Technologický postup pro revizi a zřizování zhušťovacích bodů ČÚZK	19
4.5	Poznámky k uvedeným předpisům	21
5	Způsob zpracování bodů zaměřených technologií GPS	23
5.1	Geodetické referenční systémy	23
5.2	Bodová pole	23
5.3	Permanentní síť referenčních stanic CZEPOS	24
5.3.1	Popis sítě	24
5.3.2	Služby CZEPOS	25
5.3.3	Kvalita služeb sítě	26
6	Zpracování zaměření rozsáhlé liniové stavby technologií GPS	28
6.1	Popis konkrétního projektu budování ŽPBP	28
6.1.1	Popis stávajícího a budovaného polohového pole	28
6.1.2	Zpracování vektorů GPS	29
6.1.3	Vyrovnání vektorů	35
6.2	Posouzení přesnosti určených bodů pomocí technologie GPS	37
6.3	Zpracování zaměření sítě pomocí sítě permanentních referenčních stanic CZEPOS	42
6.3.1	Zpracování zaměření sítě pomocí referenční stanice Liberec	42
6.3.2	Zpracování zaměření sítě pomocí virtuální referenční stanice	47
6.4	Test určení polohy bodů vybrané údržby pomocí CZEPOS	52
6.5	Posouzení přesnosti GPS měření pomocí terestrických měření	53
6.6	Transformace výsledku zpracování GPS měření do systému S-JTSK	56
7	Závěr	58
8	Použitá literatura	59
	Obsah přiloženého CD	60

0 Úvod

Hlavním cílem práce je přispět k rozvoji a správnému použití a zpracování globálních polohových systémů, které jsou využívány pro budování polohových bodových polí podél liniových staveb. Tato pole jsou typická svými parametry a mají svá specifika.

V první části práce se snažím stručně popsat hlavní aspekty ovlivňující přesnost určování polohy pomocí globálních polohových systémů. Zároveň zde popisuji současnou technologickou úroveň zpracování polohových bodových polí podél železničních tratí a požadavky na tato pole.

V další části práce se snažím shrnout relevantní právní předpisy či jiné dokumenty upravující řešenou problematiku a pojednat krátce o historii jejich vývoje. Jsou tu definovány klíčové pojmy týkající se globálních polohových systémů a zpracování jejich měření.

V této části textu se snažím zejména popsat aktuální vývoj v České Republice na poli permanentních sítí referenčních stanic, a konkrétně se zabývám sítí CZEPOS. Jsou zde popisovány produkty a fungování této sítě, stejně jako náhled do její spolehlivosti.

Dále je pozornost věnována zpracování projektu polohového bodového pole zaměřeného globálními polohovými systémy. Hlavními tématy této části jsou výpočet vektorů GPS měření jako prvního kroku zpracování, jejich hodnocení podle právních předpisů a dále vyrovnání sítě vektorů.

Navazující text je věnován hodnocení přesnosti určení polohy bodu pomocí globálních polohových systémů.

Další část se zabývá použitím produktů CZEPOS pro budování polohových bodových polí podél liniových staveb. Experimentálně se snažím stanovit některé charakteristiky použití této sítě.

V závěru práce jsem se pokusil použít terestrických měření k testu posouzení přesnosti určovaných bodů.

1 Bodové polohové pole u rozsáhlé liniové stavby

1.1 Železniční polohové bodové pole

Za rozsáhlou liniovou stavbu lze obecně považovat komunikace, a to silniční či železniční. Tato práce se zabývá budováním bodového polohového pole kolem železničních tratí. Takové bodové pole se nazývá Železniční polohové bodové pole (ŽPBP). ŽPBP je spolu s mapovým podkladem součástí geodetických podkladů pro přípravnou dokumentaci stavby.

V současné době je ŽPBP budováno a udržováno Středisky železniční geodézie (SŽG) Českých drah, a.s. (ČD). Území České republiky tak pokrývají dvě tato střediska s centrály v Praze a Olomouci.

1.2 Technické požadavky na železniční polohové bodové pole

Technické požadavky na železniční polohové bodové pole jsou specifikovány ve vnitřních předpisech Českých drah, a.s., které také odkazují na platné předpisy celostátní.

Vnitřními předpisy jsou:

- Zásady modernizace vybrané železniční sítě Českých drah, schválené dne 16. 6. 1993, č.j.: 1/93-O21, příloha č. 3 Dodatku (č.j.:138/94-O7) - Specifikace geodetických podkladů pro přípravnou dokumentaci stavby
- Technické kvalitativní podmínky staveb Českých drah schválené VŘ DDC č.j. TÚDC-15036/2000 ze dne 18.10.2000, v platném znění

Body ŽPBP musí být využitelné pro projekt, pro vybudování vytyčovací sítě stavby, pro vytyčovací a kontrolní práce a pro zaměření skutečného provedení stavby, pokud s jejich zachováním bude počítat návrh vytyčovací sítě v projektu. ŽPBP je budováno ve dvou stupních, a to zhušťovací body 1. třídy přesnosti a pevné body železničního podrobného polohového bodového pole 2. třídy přesnosti. Z Technických kvalitativních podmínek plyne, že geodetická dokumentace pro stavby ČD musí vyhovovat požadavkům uvedeným v zákoně č. 200/1994 Sb. a jeho prováděcí vyhlášce č. 31/1995 Sb. Geometrické parametry koleje ve smyslu ČSN 73 6360 se stanoví v bodech příslušejících k zajišťovacím značkám v souřadnicovém systému Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK).

Zhušťovací body 1. třídy přesnosti mají základní střední souřadnicovou chybu (relativní přesnost vztažená k nejbližším trigonometrickým či zhušťovacím bodům [1]) určenou hodnotou $m_{xy} = 0,02$ m. Touto přesností se shodují se zhušťovacími body ve smyslu vyhlášky č. 31/1995 Sb., kterou se provádí zákon č. 200/1994 Sb. Tyto body jsou budovány v těsné blízkosti železniční tratě ve vzdálenosti 1,0 – 1,3 km, stabilizovány žulovými kameny M2 s podzemní značkou a ochrannou tyčí nebo vhodným způsobem na technických objektech (osazení hřebové nivelační značky s vyvrtaným otvorem) v místech, která nebudou výstavbou, podle dostupného zadání stavby, dotčena. Na každém zhušťovacím bodě musí být alespoň 2 orientace na body téže nebo vyšší přesnosti nebo na jiné v osnově vodorovných směrů zaměřené body, pokud je to technicky možné. Zhušťovací body mají být zaměřeny metodou globálních polohových systémů (GPS). Použití bodů základního polohového bodového pole a zhušťovacích bodů (podle Návodu pro obnovu katastrálního operátu č.j. 21/1997-23 ze dne 30. 4. 1997) bez ověření metodou GPS je nepřípustné s ohledem na kontrolu geometrické polohy kolejí po stavbě přístroji pracujícími s technologií GPS (kontinuální kinematická metoda GPS). Podle ČSN 73 6360-2 nemá být absolutní polohová odchylka osy koleje od její projektované polohy při převjímcě dokončených prací větší než ± 15 mm.

Pevné body železničního podrobného polohového bodového pole 2. třídy přesnosti mají základní střední souřadnicovou chybu určenou hodnotou $m_{xy} = 0,04$ m. Tyto body jsou budovány v těsné blízkosti železniční tratě v optimální vzdálenosti 150 – 250 m. Stabilizované jsou např. nastřelovacím hřebem v základech stožárů trakčního vedení nebo na jiných vhodných technických objektech nebo zabetonovanou trubkou dlouhou minimálně 0,6 m nebo jiným způsobem zaručujícím stabilitu bodu a jednoznačnost značky. Zcela nepřípustné je pak použití stávajících železobetonových sloupkových zajišťovacích značek. Mimořádně lze použít mezník typu geoharpon.

V [2] je stanoveno, že body ŽPBP budou určeny polohově v souřadnicovém systému S-JTSK s vyrovnáním metodou nejmenších čtverců (MNC) a výškově technickou nivelací v systému Balt – po vyrovnání (Bpv). V seznamech budou souřadnice a výšky těchto bodů uvedeny s přesností na milimetry.

2 Popis současného postupu budování železničního polohového bodového pole

V souvislosti s rychlým rozvojem globálních polohových systémů a jejich aplikací v geodézii došlo i v Střediscích železniční geodézie k aplikaci těchto metod. Byly tak změněny dosavadní pracovní postupy budování ŽPBP. Následující kapitola stručně popisuje aktuální způsob budování ŽPBP Střediskem železniční geodézie Praha, regionálním pracovištěm Plzeň.

2.1 Používaná technika a programové vybavení

Pro měření pomocí GPS jsou používány aparatury Leica systém SR 530 a Leica systém SR 520. Pro terestrická měření jsou používány totální stanice Sokkia SET 3030 R, Geodimeter 510 N a klasický teodolit Zeiss Theo 010 B.

Pro zpracování GPS měření je používán software vyvinutý společností Leica SKI-Pro v. 3.0 (z anglického Static-Kinematic-Professional). Pro vyrovnání terestrických měření je používán software společnosti Gepro Kokeš 6.69 s modulem K-NET v. 1.04.

2.2 Metody měření a zpracování dat

Metodou GPS se budují zhušťovací body 1. třídy přesnosti ŽPBP. Tyto body jsou od sebe vzdáleny 1,0 – 1,3 km. Pro zhuštění bodového pole jsou používány body sítě DOPNUL či častěji trigonometrické body vybrané údržby s určenými souřadnicemi v evropském terestrickém referenčním systému (ETRS), které leží v zájmové lokalitě. Některé určované zhušťovací body jsou doplňovány přidruženými orientačními body. Tyto jsou také zaměřeny metodou GPS.

Body jsou zaměřovány pomocí rychlých statických observací, tedy 12 – 15 minut měření na jednom bodě. Body, které mají problematické umístění, jako například částečné zastínění stromy, jsou zaměřovány pomocí statických observací s délkou několika desítek minut.

Souřadnice všech bodů jsou určovány dvakrát nezávisle, mezi jednotlivými seancemi je minimální časový rozdíl 3 hodiny. Mění se taktéž výška antény nad měřeným bodem. Minimální elevační úhel je určen hodnotou 15° . Intervaly záznamu měření jsou 10 s.

K dispozici je více GPS stanic, proto je možné provádět observace s více referenčními stanicemi zároveň. Pro zpracování měření je používán program SKI-Pro. Jednotlivé vektory jsou spočteny vzhledem k příslušné referenční stanici. Model ionosféry je počítán z dat na referenčních bodech. Výsledné souřadnice v systému ETRS jsou pak získány vyrovnáním MNC pomocí modulu Adjustment programu SKI-Pro.

Pro transformaci vyrovnaných souřadnic ze systému ETRS do systému S-JTSK je používán lokální transformační klíč, sestavený z identických bodů s určenými souřadnicemi v obou systémech, spočtený pomocí 7-prvkové Helmertovy prostorové transformace. Protože liniové stavby přesahují svou délkou i desítky kilometrů, jsou lokální transformační klíče používány pro oblasti o přibližném průměru 10 - 20 km. Jednotlivé lokální transformační klíče tak na sebe navazují prostřednictvím styčných bodů, kterými jsou určené zhušťovací body, které mají vypočtené souřadnice v systému ETRS a z předchozího lokálního klíče určeny i souřadnice v systému S-JTSK. Dochází tak tedy k řetězení klíčů za sebou, kde styčný bod je vždy pro navazující lokální klíč považován za bod identický. Výpočet lokálního transformačního klíče je proveden pomocí modulu Datum and Map programu SKI-Pro.

Pevné body železničního podrobného polohového bodového pole 2. třídy přesnosti se budují pomocí oboustranně připojených a oboustranně orientovaných polygonových pořadů. Připojení se provádí na zhušťovací body 1. třídy přesnosti určené metodou GPS. Úhly a délky jsou na všech bodech pořadů měřeny minimálně ve 3 skupinách. Zaměřovány jsou také veškeré možné orientace na body se známými i neznámými souřadnicemi pro následné využití ve vyrovnání sítě. Celá síť je vyrovnávána jako celek pro zachování homogenity sítě. Jako pevné body sítě jsou použity všechny nově určené zhušťovací body 1. třídy přesnosti, orientační body a vzdálené orientace se známými souřadnicemi.

3 Aspekty přesnosti určení polohy pomocí technologie GPS

3.1 GPS v geodézii

V geodézii pro určování polohy bodu používáme fázového určení relativní polohy (přesnost v poloze v řádu několika milimetrů), neboť tato metoda je oproti určení polohy z kódových měření (přesnost v poloze v řádu několika metrů) mnohem přesnější. Vzájemnou relativní polohu dvou bodů jsme tak schopni určit s přesností v řádu milimetrů. V závislosti na požadované přesnosti můžeme použít následující metody [9]:

- určování polohy v reálném čase - RTK

směrodatná odchylka v poloze: 20 až 50 mm

- statická metoda

směrodatná odchylka v poloze: 3 až 5 mm

- rychlá statická metoda

směrodatná odchylka v poloze: 5 až 10 mm + 1 až 2 ppm

- semikinematická metoda (stop and go)

směrodatná odchylka v poloze: 10 až 20 mm + 1 až 2 ppm

- kinematická metoda

směrodatná odchylka v poloze: 10 až 30 mm + 1 až 3 ppm

Rychlá statická metoda se používá pro určování souřadnic bodů bodových polí [9]:

- zhušťování základního i podrobného bodového polohového pole
- budování prostorových vytyčovací sítí

3.2 Faktory ovlivňující přesnost GPS aplikací

Výsledné souřadnice GPS měření jsou ovlivněny řadou rušivých faktorů, které jsou náhodné i systematické povahy. Tyto faktory lze rozdělit na následující skupiny [10]:

- konstelace družic (vliv vzájemné konfigurace přijímače a družic vyjadřovaný faktory DOP)
- družice (chyby drah družic a chodu hodin)
- průchod signálu atmosférou (ionosférická a troposférická refrakce)
- přijímací aparatura (chyba hodin, variace fázového centra antény)
- místo měření (vliv okolního prostředí – zákryty, vícecestné šíření signálu, chyba centrace)

4 Předpisy a návody upravující určování polohy bodů pomocí systému GPS

4.1 Vývoj předpisů a pravidel upravujících měření pomocí GPS

Od počátku 90. let 20. století došlo v tehdejší Československu k používání GPS aparatur pro určování poloh bodů. Zpočátku byla technologie používána zejména v oblasti polohového bodového pole a její užití bylo stanoveno vnitřními předpisy Zeměměřického úřadu. Později při rozšíření technologie i na katastrální úřady došlo k vydání vnitřního předpisu ČÚZK. V druhé polovině 90. let pak nastala potřeba vydat předpis pro přejímání určených bodů pro použití v katastru nemovitostí. V roce 1999 proto byla ve spolupráci ČÚZK, Výzkumného ústavu geodetického, topografického a kartografického a odborníků z praxe připravena pravidla pro použití GPS v podrobném polohovém bodovém poli (PPBP). Pravidla obsahovala zásady zaměření a výpočtů a stanovila postup transformace výsledných souřadnic z ETRS do S-JTSK. Tehdy se ale nepodařilo tyto pravidla implementovat do právních předpisů [6].

V roce 2003 byla vydána Pravidla Českého úřadu zeměměřického a katastrálního pro přejímání a hodnocení výsledků určení bodů podrobného polohového bodového pole a podrobných bodů technologií GPS. Vzhledem ke složitosti popisované problematiky byl následně vydán výklad těchto pravidel.

V roce 2005 se podařilo tato Pravidla ČÚZK zařadit do novely vyhlášky č. 31/1995 Sb.

Vzhledem k tomu, že body ŽPBP 1. třídy přesnosti mají být určovány s přesností odpovídající zhušťovacím bodům podle vyhlášky č. 31/1995 Sb., je nutné nastavit určité podmínky metody měření a zpracování měřených dat, aby bylo dosaženo požadované přesnosti určení polohy bodu. Vnitřní předpisy Českých drah, a.s. ale nijak blíže nespecifikují, jak daných požadovaných přesností docílit. Proto zde budou uvedeny podstatné části předpisů či dokumentů Českého úřadu zeměměřického a katastrálního, které danou problematiku upravují. Jsou to:

- vyhláška č. 31/1995 Sb. ve znění novely č.92/2005 Sb., bod č. 9 přílohy této vyhlášky

- Výklad Pravidel Českého úřadu zeměměřického a katastrálního pro přejímání a hodnocení výsledků určení bodů podrobného polohového bodového pole a podrobných bodů technologií GPS (Pravidla jsou již nahrazena novelou výše uvedené vyhlášky) ze dne 10. 8. 2004, č.j. 4330/2004-22 jako pracovní pomůcka k novele vyhlášky č. 31/1995 Sb.
- Technologický postup pro revizi a zřizování zhušťovacích bodů ČÚZK ze dne 23.5.1997, č.j. 2112/1997-22

4.2 Vyhláška č. 31/1995 Sb.

Novelou č. 92/2005 Sb. vyhlášky č. 31/1995 Sb. byla do právního předpisu zakotvena dřívější Pravidla ČÚZK pro přejímání a hodnocení výsledků určení bodů podrobného polohového bodového pole a podrobných bodů technologií GPS. Jedná se o nový §12a a nový bod č. 9 přílohy vyhlášky.

V §12a jsou uvedeny náležitosti dokumentace bodů PPBP zaměřených technologií GPS. Jedná se o technickou zprávu, jejíž součástí je protokol určení bodů PPBP a geodetické údaje o určených bodech PPBP. Dále jsou pak definovány náležitosti dokumentace určení podrobných bodů. Protokol určení bodů PPBP je zveřejněn na webových stránkách ČÚZK.

Technické požadavky na zaměření a výpočty bodů určených pomocí GPS jsou uvedeny v bodu 9 přílohy vyhlášky. Příloha tedy definuje konkrétní požadavky, kdy je možno akceptovat výsledky určení bodů pomocí technologie GPS. Nejdůležitější ustanovení přílohy vyhlášky podstatné pro tuto diplomovou práci jsou uvedena dále.

V prvním odstavci jsou definovány obecné podmínky pro měření technologií GPS. K zaměření bodů se mají použít aparatury GPS, které zaručují požadovanou přesnost výsledků, aparatury dvoufrekvenční nebo jednofrekvenční musí svými parametry vyhovovat zvolené metodě a zpracování měření. Délka určovaného vektoru musí být kratší než maximální délka, o které se v dokumentaci zpracovatelského softwaru uvádí, že je ji možno tímto softwarem vyřešit. Doba měření vektoru musí být dostatečně dlouhá vzhledem k použité metodě měření, délce vektoru a použitým aparaturám. Tyto obecné podmínky jsou většinou naplněny při splnění následující podmínky. Při výpočtu vektorů musí být určeny **ambiguity jako celá čísla** (musí být

použito fixní řešení ambiguit). Pro určení souřadnic nesmí být použity vektory, kde se nepodařilo určit ambiguitu jako celá čísla. Zpracovatelský software nedokáže určit ambiguitu jako celá čísla, pokud nejsou použity vhodné dvoufrekvenční aparatury a pokud je určovaný vektor příliš dlouhý [6].

Dále jsou v druhém odstavci specifikovány podmínky, které jsou nutné pro určení bodů PPBP. Velmi důležitou podmínkou je podmínka **dvojího nezávislého zaměření** určovaného bodu. Výsledkem určení polohy bodu je pak prostý nebo vážený aritmetický průměr souřadnic v systému S-JTSK. Vážený aritmetický průměr souřadnic může být použit, pokud jsou váhy určeny objektivně (např. v závislosti na počtu epoch měření, délce určovacích vektorů nebo velikosti odhadů středních chyb z vyrovnání). Je-li bod určen pouze technologií GPS, lze vektory vyrovnat i v systému ETRS a výsledné souřadnice transformovat do S-JTSK. **Minimální časový interval mezi dvojím zaměřením bodu** pomocí GPS je 3 hodiny (druhé zaměření musí být provedeno v jiné konstelaci družic, obecný vzorec pro interval druhého zaměření bodu je $\langle 3 + 24 * k ; 21 + 24 * k \rangle$ v hodinách, kde k je 0, 1, 2, 3, ...dní). **Parametr DOP** (Dilution of Precision) **musí být během observace menší než 7**. Pokud byl větší než 4, musí být poloha bodu ověřena klasickou metodou. Pokud byl větší než 7, nelze výsledky technologie GPS použít pro určení polohy bodu. Za parametr DOP se použije některý z parametrů: HDOP (Horizontal Dilution of Precision), PDOP (Position Dilution of Precision) nebo GDOP (Geometric Dilution of Precision).

Další odstavec stanoví podmínky pro korektní transformaci výsledků určení bodu ze systému ETRS do systému S-JTSK. Transformační program, který je užit pro výpočet lokálního transformačního klíče či pro aplikaci globálního transformačního klíče, musí být schválen ČÚZK. Z připojovacích bodů (identické body s určenými souřadnicemi v systému ETRS i S-JTSK) s platnými souřadnicemi v systému ETRS musí být zaměřen nejméně jeden bod. Připojovací body musí být nejméně tři. Průměrná vzdálenost sousedních připojovacích bodů nesmí být větší než 5 km. Pokud připojovací body splňují předchozí podmínku průměrné vzdálenosti, jsou rozloženy rovnoměrně a všechny určované body leží uvnitř obvodového polygonu tvořeného vnějšími připojovacími body, pokládá se konfigurace připojovacích bodů za vyhovující. Nejsou-li splněny předchozí podmínky, je nutné splnit podmínky následující:

- vzdálenost sousedních připojovacích bodů nesmí přesahovat 8 km

- připojovací body musí vytvářet nejméně jeden trojúhelník, kde žádný vnitřní úhel není menší než 20°
- určované body, které leží vně obrazce tvořeného takovými trojúhelníky, nesmí být vzdáleny od nejbližší strany trojúhelníka o více než $1/10$ délky strany

Hodnocení přesnosti určení bodu se provede výpočtem rozdílu dvojího určení polohy určovaného bodu (střední chyby dvojice měření) z výsledných souřadnic v S-JTSK. Tento rozdíl musí vyhovovat kritériím přesnosti bodů PPBP. V případě, že bod je určen pouze technologií GPS, může být provedeno porovnání rozdílů horizontálních složek souřadnic z dvojího nezávislého určení v souřadnicovém systému ETRS.

4.3 Výklad Pravidel ČÚZK pro přejímání a hodnocení výsledků určení bodů PPBP a podrobných bodů technologií GPS

Výklad obsahuje vysvětlení některých používaných pojmů v bodě č. 9 přílohy vyhlášky č. 31/1995 Sb.

Určení bodu je provedení měřických a zpracovatelských úkonů, jejichž výsledkem jsou souřadnice bodu.

Nezávislé určení bodu je takové určení bodu, při němž jsou použita měřená data, která nebyla použita pro jiné určení téhož bodu.

DOP je pouze obecný termín, zahrnující konkrétní jednotlivé a číselně vyjádřitelné hodnoty PDOP, HDOP, GDOP, VDOP, TDOP. Pro účely vyhlášky č. 31/1995 Sb. lze použít HDOP (Horizontal Dilution of Precision), PDOP (Position Dilution of Precision), GDOP (Geometrical Dilution of Precision). Nelze použít TDOP (Time Dilution of Precision) a VDOP (Vertical Dilution of Precision).

Technologií GPS se určují **vektory** (rozdíly souřadnic koncových bodů vektorů). Základním předpokladem pro zařazení každého vektoru do výpočtu určení polohy bodu a do hodnocení přesnosti je, že ambiguita na měřených frekvencích byly při zpracování určeny jako celá čísla. Nelze použít nebo hodnotit vektory, jejichž ambiguita na měřených frekvencích byly určeny pouze jako necelá čísla (řešení float). Toto pravidlo platí pro všechny metody technologie GPS.

Hrubými chybami měření GPS jsou chyby zjištěné ve výsledných souřadnicích určovaných bodů v řádu desítek centimetrů příp. i několika metrů, přestože byly dodrženy všechny zásady měření a výpočtu bodu a všechny parametry jsou v pořádku. Pokud je takový bod zaměřen jen jednou, na chybu se přijde až při případném dalším zaměření téhož bodu. Proto u nových bodů, z nichž jsou určovány další body (t. j. body PPBP) a chyba v jejich určení by se přenášela na všechny z nich určené body, musí být provedeno druhé nezávislé zaměření nebo ověření polohy bodu.

4.4 Technologický postup pro revizi a zřizování zhušťovacích bodů ČÚZK

Tento technologický postup je oproti předchozím předpisům a dokumentům v závislosti na svém datu vydání méně podrobným popisem prací s technologií GPS. V roce 1997, kdy byl předpis vydán, ještě nebyly zkušenosti s nasazením GPS tak rozsáhlé, aby se do tohoto technologického postupu nějak významněji zobrazily.

Dokument popisuje provádění prací spojených se zaměřením, revizí a údržbou zhušťovacích bodů a navazuje na Návod pro obnovu katastrálního operátu. Vydán byl zejména pro orgány státní správy zeměměřičtví a katastru nemovitostí, provádějících zhuštění polohového bodového pole a pro případné další zřizovatele zhušťovacích bodů.

Stanoveno je, že určování zhušťovacích bodů se provádí technologií GPS. Jiné způsoby určení se použijí pouze v případech, kdy technologií GPS nelze z technických či ekonomických důvodů použít. Logicky je uvedeno, že zhuštění se neprovádí uvnitř souvislých lesních komplexů, kde by se technologie GPS aplikovala obtížně.

V kapitole 9 je uvedeno, jak provádět měřické práce. Body jsou rozděleny na body určované a body připojovací, tedy referenční. Připuštny jsou dva způsoby měření GPS:

- GPS rajony – jedna aparatura měří nepřetržitě na referenčním bodě a jedna nebo více navazujících aparatur objíždí navazované body a postupně je zaměřuje s napojením na referenční bod
- GPS protínání – na referenčních bodech měří současně a nepřetržitě dvě nebo více aparatur, další aparatury, které navazují, měří na okolních navazovaných bodech

Jako body referenční se volí, pokud je to možné, body velmi vhodné pro měření GPS, t.j. bez zákrytů (obloha nad 15° výškového úhlu je volná). Doporučená vzájemná vzdálenost referenčních bodů je podle podmínek v lokalitě 3 – 10 km. Lokalita se zaměřuje postupně po obrazcích, kterými jsou trojúhelníky nebo víceúhelníky.

Každý nově zřizovaný zhušťovací bod se musí zaměřit nezávisle dvakrát. Druhé zaměření se provede opět technologií GPS v jiném čase s odlišnou konfigurací satelitů a jinou výškou antény nad určeným bodem či klasickým geodetickým zaměřením (např. změření délky a její porovnání s délkou vypočtenou z měření GPS).

Pro body s výraznými zákryty, např. v blízkosti lesa, je vhodné vyhotovit výsledky plánování s užitím modelování zákrytů. Z nich se pak určí časový úsek vhodný pro observaci na konkrétním bodě.

Délka observace závisí na vzdálenosti od zaměřovaných bodů, počtu a konfiguraci satelitů (hodnoty DOP), typu použité aparatury a na zákrytech na obou bodech. Obecně se doporučuje, podle závěrů provedených výzkumů, při vyhovujícím DOP a bez zákrytů a přerušení, měřit délky do 10 km dvoufrekvenční aparaturou nejméně 10 minut. Průběžné sledování počtu a konfigurace satelitů a dalších skutečností při měření na bodě není nezbytně nutné, ale znalost těchto faktů je důležitá pro stanovení potřebné délky observace a pro rozhodnutí měřiče o ukončení měření na konkrétním bodě.

Každá lokalita se při zhuštění připojí měřením na nejméně dva body sítě DOPNUL. Délka observace pro zaměření bodů DOPNUL je při dobrých podmínkách (5 družic, bez zákrytů a přerušení) 60 minut pro vzdálenost do 10 km a 120 minut pro vzdálenost 10 – 20 km.

Výpočty vektorů a vyrovnání sítě se provedou firemními programy dodávanými spolu s aparaturami GPS. Výpočtu vektorů předchází zadání polohy jednoho bodu na elipsoidu. Přednostně se použije připojený bod DOPNUL. Vektor, který nebyl spočítán se počítá znovu se změněnými, ručně nastavenými parametry:

- eliminace vadných epoch zkrácením observačního intervalu
- vyloučení nízkoletících družic nad obzorem změnou elevační masky
- vypuštění dat některé družice

Pokud se vektor nepodaří spočítat, z dalšího měření se vyloučí a v případě nutnosti znovu zaměří.

Sít vypočtených vektorů se vyrovná nejprve jako volná a podle výsledku se případně vyloučí některé vektory. Takto upravená síť se vyrovná jako vázaná na výchozí body sítě DOPNUL nebo na jiné body s platnými geocentrickými souřadnicemi.

Pro transformaci výsledků do S-JTSK lze použít pouze transformační programy, které obsahují dotransformaci. Doporučuje se program PROTRA. Vstupními daty jsou geocentrické souřadnice a výška nad elipsoidem, souřadnice identických bodů v S-JTSK a výšky bodů v systému Bpv, získané z nivelace. Součástí transformačního programu Zeměměřického úřadu je výpočet středních souřadnicových chyb určovaných bodů vzhledem k identickým bodům.

4.5 Poznámky k uvedeným předpisům

Podle [6] je pro požadavek dvojího nezávislého určení polohy bodu pomocí GPS nutné dodržet 2 požadavky, aby bylo toto určení podpořeno rozdílnou konfigurací družic a poněkud jinými atmosférickými podmínkami. Proto je stanoven požadavek, aby druhé určení vycházelo z měření, která jsou provedena alespoň 3 hodiny po prvním měření. Doporučeno je i provedení druhého urovnání a změření výšky antény. Toto ale není ve výše uvedených dokumentech uvedeno, jelikož to nelze zajistit u některých sestav, kdy je anténa umístěna na výtyčce. Ovšem při ekonomickém využití technologie je v tříhodinové přestávce vysoká pravděpodobnost, že daná aparatura se přesune na měření na jiném bodě a na tento bod se poté vrátí, čímž dojde automaticky k novému urovnání antény.

Dále bylo podle [6] jako kritérium, jež má kontrolovat, zda bylo měření provedeno ve vhodné konfiguraci družic, stanoven DOP. Původně bylo uvažováno v rámci kritéria určovat i kvalitu řešení vektoru, ale od toho bylo upuštěno vzhledem k tomu, že střední chyby určení koncového bodu vektoru jsou různými zpracovatelskými softwary určeny jinak a z některých softwarů je nelze ani získat. Výhoda použití DOP je, že většina přijímačů zobrazuje během měření tuto hodnotu.

Je možné použít několik typů DOP:

- HDOP – horizontal DOP – charakterizuje přesnost horizontálních složek souřadnic
- VDOP – vertical DOP - charakterizuje přesnost vertikálních složek souřadnic
- PDOP – position DOP - charakterizuje přesnost prostorových souřadnic sloučením HDOP a VDOP
- TDOP – timeDOP – charakterizuje přesnost určení času
- GDOP – geometrical DOP – charakterizuje přesnost geometrického řešení sloučením PDOP a TDOP

Pro hodnocení velikosti DOP je podle [8] nejhodnější použít **HDOP**, použít lze i PDOP a GDOP. TDOP je zcela nepoužitelný a VDOP není vhodný.

5 Způsob zpracování bodů zaměřených technologií GPS

Tato kapitola popisuje zpracování zaměřených bodů pomocí technologie GPS u rozsáhlé liniové stavby. Připojeny jsou kapitoly, které s touto problematikou úzce souvisejí.

5.1 Geodetické referenční systémy

Měření GPS pro účely geodézie je relativní metodou. Z tohoto důvodu je nutné při zpracování měření GPS provést připojení těchto měření k nějakému geodetickému referenčnímu systému. V České republice používáme pro toto připojení evropského terestrického referenčního systému ETRS, který je definován v Nařízení vlády č. 116/1995 Sb., kterým se stanoví geodetické referenční systémy, státní mapová díla závazná na celém území státu a zásady jejich používání [11].

ETRS je na území České republiky definován

- technologiemi kosmické geodézie a konstantami, které jsou součástí programů mezinárodních zpracovatelských center
- referenčním rámcem vybraných bodů Jednotné trigonometrické sítě katastrální, jejichž pravoúhlé geocentrické souřadnice byly vztaženy k evropskému terestrickému referenčnímu rámci (ETRF), epoše 1989.0
- elipsoidem geodetického referenčního systému 1980 s konstantami $a = 6378137$ m, $f = 1:298,257222101$, kde „a“ je délka hlavní poloosy a „f“ je zploštění

Železniční polohové bodové pole má být určeno v systému S-JTSK, který je definován:

- Besselovým elipsoidem
- Křovákovým konformním kuželovým zobrazením v obecné poloze
- souborem souřadnic bodů z vyrovnání trigonometrických sítí.

5.2 Bodová pole

Pro připojení GPS měření do systému ETRS je třeba znát body bodových polí s určenými souřadnicemi v tomto systému. Na těchto bodech pak probíhá observace referenčních stanic. Body s určenými souřadnicemi v systému ETRS jsou:

- 176 bodů sítě DOPNUL, která je plošným doplněním a rozvinutím sítě 0. řádu NULRAD
- cca 4000 vybraných trigonometrických bodů (body vybrané údržby) s určenými geocentrickými souřadnicemi budované jako zhuštění sítě DOPNUL. Projekt byl zahájen v roce 1996 a měl by být ukončen v roce 2006.

Určitou nevýhodou je, že z geodetických údajů bodu nelze určit, zda se jedná o bod sítě DOPNUL, či zda se jedná o trigonometrický bod vybrané údržby, pokud uživatel nemá k dispozici seznam bodů sítě DOPNUL. Ten lze najít např. v [17]

5.3 Permanentní síť referenčních stanic CZEPOS

5.3.1 Popis sítě

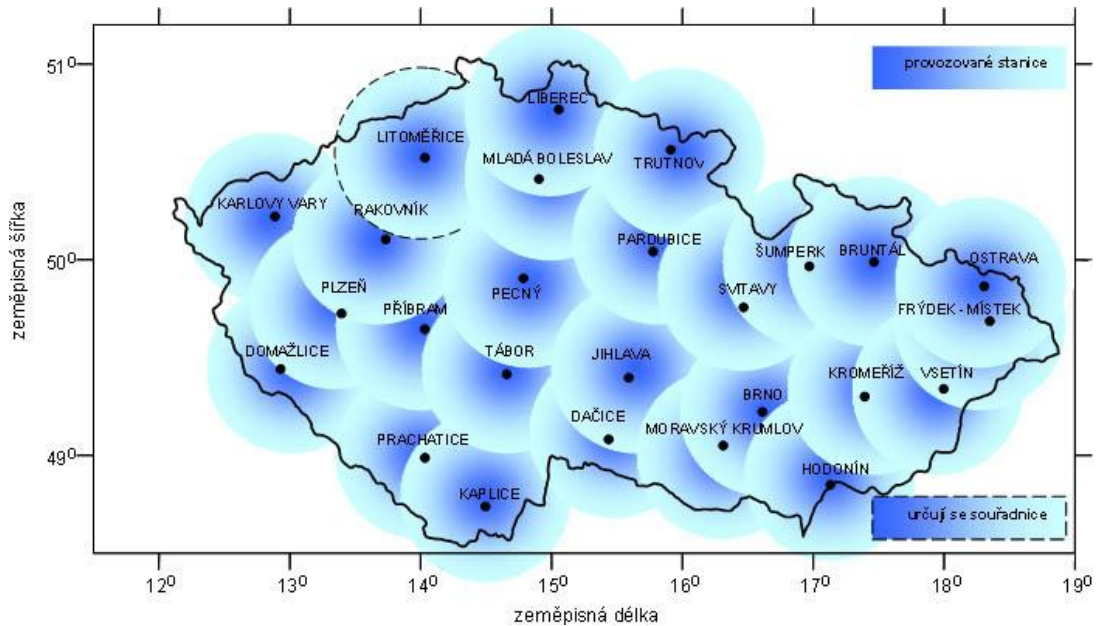
CZEPOS je síť permanentních stanic GPS umožňující uživatelům přesné určení pozice na území České republiky. Síť obsahuje 26 permanentních stanic rovnoměrně rozmístěných na celém území České republiky ve vzdálenostech přibližně 60 km. Každá ze stanic CZEPOS provádí nepřetržitě 24 hodin denně observace GPS, které pravidelně každou vteřinu registruje. Registrovaná data jsou průběžně zpracovávána v řídicím centru CZEPOS a jsou dále poskytována uživatelům.

Síť byla dobudována koncem roku 2005 Zeměměřickým úřadem, jež je také jejím správcem a provozovatelem. Jednotlivé stanice jsou umístěny na budovách katastrálních úřadů a pracovišť. Součástí CZEPOS jsou také 4 externí stanice (Brno, Pecný, Plzeň, Ostrava), které jsou provozovány vědeckými a akademickými pracovišti v rámci výzkumné sítě VESOG. Rozmístění stanic ukazuje obr. 5.1.

Budování sítě CZEPOS bylo zahájeno v roce 2004, kdy bylo spuštěno prvních 6 stanic sítě. Kompletní instalace sítě pak byla dokončena koncem roku 2005. V roce 2006 je síť CZEPOS ve zkušebním provozu. Tento rok jsou veškerá data produkovaná sítí k dispozici zdarma.

Stanice jsou vybaveny dvoufrekvenčními aparaturami Leica GRX 1200 Pro spolu s Choke Ring anténami Leica AT504 s ochranným krytem, který potlačuje negativní vliv vícecestného šíření signálu, tzv. multipath. Každá stanice zajišťuje sběr dat s intervalem

záznamu 1 s a elevační maskou 5°. Antény jsou umístěny na budovách tak, aby maximální zakrytí horizontu dosahovalo hodnoty 5°.



Obr. 5.1 mapa umístění stanic CZEPOS

5.3.2 Služby CZEPOS

Síť CZEPOS produkuje služby pro aplikace v reálném čase a pro postprocessingové (zpracování dat po skončení měření) aplikace. Z hlediska zaměření této práce budou uvedeny pouze postprocessingové aplikace.

Postup zpracování dat pomocí sítě CZEPOS je jednoduchý. Po provedení observací stáhne uživatel korekční data a následně provede výpočet polohy bodu pomocí vhodného softwaru. K získání korekcí je potřeba přístup k Internetu.

Registrovaní uživatelé získají data ze serveru <http://czeapos.cuzk.cz>. Data jsou generována ve standardním formátu Rinex (Receiver Independent Exchange), komprimovaný RINEX a kompaktní RINEX (Hatanaka). Uživatel může získat data ze zvolené referenční stanice, volí krok záznamu v sekundách, volí časový rozsah měření a požadovaný formát dat. Data jsou na internetu přístupná po dobu 3 měsíců od data jejich vzniku. Starší data jsou dostupná pouze na vyžádání v řídicím centru sítě v Praze v záznamu 1 s a s elevační maskou 5°.

Podle [13] lze použitím sítě CZEPOS dosáhnout centimetrové až milimetrové přesnosti při použití přesné dvoufrekvenční aparatury. Přesnost závisí na vzdálenosti stanoviště pozorovatele od referenční stanice a současně na délce observace.

CZEPOS vytváří dva produkty pro postprocessingové aplikace. Získat tak lze data z vybraných referenčních stanic ve formátu RINEX, či tzv. virtuální RINEX. Ten je generován pro virtuální referenční stanici o souřadnicích zadaných uživatelem výpočtem ze všech stanic sítě na základě síťového řešení. Podle [13] lze použitím virtuálního RINEXu dosáhnout přesnějších výsledků než při použití dat z jednotlivých stanic sítě.

Souřadnice ETRS stanic sítě byly určeny připojením na body DOPNUL. Jedná se o předběžné souřadnice, přesné souřadnice budou určeny z dlouhodobých měření. Souřadnice S-JTSK byly určeny pomocí měření GPS na okolních trigonometrických bodech a transformací pomocí lokálního transformačního klíče. Souřadnice stanic jsou vztaheny k referenčnímu bodu stanice, který je definován jako průsečík horní plochy desky anténní konstrukce se svislou osou otvoru, který je v desce vyvrtán.

Přínos takovéto sítě je i pro přesné práce nezanedbatelný zejména s ohledem na hospodárnost prací, kdy není potřeba měřičů, kteří musí hlídat referenční stanici a můžou tak být uvolněni i s aparaturou pro měření na určovaných bodech, čímž se tento proces minimálně dvakrát urychlí.

Ceny za produkty CZEPOSu zatím nebyly nijak deklarovány. Lze však očekávat, že přibližně počátkem roku 2007 budou tyto služby zpoplatněny. Jistým předpokladem výše ceny mohou být poplatky za použití dat referenční stanice Pecný. Na webových stránkách observatoře Pecný se lze dočíst, že formát RINEX ve standardním kroku 30 s je zpoplatněn 10 Kč za hodinu observací, či 200 Kč za jeden kalendářní den. U kratších intervalů záznamu je cena 40 Kč za hodinu, resp. 800 Kč za kalendářní den. Přičteny jsou manipulační poplatky v řádu desítek Kč.

5.3.3 Kvalita služeb sítě

Kvalita prací v síti CZEPOS bude ověřována pod vedením Zeměměřického úřadu, jež byl provedením pověřen ČÚZK. Ověření kvality předpokládá provedení běžného měření danou testovanou technologií a běžným vybavením na více bodech, jejichž souřadnice jsou známy se stejnou nebo vyšší přesností. Kvalita výsledků pak bude posouzena

z rozdílů souřadnic daných a určených z měření. Pro celé testování bude stanovena jednotná technologie pro celé území ČR. Porovnání souřadnic bude provedeno v systému ETRS a to pouze na bodech DOPNUL či trigonometrických bodech vybrané údržby.

Společnost Gefos již v [14] publikovala některé své závěry ohledně přesnosti měření v síti CZEPOS. Důležitým poznatkem je, že přesnost měření ovlivňuje kalibrace antén. Před dodáním antén do sítě CZEPOS byly určeny absolutní kalibrace s přepočtem na kalibrace relativní. Většina přijímačů uživatelů má své kalibrace ale určeny relativně, proto i při použití kalibrací antén sítě CZEPOS je nutné použít relativní kalibrace. Gefos také provedl pomocí softwaru SKI-Pro, který řeší vektory až do vzdálenosti 80 km od referenční stanice, test, který ukázal, že z jedné observace je možné spočítat pomocí sítě CZEPOS vektor ze 2 – 4 referenčních stanic najednou a při observacích v různých časových úsecích se tyto výpočty shodují v rámci 2 – 3 cm při vektorech dlouhých i 65 km.

Kvalita měření při použití sítě CZEPOS je deklarována i svou vhodností pro budování zhušťovacích bodů.

6 Zpracování zaměření rozsáhlé liniové stavby technologií GPS

Tato kapitola se věnuje konkrétnímu způsobu zpracování rozsáhlé liniové stavby. Uvedeny jsou jednotlivé kroky nutné k úspěšnému zpracování projektu budování zhušťovacích bodů ŽPBP a jsou také porovnávány různé metody výpočtu a zpracování.

6.1 Popis konkrétního projektu budování ŽPBP

Cílem projektu je vybudování ŽPBP v traťovém úseku 0941 0,4 km – 20,646 km Liberec – Hrádek nad Nisou. Datum zaměření sítě je říjen 2005. Výstupem mají být polohové souřadnice určené v systému S-JTSK. Zpracování bylo provedeno v programovém prostředí SKI-Pro v. 3.0.

6.1.1 Popis stávajícího a budovaného polohového pole

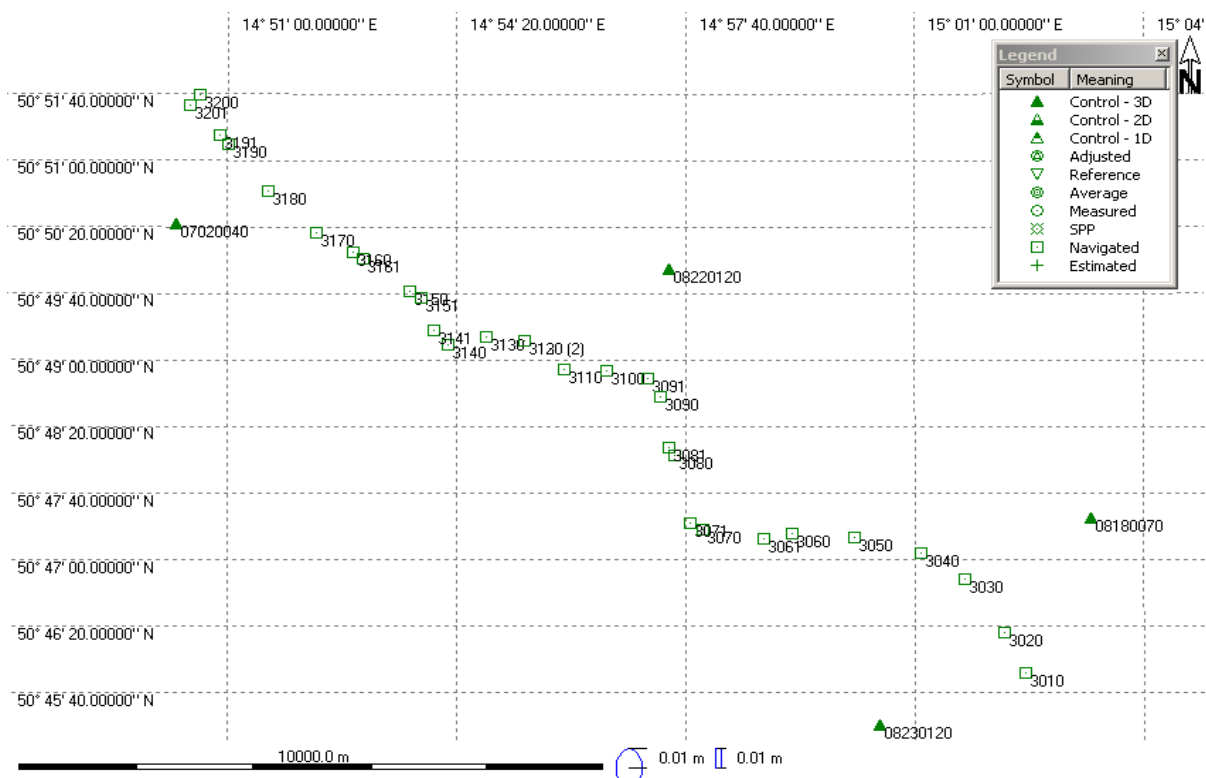
Body zaměřované technologií GPS jsou stabilizovány tak, aby na nich byla možná orientace na dva body stejné či vyšší přesnosti a zároveň tak, aby byla možná observace GPS. Proto nemůže být takový bod stabilizován v husté zástavbě a lesním úseku železniční trati. Mezi tyto body ŽPBP 1. třídy přesnosti vybudované pomocí GPS jsou proto vkládány body ŽPBP 2. třídy přesnosti, které jsou budovány vloženými polygonovými pořady.

Výňatek z technické zprávy: V dané lokalitě nebylo v minulosti vybudováno ani stabilizováno souvislé bodové pole. Pro účely zaměření přípravné dokumentace pro projekt stavby proto bylo vybudováno v celém úseku nové bodové pole s ohledem na možnosti jeho budoucího využití i pro stavbu.

Stabilizováno bylo celkem 20 nových zhušťovacích bodů (ZhB) číslovaných 3010 - 3200 ve vzdálenostech přibližně 1,0 km. Některé z těchto bodů byly doplněny orientačními body (OB) číslovanými 3061 – 3201 (jednička na konci označuje OB). Stabilizace ZhB byla provedena žulovými kameny M2 s křížkem a stabilizace OB žulovými kameny se zapuštěným a zabetonovaným měřickým hřebem nebo zavrtanými a obetonovanými měřickými hřeby v pevných objektech. Všechny nově stabilizované ZhB byly osazeny ochranným tyčovým znakem ve vzdálenosti přibližně 75 cm. Pro stabilizaci byly rovněž využity stávající body ZhB poblíž trati, vesměs stabilizované žulovými kameny M2 s křížkem (celkem 4) a OB stabilizované nivelační čepovou značkou s důlkem (celkem 1). Souřadnice těchto bodů byly přeurčeny měřením GPS.

Mezi těmito ZhB a OB byly stabilizovány nové body železničního polohového bodového pole (ŽP) ve vzdálenostech cca 250 m označené čísly 503 – 578 (celkem 76 nových bodů). Stabilizace těchto bodů byla provedena žulovými kameny se zavrtaným a obetonovaným hřebem nebo měřickými hřeby v pevných objektech. Všechny tyto body byly osazovány podél trati v místech, kde se nepředpokládají stavební úpravy a jsou v terénu označeny červenou barvou a popisem.

Pro navázání GPS měření do systému ETRS byly použity trigonometrické body vybrané údržby s danými souřadnicemi v systému ETRS, ležící v lokalitě, viz obr. 6.1.



Obr. 6.1 přehled bodů sítě před zpracováním, určené polohy jsou přibližné

6.1.2 Zpracování vektorů GPS

Měření GPS bylo provedeno aparaturami Leica GPS systém SR 530 resp. 520, vždy minimálně dvakrát nezávisle v jinou dobu s jinou výškou antény.

Observace byly provedeny metodou rychlých statických observací, bod 3010 v zalesněném úseku byl měřen metodou statických observací.

Vektory GPS mezi body s danými souřadnicemi v ETRS (07020040, 08220120, 08230120, 08180070 – referenční body) byly spočteny modulem Data Processing programu SKI-Pro. Základní parametry zpracování byly nastaveny:

- elevační maska 15°
- interval záznamu měření 10 s
- minimální doba observace pro vyřešení vektoru 300 s
- troposférický model Hopfield
- ionosférický stochastický model od délky vektoru 8 km
- model ionosféry určen z dat na referenčních bodech pro délku vektoru pod 8 km
- zpracování na frekvencích L1, L2

Hodnocení vypočtených vektorů je nutné provést ve všech následujících aspektech, pokud jediná podmínka není splněna, nelze vektor považovat za způsobilý k výpočtu výsledných polohových souřadnic:

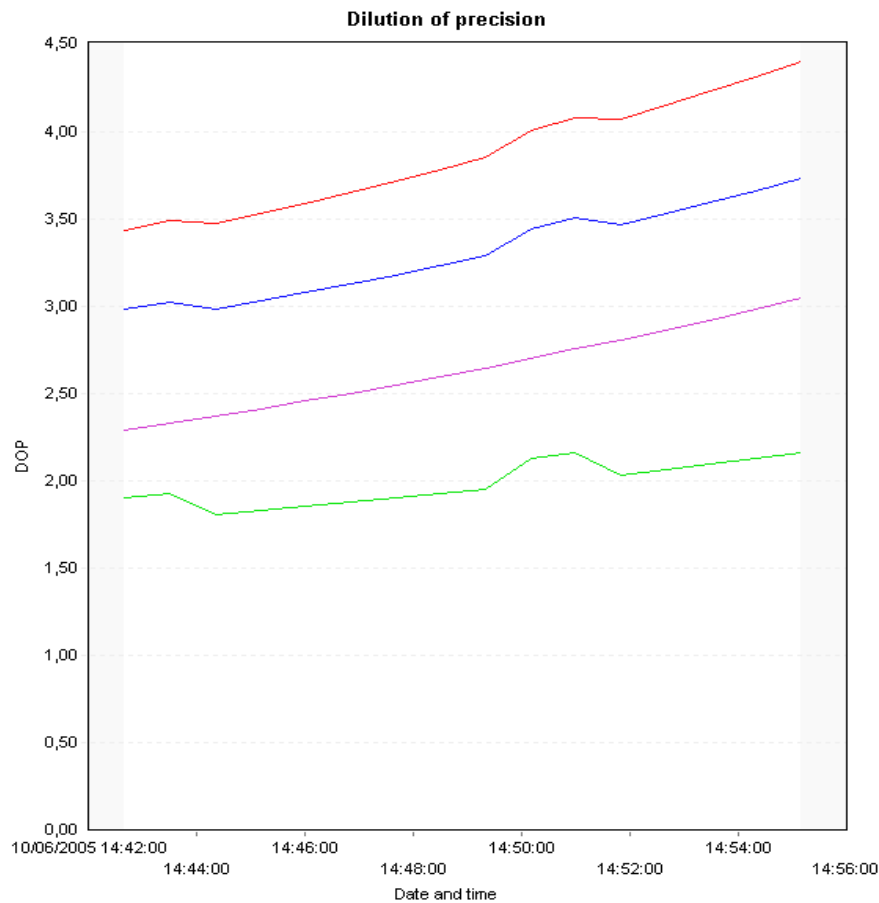
- ambiguity jsou vyřešeny celočíselně
- každý bod je určen minimálně dvakrát nezávisle, tedy je určen minimálně dvěma vektory s celočíselně vyřešenými ambiguitami, časový rozestup odpovídá podmínce minimálního časového intervalu mezi dvojím zaměřením bodu pomocí GPS 3 hodiny (druhé zaměření musí být provedeno v jiné konstelaci družic, obecný vzorec pro interval druhého zaměření bodu je $\langle 3 + 24*k ; 21 + 24*k \rangle$ v hodinách, kde k je 0, 1, 2, 3, ...dní), nejlépe je druhé nezávislé určení bodu provést v jiný den
- hodnoty HDOP, které jsou spočteny spolu s vektory nepřesáhnou hodnotu 4

Pokud nejsou ambiguity vyřešeny celočíselně, nelze s tímto vektorem nadále počítat a program ho sám vyřadí z dalšího zpracování. V daném případě nebyly ambiguity celočíselně vyřešeny u 6 vektorů z celkových 83. Dvakrát nebyly vyřešeny u problematického bodu 3110, který je stabilizován v lesním úseku.

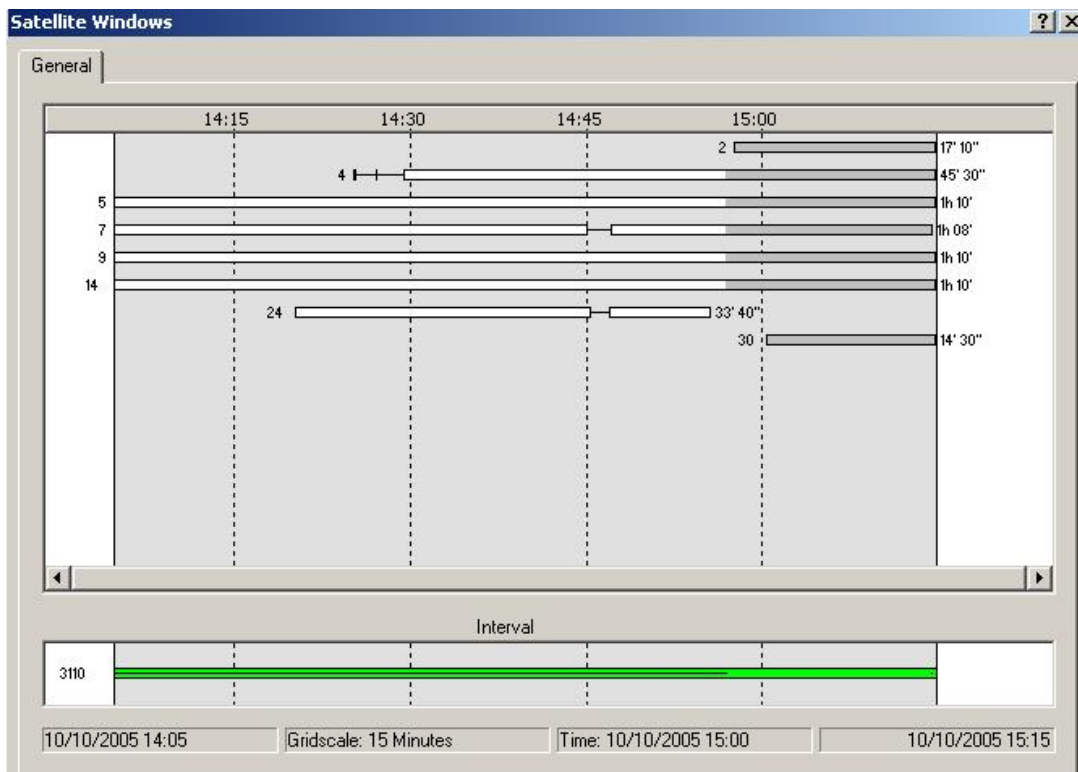
Dále je na řadě přistoupit k řešení hodnot HDOP. Vektory, kde hodnota HDOP přesahuje hodnotu 4 je nutné se pokusit upravit tak, aby tuto kritickou hranici nepřesahovaly. Existují dvě základní metody, jak snížit hodnotu HDOP:

- zkrácení observačního intervalu
- vypuštění určitých satelitů z observace

Rozhodnutí, kterému z dvou předchozích postupů dát přednost, usnadňuje funkce analýzy vektorů programu SKI-Pro. Tato funkce zobrazuje průběhy všech typů DOP (viz obr. 6.2) v závislosti na čase, výšku jednotlivých satelitů nad horizontem a jednotlivé typy reziduí, jak pro fázová tak kódová data. Zvolit lze jednoduché, dvojité a trojitě difference na všech typech nosných vln. Někdy je vhodné vyřadit satelity, které jsou po celou dobu observace pod hranicí 20° elevační masky. Takové satelity přispívají k růstu velikosti hodnoty DOP. Někdy je naopak vhodné vyřadit například okraje observačních intervalů, pokud hodnota DOP je u tohoto okraje vysoká. Dalším předpokladem pro vyřazení některého satelitu z observace je přerušovaný příjem z tohoto satelitu (viz obr. 6.3)



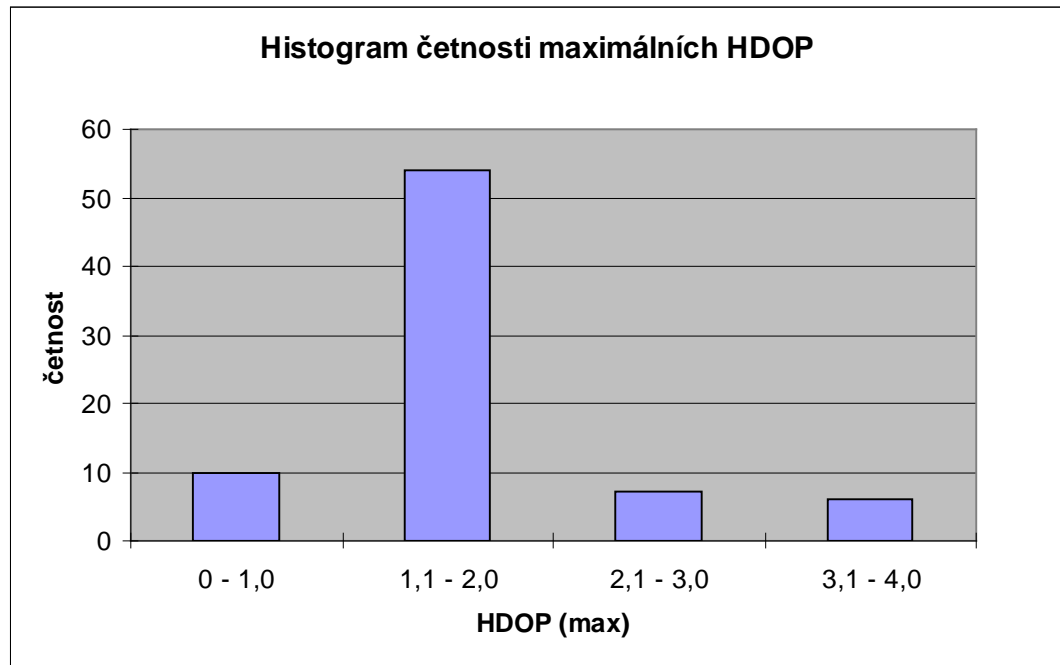
Obr. 6.2 průběh HDOP (zelená linie), VDOP (fialová linie), PDOP (modrá linie), GDOP (červená linie) vektoru mezi body 08220120 – 3071



Obr. 6.3 zobrazení příjmu satelitů na bodě 3110, délka observace 70 minut, z toho akceptováno pro výpočet vektoru přibližně 16 minut

Pokud jsou všechny hodnoty HDOP určovaných vektorů nižší než 4, je možné přistoupit k hodnocení, zda každý bod je určen dvěma nezávislými vektory i po vyřazení některých vektorů z důvodu nevyřešení ambiguit a neodstranitelné hodnoty HDOP větší než 4. V tomto konkrétním případě je bod 3120 určen pouze jedním vektorem a tudíž neodpovídá výše uvedeným podmínkám a nelze ověřit správnost určení jeho polohy. Body 3150, 3170, 3180, 3190, 3191, 3200 a 3201 jsou určeny pouze dvěma vektory, které od sebe mají časový rozestup přibližně 2 hodiny a tudíž taktéž neodpovídají uvedeným podmínkám a nelze je považovat za nezávisle určené.

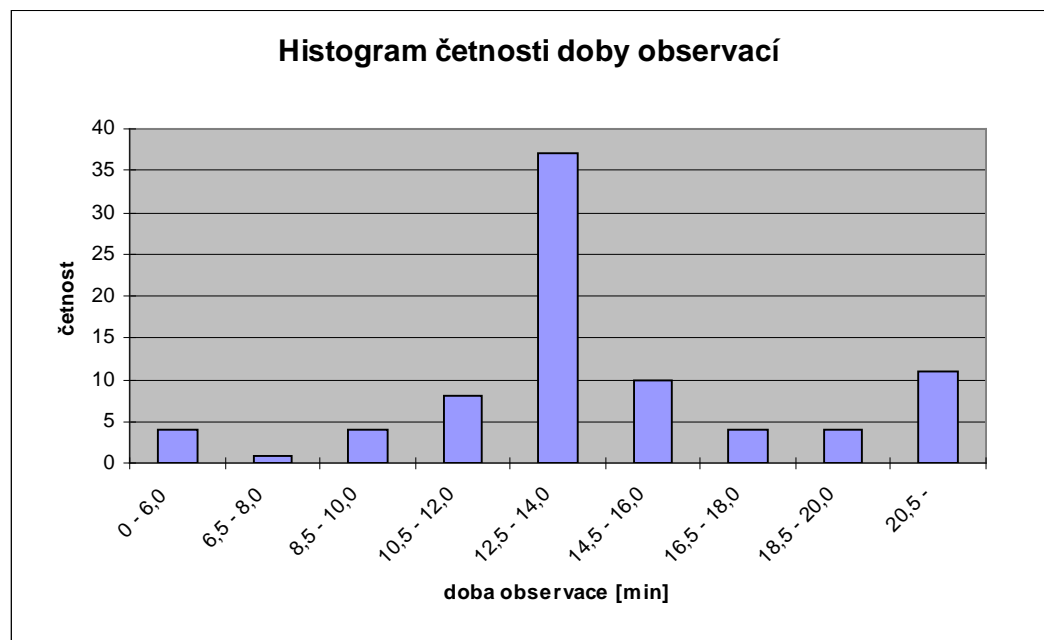
Charakteristiky provedeného měření ukazují následující histogramy četností.



Graf 6.1 histogram četností maximálních hodnot HDOP (77 vektorů)

Střední hodnota HDOP je 1,7, minimální hodnota 0,9, maximální hodnota 3,4.

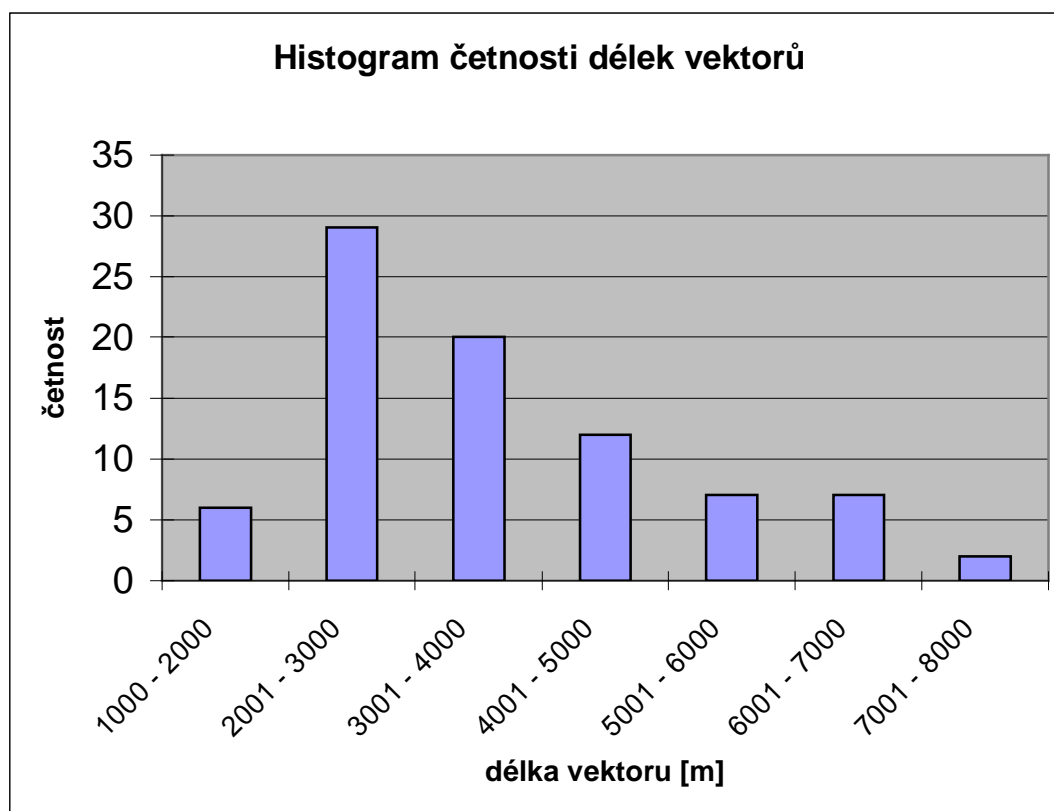
Do grafu jsou započítány pouze vektory, které splňují podmínku HDOP < 4.



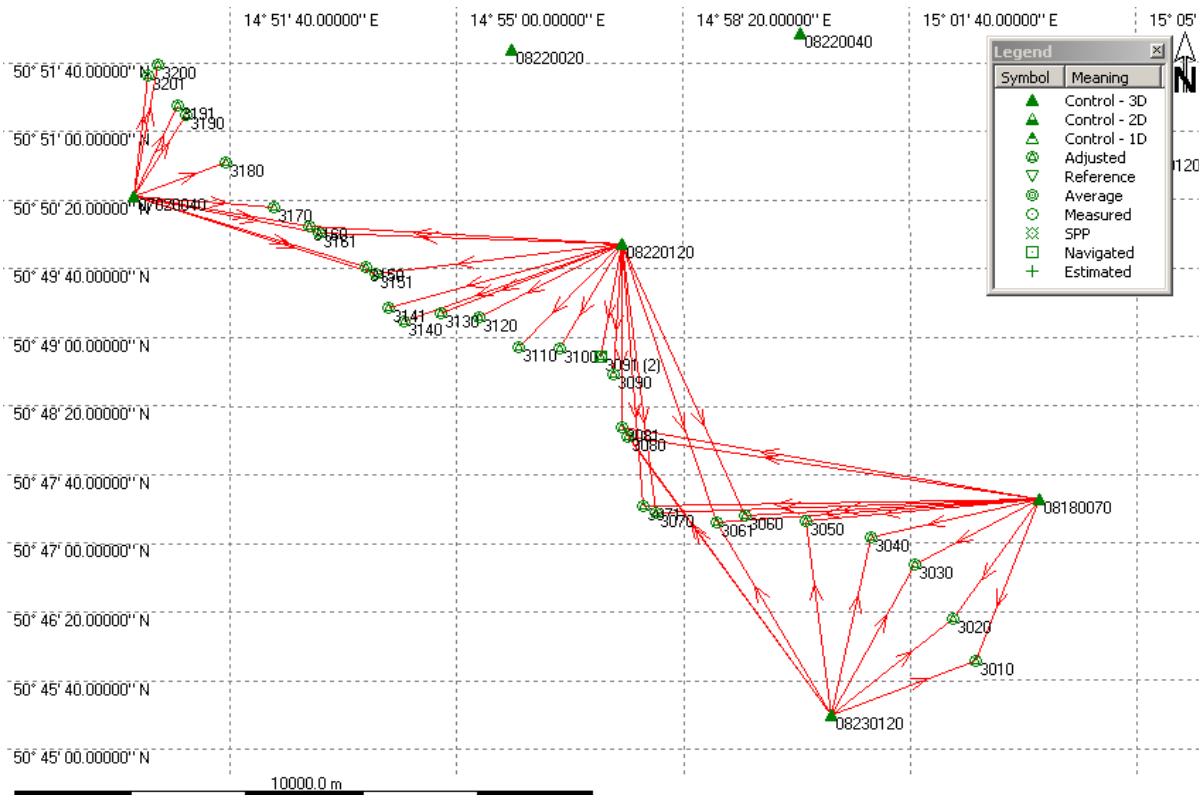
Graf 6.2 histogram četností délky observací (83 vektorů)

Graf 6.2 ukazuje histogram četností délky prováděných observací. Z grafu je vidět, že většina vektorů byla určena délkou observace 12,5 – 14,0 min. Tato délka observace vyhovuje doporučením Technologického postupu pro revizi a zřizování zhušťovacích bodů ČÚZK. Průměrná délka observace je 15,9 min, maximální 47 min, minimální 0,5 min (u této observace logicky nedošlo k určení celočíselné ambiguity).

Další graf 6.3 ukazuje histogram četností délky vektorů mezi určeným a referenčním bodem. Průměrná vzdálenost je 3500 m, minimální 1700 m, maximální 7300 m. Tyto hodnoty opět korespondují s doporučením Technologického postupu pro revizi a zřizování zhušťovacích bodů ČÚZK, kde je pro budování zhušťovacích bodů doporučena observace minimálně 10 min pro vektory kratší 10 km.



Graf 6.3 histogram četností délky vektoru mezi určeným a referenčním bodem



Obr. 6.4 náčrt sítě vypočtených vektorů

Výsledkem zpracování vektorů je určení váženého průměru souřadnic koncových bodů vektorů, který charakterizuje výsledné určení souřadnic daného bodu. Tento vážený průměr je automaticky počítán programem SKI-Pro pro každý určovaný bod, který je zaměřen minimálně dvojicí vektorů. V dokumentaci programu se ale nepodařilo nalézt jakoukoliv zmínku o tom, jak jsou voleny váhy pro výpočet tohoto váženého průměru.

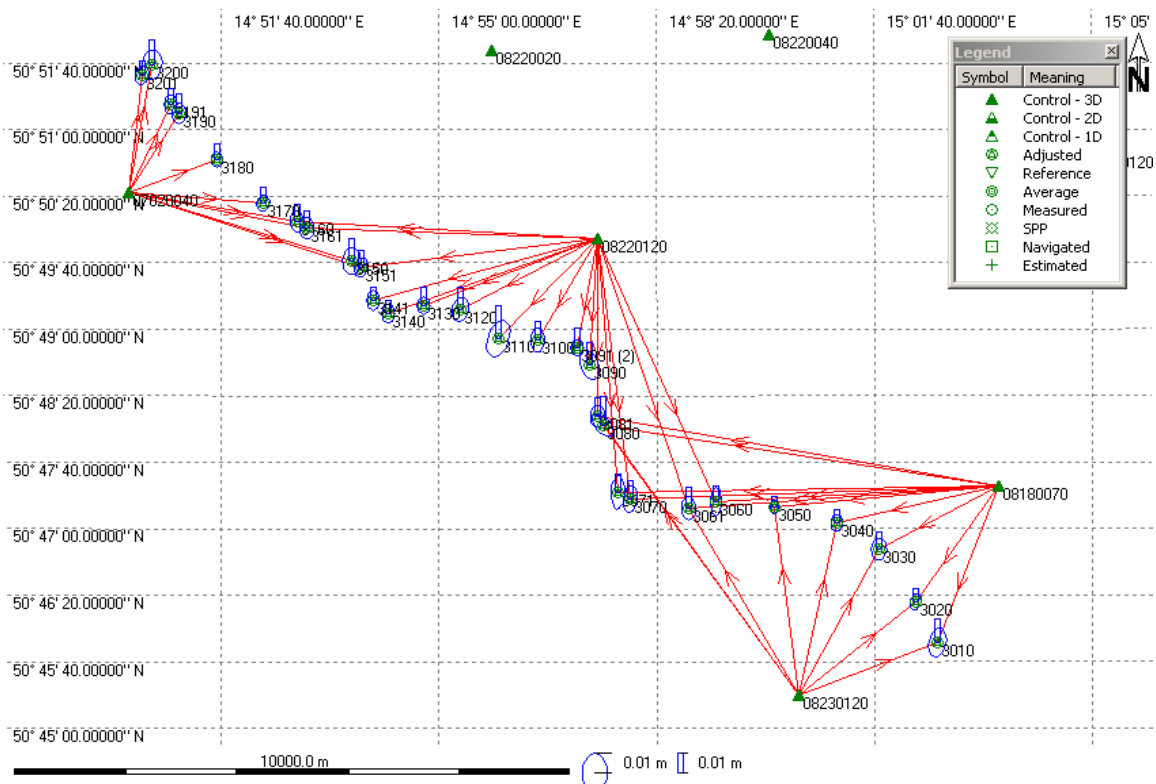
6.1.3 Vyrovnání vektorů

Po výpočtu vektorů lze provést vyrovnání těchto vektorů jako vázané sítě. Pevnými body jsou referenční body, tedy triangulační body vybrané údržby. Vyrovnání je provedeno modulem Adjustment programu SKI-Pro. Výsledek vyrovnání spolu se středními elipsami chyb je zobrazen na obr. 6.5. a v tab. 6.1 jsou uvedeny střední chyby horizontálních složek souřadnic na jednotlivých bodech získané z vyrovnání.

Podle protokolu je vyrovnání prováděno na elipsoidu WGS84, ačkoliv naše měření je určeno v systému ETRS, který je definován na elipsoidu GRS80. Rozdíl mezi těmito elipsoidy je ale natolik malý, že pro běžné geodetické účely ho můžeme zanedbat.

Tab. 6.1 m_φ střední chyba zeměp. šířky určená z vyrovnání, m_λ střední chyba zeměp. délky určená z vyrovnání

bod	m_φ [m]	m_λ [m]
3010	0,0073	0,0043
3020	0,0041	0,0028
3030	0,0055	0,0037
3040	0,0043	0,0028
3050	0,0032	0,0023
3060	0,0071	0,0027
3061	0,0057	0,0036
3070	0,0067	0,0037
3071	0,0085	0,0034
3080	0,0057	0,0052
3081	0,0055	0,0037
3090	0,0074	0,0048
3091	0,0042	0,0031
3100	0,0060	0,0035
3110	0,0092	0,0058
3120	0,0063	0,0043
3130	0,0044	0,0031
3140	0,0050	0,0030
3141	0,0050	0,0030
3151	0,0050	0,0032
3150	0,0069	0,0044
3161	0,0057	0,0036
3160	0,0053	0,0034
3170	0,0041	0,0031
3180	0,0037	0,0029
3190	0,0052	0,0036
3191	0,0048	0,0031
3201	0,0045	0,0032
3200	0,0074	0,0051



Obr. 6.5 náčrtek vyrovnané sítě vektorů se zobrazením středních elips chyb

6.2 Posouzení přesnosti určených bodů pomocí technologie GPS

Podle [1] se hodnocení přesnosti určení bodu provede výpočtem rozdílu dvojího určení polohy určovaného bodu (střední chyby dvojice měření) z výsledných souřadnic v S-JTSK. Tento rozdíl musí vyhovovat kritériím přesnosti bodů PPBP, v našem případě kritériím bodu ŽPBP 1. třídy přesnosti. V případě, že bod je určen pouze technologií GPS, může být provedeno porovnání rozdílů horizontálních složek souřadnic z dvojího nezávislého určení v souřadnicovém systému ETRS. Pro účely této práce budeme považovat i vektory (popsané výše), které byly určeny s časovým odstupem 2 hod, který nevyhovuje kritériu minimálně 3 hod, za vektory nezávislé.

Jelikož v našem případě považujeme všechny body (s výjimkou bodu 3120) za určené nezávisle metodou GPS, můžeme pro posouzení přesnosti určení bodu použít porovnání rozdílů horizontálních složek souřadnic jednotlivých určených vektorů v systému ETRS. Za tyto horizontální složky budeme považovat souřadnice koncových bodů jednotlivých vektorů. Za rozdíl horizontálních složek pak budeme považovat

vzdálenost těchto dvou určení souřadnic koncových bodů vektorů. Stejně tak i podle [15] je kritériem pro posouzení **diference** dvojího nezávislého určení souřadnic, resp. **směrodatná odchylka** vypočtená ze souboru několika dvojic (WGS84 resp. ETRS). Hodnota mezní odchylky difference dvojího nezávislého určení polohy je dána v [16] jako hodnota 2,5násobku základní střední souřadnicové chyby $m_{xy}=0,02$ m, tedy mezní odchylka je rovna 0,05 m.

Budeme-li tedy porovnávat nezávislé vektory, posoudíme přesnost určení souřadnic podle tohoto postupu:

1/ Mějme 2 nezávislé vektory a označme φ_1, φ_2 určené složky zeměpisné šířky obou vektorů, dále označme λ_1, λ_2 určené složky zeměpisné délky obou vektorů. Pak $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$, $\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$. Pro převod do metrického systému byly odvozeny převodní vzorce pro danou střední zeměpisnou šířku a délku:

$$(1) \quad \Delta N = \Delta\varphi * 10^{-5} * 30,922$$

$$(2) \quad \Delta E = \Delta\lambda * 10^{-5} * 19,876$$

Pak již můžeme snadno vypočítat požadovanou diferenci dvojího nezávislého určení souřadnic

$$(3) \quad d = \sqrt{\Delta N^2 + \Delta E^2}$$

Máme tedy k dispozici vzdálenost dvou řešení d , kterou srovnáme se základní střední souřadnicovou chybou m_{xy} .

2/ Jiná situace nastává, pokud máme více než dva nezávislé vektory. Zde již můžeme podle [15] určit směrodatnou odchylku vypočtenou ze souboru několika dvojic. Při třech nezávislých vektorech dostáváme tři difference, při čtyřech nezávislých vektorech již dostáváme šest diferencí. Obdobně jako v bodě 1/ jsou napočítány difference mezi jednotlivými složkami a následně převedeny do metrického systému. Vypočítány jsou pak směrodatné odchylky složek N a E:

$$(4) \quad m_N = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta N_i^2 \frac{1}{n-1}}, \text{ kde } n \text{ je počet nezávislých vektorů}$$

Obdobně se vypočte m_E . Posledním krokem je výpočet směrodatné odchylky difference nezávislého určení souřadnic:

$$(5) \quad m_d = \sqrt{m_N^2 + m_E^2}$$

Následující tabulka (tab. 6.2) shrnuje výsledky všech bodů hodnocené sítě.

Bod	počet nezávislých vektorů	d [m]	m_d [m]
3010	4		0,020
3020	3		0,014
3030	3		0,011
3040	3		0,017
3050	3		0,018
3060	3		0,030
3061	3		0,024
3070	3		0,015
3071	2	0,017	
3080	2	0,024	
3081	4		0,017
3090	2	0,007	
3091	4		0,011
3100	3	0,022	
3110	3		0,019
3130	3		0,006
3140	2	0,013	
3141	2	0,007	
3150	2	0,010	
3151	3		0,020
3160	3		0,028
3161	3		0,028
3170	2	0,013	
3180	2	0,007	
3190	2	0,009	
3191	2	0,014	
3201	2	0,003	
3200	2	0,008	

Tab. 6.2 posouzení přesnosti určených bodů GPS pomocí diferencí souřadnic určených
nezávislých vektorů

Z tabulky je vidět, že difference či směrodatná odchylka difference více dvojic
nezávislých vektorů, překračuje u 6 bodů z 28 určovaných bodů požadovanou základní
střední souřadnicovou chybu $m_{xy} = 0,02$ m. Žádná z hodnot ale nepřekračuje mezní
odchylku 0,05 m. Dané měření lze tedy považovat svou přesností za vyhovující pro
určení bodů ŽPBP 1. třídy přesnosti.

Daný postup určení bude platit i v případě, kdy výsledné souřadnice v systému
ETRS získáváme z vyrovnání sítě. Podle [6] je sice možné pro dvojí nezávislé určení

polohy bodu technologií GPS získat výsledné souřadnice vyrovnáním v prostorovém systému ETRS a výsledek pak transformovat do systému S-JTSK, ale i tak platí požadavek hodnocení rozdílu dvojího nezávislého určení polohy bodu z rozdílu horizontálních složek souřadnic v ETRS.

Předpokládejme, že pro každý určovaný bod budou vybrány pouze dva nezávislé vektory, a to takové, že diference mezi těmito dvěma řešeními bude pro daný bod největší. Pokud jsou na daném bodě určeny pouze dva nezávislé vektory, je situace jednoduchá, pro body s třemi a více nezávislými vektory byly určeny dvojice vektorů, které splňují výše popsanou podmínku. Z diferencí horizontálních složek souřadnic těchto vektorů lze pak určit výběrové střední chyby určení těchto složek celého souboru určovaných bodů. Výběrová střední chyba určení zeměpisné šířky má pak hodnotu 0,0137 m a výběrová střední chyba určení zeměpisné délky hodnotu 0,0115. Z těchto chyb lze pak určit střední souřadnicovou chybu souboru, jež má hodnotu 0,0127 m. Na paměti je nutno mít, že tato hodnota byla získána pomocí výběru vždy pouze dvou vektorů s největší vzájemnou diferencí pro každý bod souboru. Diference mezi vektory v jednotlivých složkách ukazuje tab. 6.3.

V technické zprávě SŽG Praha k tomuto bodovému poli je přesnost určení souřadnic posuzována pomocí formálních chyb z vyrovnání sítě vektorů, což podle mého názoru vede k příliš optimistickým odhadům přesnosti. Určeny jsou střední polohové chyby $m_p = \sqrt{m_j^2 + m_l^2}$ na jednotlivých bodech, kde m_φ je střední chyba určení zeměpisné šířky bodu získaná z vyrovnání sítě vektorů a obdobně m_λ je střední chyba určení zeměpisné délky daného bodu. Odhad střední polohové chyby celého souboru určovaných bodů je pak určen jako aritmetický průměr hodnot m_p bodů sítě. Tento odhad střední polohové chyby má hodnotu 6,3 mm a je porovnáván se základní střední souřadnicovou chybou $m_{xy} = 0,02$ m. Tento postup hodnocení dosažených výsledků neodpovídá právním předpisům.

bod	d_{ϕ} [m]	d_{λ} [m]
3010	0,026	0,014
3020	0,009	0,011
3030	0,006	0,010
3040	0,015	0,013
3050	0,013	0,015
3060	0,028	0,002
3061	0,025	0,005
3070	0,012	0,010
3071	0,012	0,012
3080	0,001	0,024
3081	0,017	0,017
3090	0,005	0,005
3091	0,011	0,007
3100	0,021	0,007
3110	0,020	0,000
3130	0,003	0,005
3140	0,004	0,013
3141	0,003	0,007
3150	0,008	0,006
3151	0,018	0,010
3160	0,027	0,010
3161	0,009	0,029
3170	0,007	0,011
3180	0,003	0,006
3190	0,007	0,005
3191	0,014	0,004
3201	0,002	0,001
3200	0,006	0,005

Tab. 6.3 největší diference dvou vektorů ve složkách zeměp. šířky (d_{ϕ}) a zeměp. délky (d_{λ})

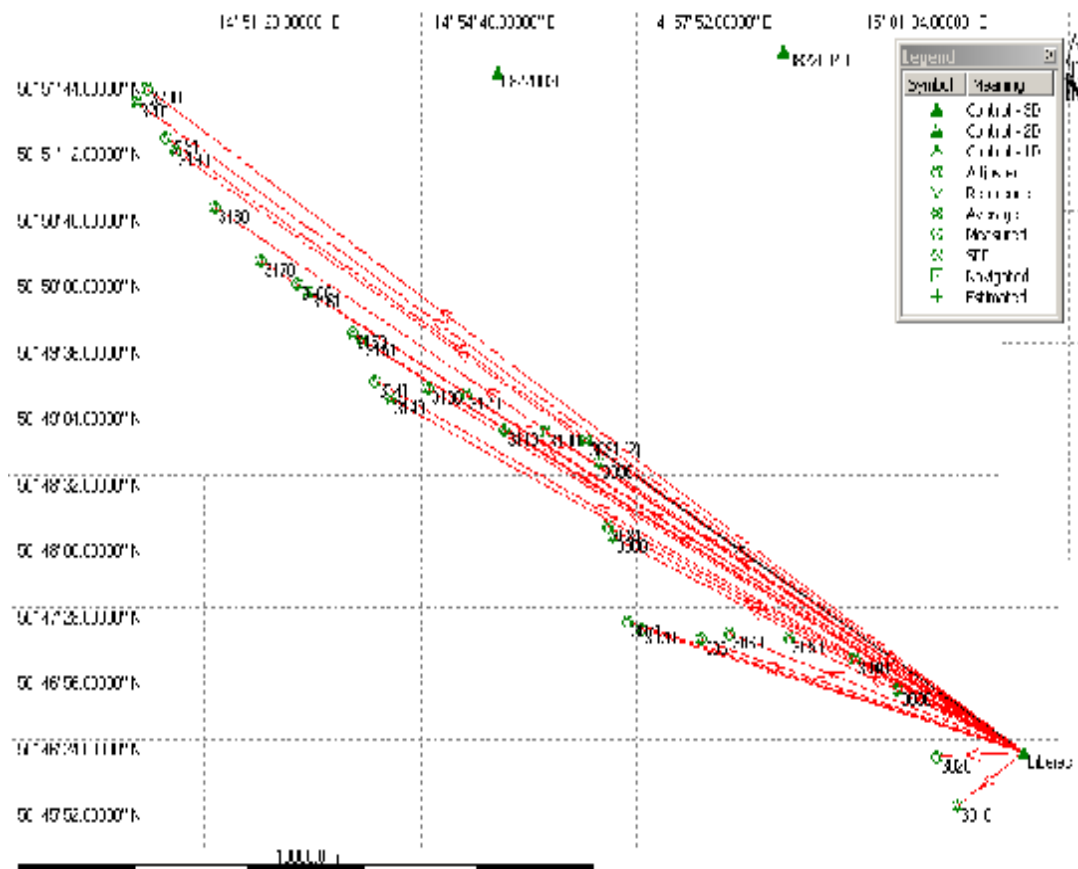
6.3 Zpracování zaměření sítě pomocí sítě permanentních referenčních stanic CZEPOS

6.3.1 Zpracování zaměření sítě pomocí referenční stanice Liberec

Pro posouzení vhodnosti použití referenčních stanic sítě CZEPOS pro budování ŽPBP byl proveden test zpracování sítě pomocí referenční stanice Liberec. Data z této stanice byly získány ze Zeměměřického úřadu ve formátu komprimovaný RINEX v intervalu záznamu 5 s.

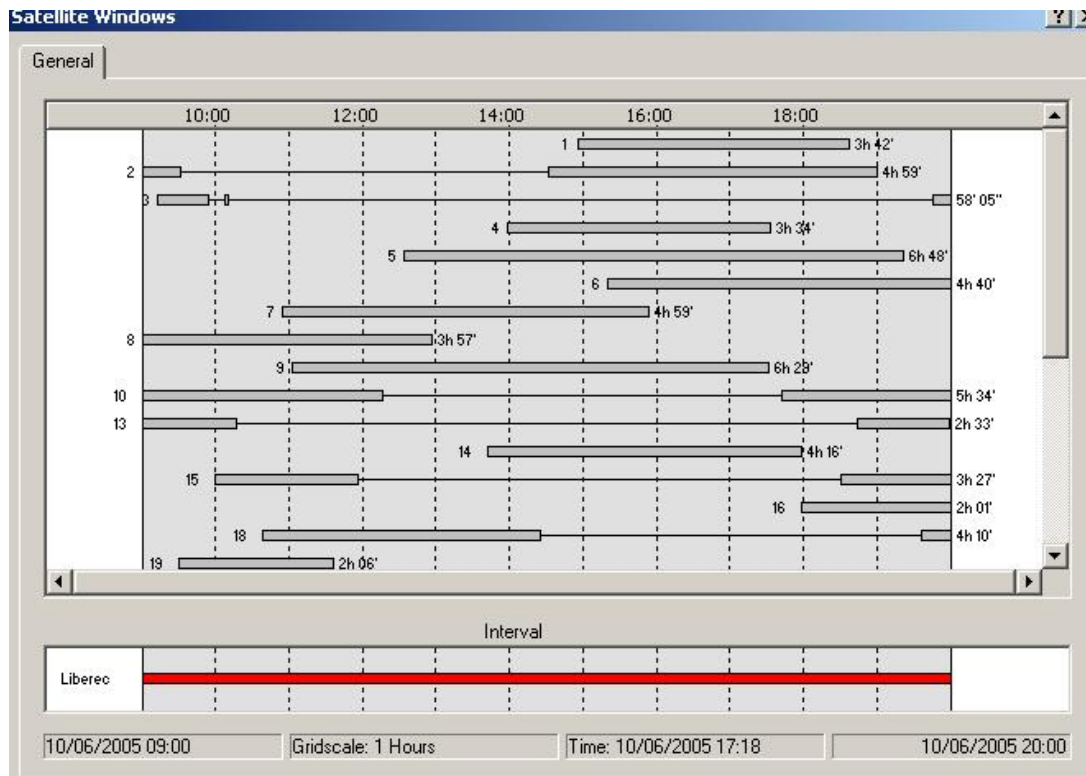
Data RINEX byly nejprve importovány do projektu sítě a následně byl tento projekt zpracován podle zásad popsanych v kapitole 6.1.

Výhodou tohoto testu je, že referenční stanice Liberec je umístěna na okraji projektu sítě a maximální vzdálenost určovaného bodu od této referenční stanice je 20 km, viz obr. 6.6.



Obr. 6.6 náčrtek sítě s referenční stanicí CZEPOS Liberec

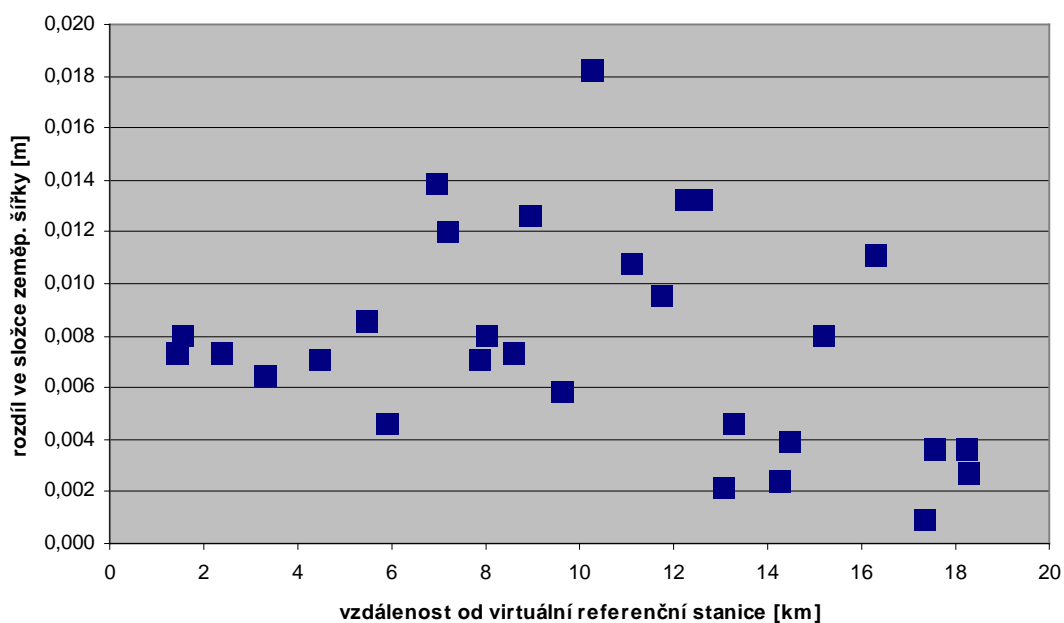
Při výpočtu vektorů se nepodařilo vyřešit ambiguitu v 5 případech. 4 případy tvoří bod 3110, který je stabilizován v lesním úseku a je vzdálen od referenční stanice přibližně 10 km. K takovému dobrému výsledku i pro vektory nad 10 km jistě přispívá kvalita příjmu GPS signálu na referenční stanici Liberec (viz obr. 6.7). Z obrázku je dobře vidět, že stanice přijímá signál po většinu zobrazeného intervalu 11 hodin z minimálně 6 satelitů.



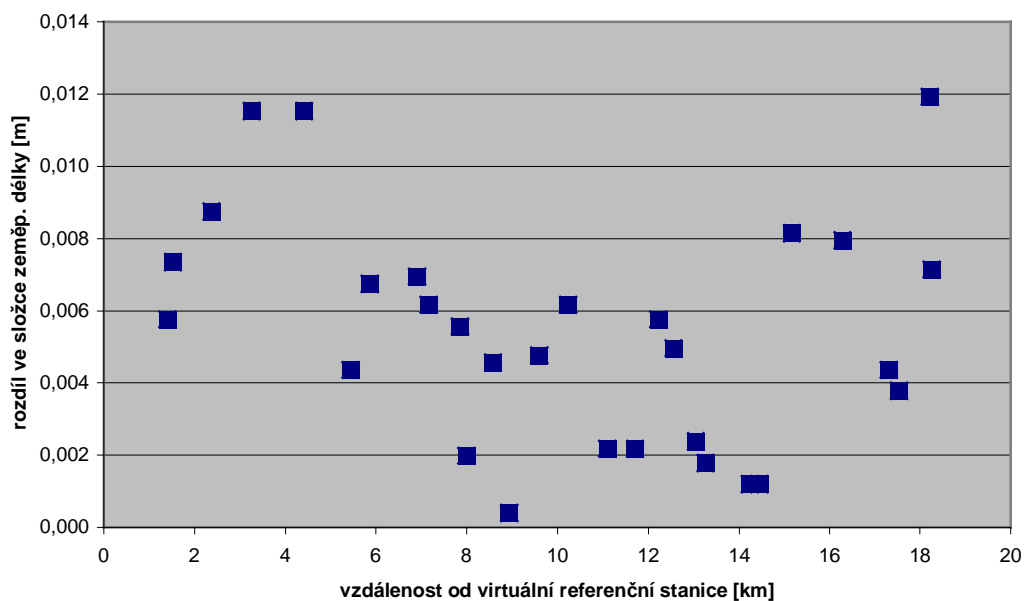
Obr. 6.7 zobrazení příjmu satelitů na referenční stanici Liberec pro den 6.10.2005

Síť vypočtených vektorů byla vyrovnána pomocí modulu Adjustment programu SKI-Pro. Z určených středních chyb z vyrovnání bylo možno určit střední souřadnicové chyby jednotlivých bodů. Průměrná střední souřadnicová chyba má hodnotu 0,00558 m a maximální 0,0138 m na bodě 3200. Průměrná střední souřadnicová chyba, určená také ze středních chyb z vyrovnání, projektu zpracovaného měřením na bodech vybrané údržby, jak je popsán v kapitole 6.1, je 0,0047 m.

Pro serióznější porovnání těchto dvou metod byly porovnány výsledné souřadnice určené v obou projektech vyrovnáním sítě vektorů. Z tohoto porovnání byly sestrojeny následující grafy.



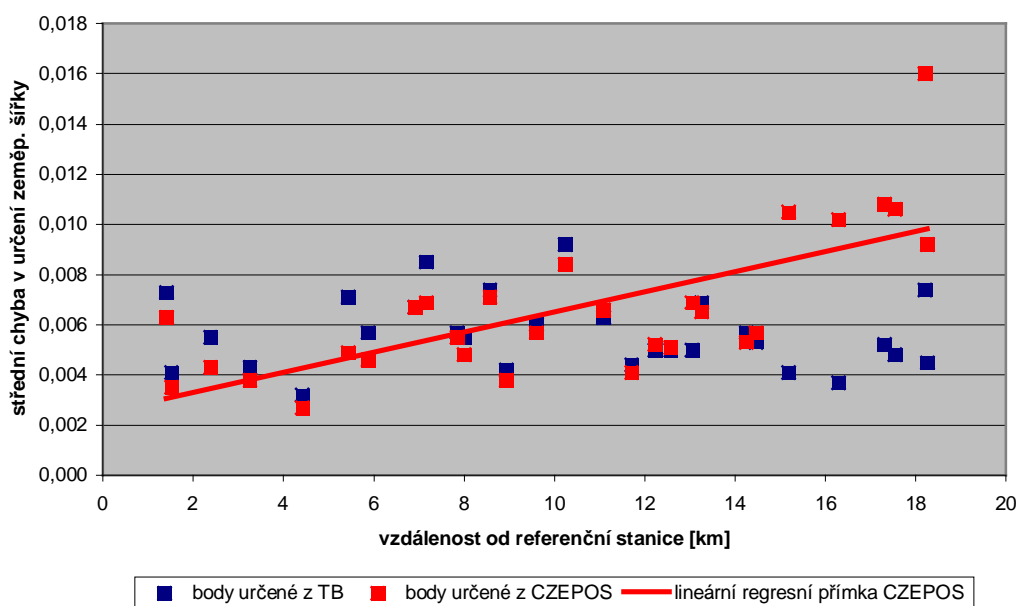
Graf 6.4 rozdíl ve složce zeměpisné šířky mezi projektem zpracovaným CZEPOS a projektem zpracovaným měřením na bodech vybrané údržby v závislosti na vzdálenosti určovaného bodu od referenční stanice Liberec



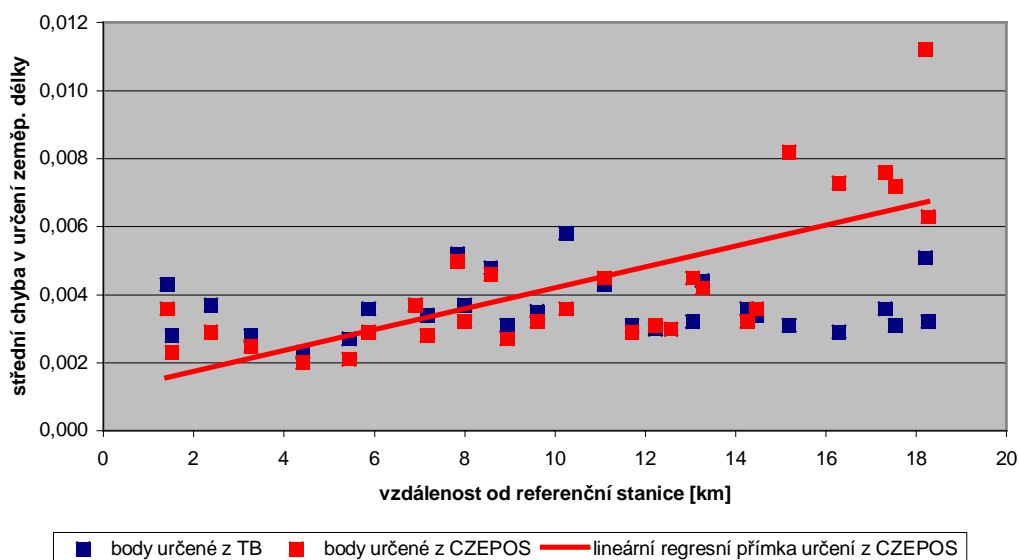
Graf 6.5 rozdíl ve složce zeměpisné délky mezi projektem zpracovaným CZEPOS a projektem zpracovaným měřením na bodech vybrané údržby v závislosti na vzdálenosti určovaného bodu od referenční stanice Liberec

Z grafu 6.4 a 6.5 je vidět, že se vzrůstající vzdáleností nestoupá rozdíl v určení zeměpisné šířky ani délky spočtený z dvou určení daného bodu. Vzhledem k tomu, že délky vektorů projektu zpracovaného měření na bodech vybrané údržby jsou v celé síti přibližně stejné, lze z tohoto usuzovat, že do vzdálenosti 20 km od referenční stanice lze dosáhnout použitím CZEPOS srovnatelné přesnosti v určení polohy bodu.

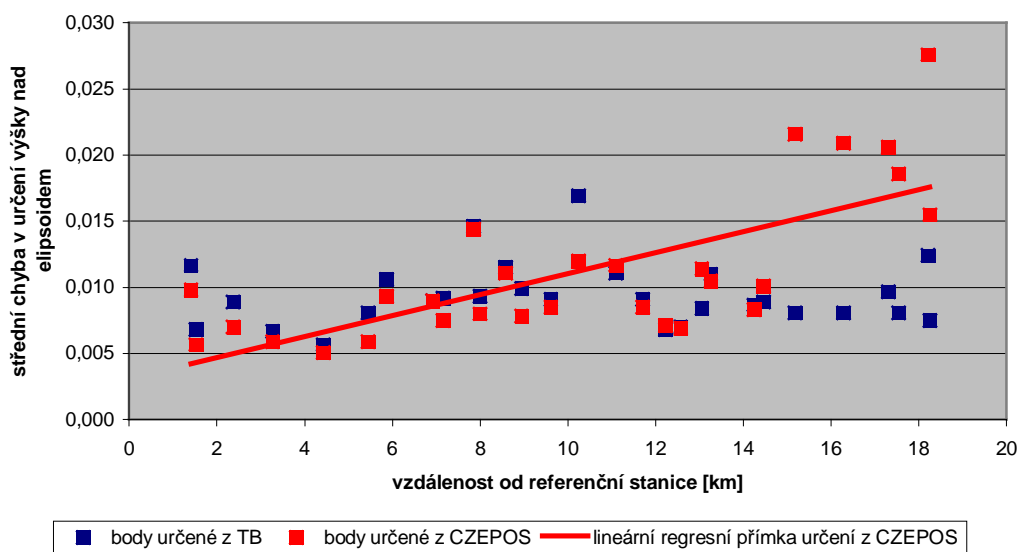
Další grafy ukazují závislost středních chyb jednotlivých souřadnic určených z vyrovnání na vzdálenosti od referenční stanice.



Graf 6.6 střední chyba určení zeměpisné šířky mezi projektem zpracovaným CZEPOS a projektem zpracovaným měření na bodech vybrané údržby (TB) v závislosti na vzdálenosti určovaného bodu od referenční stanice Liberec, modré hodnoty jsou v grafu uvedeny pro srovnání, nemají vazbu na vzdálenost od referenční stanice, ale vážou se ke stejnému bodu, jako červené hodnoty



Graf 6.7 střední chyba určení zeměpisné délky mezi projektem zpracovaným CZEPOS a projektem zpracovaným měřeními na bodech vybrané údržby (TB) v závislosti na vzdálenosti určovaného bodu od referenční stanice Liberec, modré hodnoty jsou v grafu uvedeny pro srovnání, nemají vazbu na vzdálenost od referenční stanice, ale vážou se ke stejnému bodu, jako červené hodnoty



Graf 6.8 střední chyba určení výšky nad elipsoidem mezi projektem zpracovaným CZEPOS a projektem zpracovaným měřeními na bodech vybrané údržby (TB) v závislosti na vzdálenosti určovaného bodu od referenční stanice Liberec, modré hodnoty jsou v grafu uvedeny pro srovnání, nemají vazbu na vzdálenost od referenční stanice, ale vážou se ke stejnému bodu, jako červené hodnoty

Z předcházejících grafů je vidět, že ačkoliv skutečné difference určení souřadnic bodů mezi oběma projekty nezávisí na vzdálenosti od referenční stanice pro testovanou vzdálenost do 20 km, střední chyby z vyrovnání tuto závislost mají. Vysvětlit si to lze přílišným vlivem délky vektoru na vyrovnání sítě.

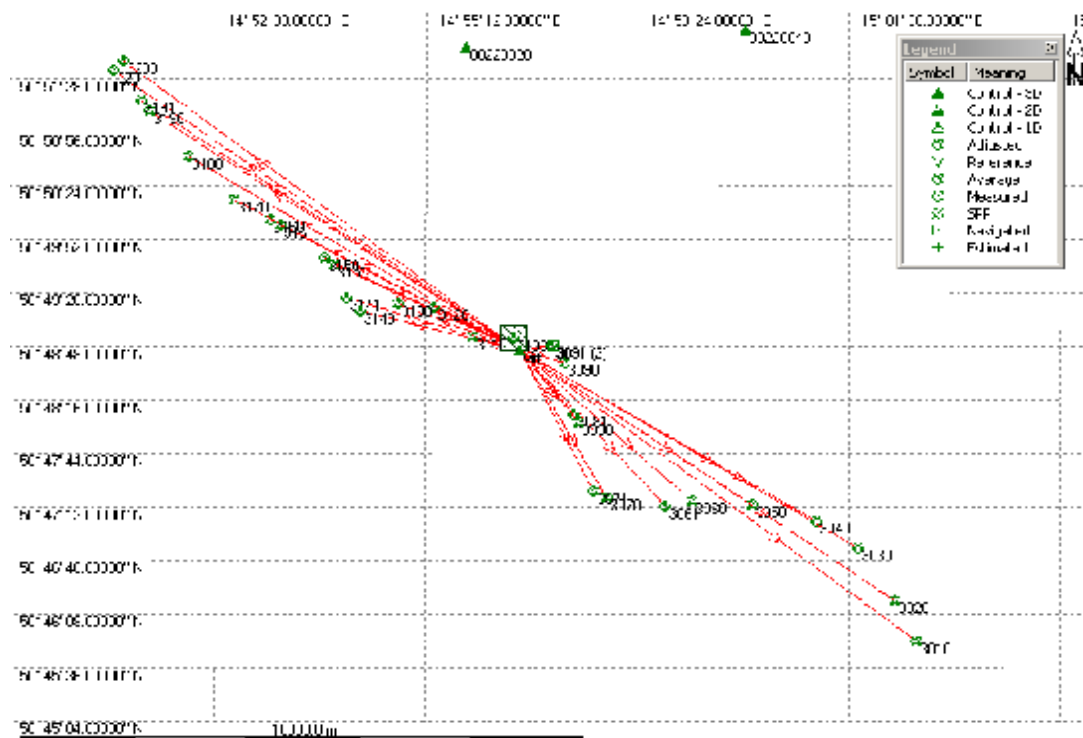
Metodu použití referenčních stanic CZEPOS lze doporučit pro budování ŽPBP.

6.3.2 Zpracování zaměření sítě pomocí virtuální referenční stanice

Pro posouzení vhodnosti použití virtuálních referenčních stanic (VRS) sítě CZEPOS pro budování ŽPBP byl proveden test zpracování sítě pomocí VRS s určenými souřadnicemi zhruba v centru budované sítě bodů (N 050° 48' 46,0000", E 014° 56' 37,0000", 360.0 m). Data z této stanice byly získány ze Zeměměřického úřadu ve formátu komprimovaný RINEX v intervalu záznamu 5 s.

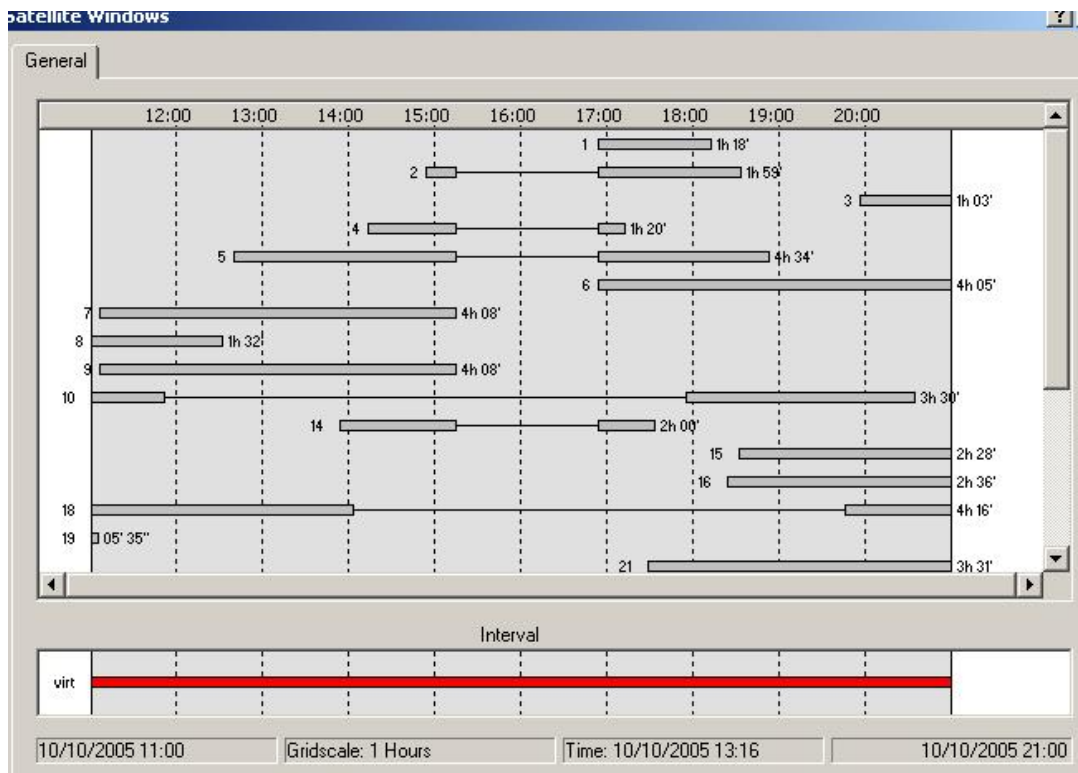
Data RINEX byly nejprve importovány do projektu sítě a následně byl tento projekt zpracován podle zásad popsaných v kapitole 6.1.

Maximální vzdálenost určovaného bodu od VRS je 9 km, viz obr. 6.6. Je třeba mít na paměti, že pozice VRS vůči síti CZEPOS je za hranicí sítě.



Obr. 6.8 náčrtek sítě s VRS

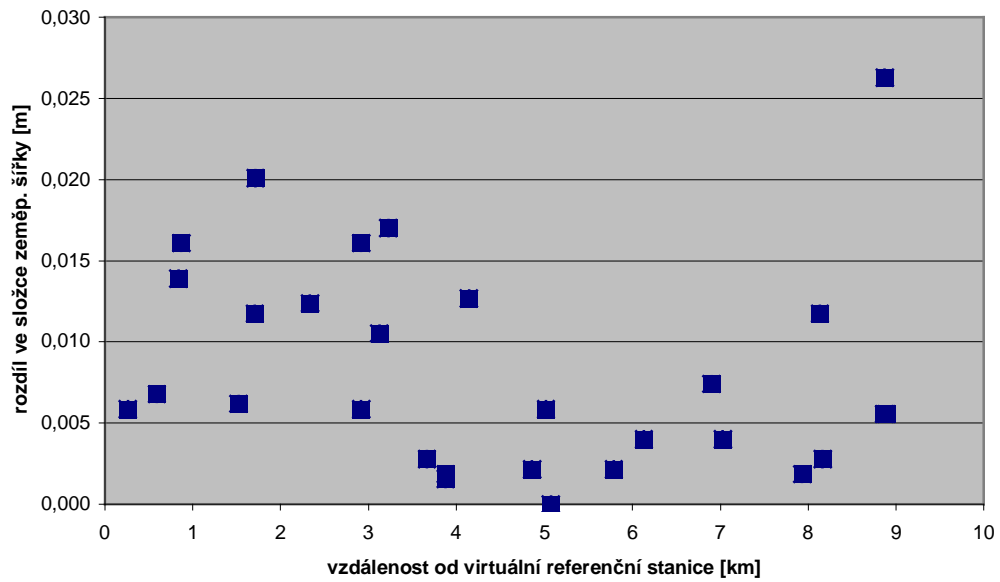
Při výpočtu vektorů se nepodařilo vyřešit řadu ambiguit na mnoha bodech. Vysvětlení by mělo být vidět na obrázku 6.9, kde je patrné, že některé VRS (konkrétně 2 ze 4 epoch) mají mnoho mezer v příjmu satelitů.



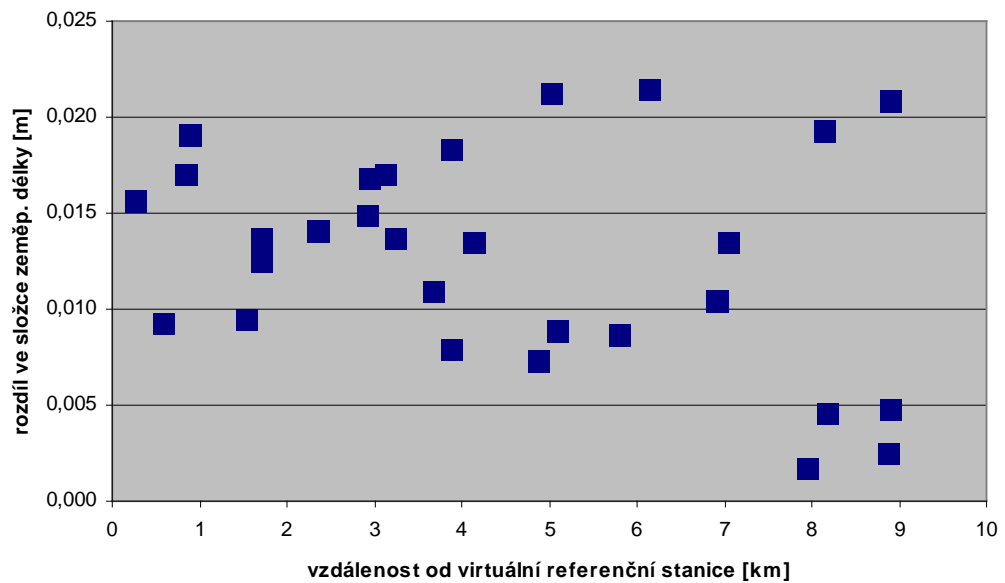
Obr. 6.7 zobrazení příjmu satelitů na VRS pro den 10.10.2005

Síť vypočtených vektorů byla vyrovnána pomocí modulu Adjustment programu SKI-Pro. Z určených středních chyb z vyrovnání bylo možno určit střední souřadnicové chyby jednotlivých bodů. Průměrná střední souřadnicová chyba má hodnotu 0,008 m a maximální 0,017 m na bodě 3151. Průměrná střední souřadnicová chyba, určená také ze středních chyb z vyrovnání, projektu zpracovaného měřením na bodech vybrané údržby, jak je popsán v kapitole 6.1, je 0,0047 m.

Stejně jako v předchozí kapitole, byly i pro VRS sestaveny příslušné grafy.



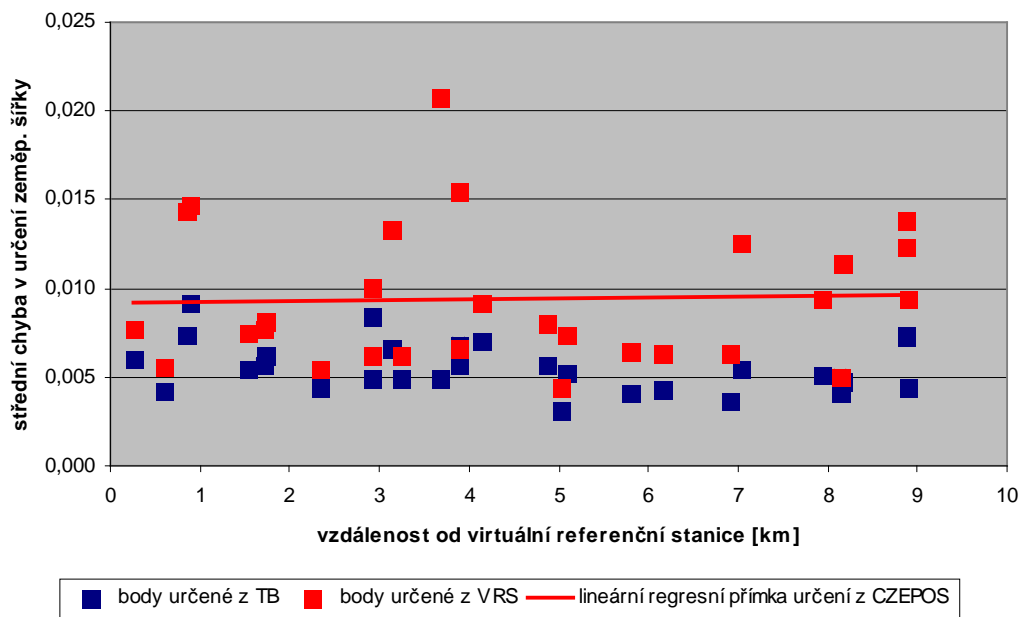
Graf 6.9 rozdíly ve složce zeměpisné šířky mezi projektem zpracovaným VRS a projektem zpracovaným měřením na bodech vybrané údržby v závislosti na vzdálenosti určovaného bodu od VRS



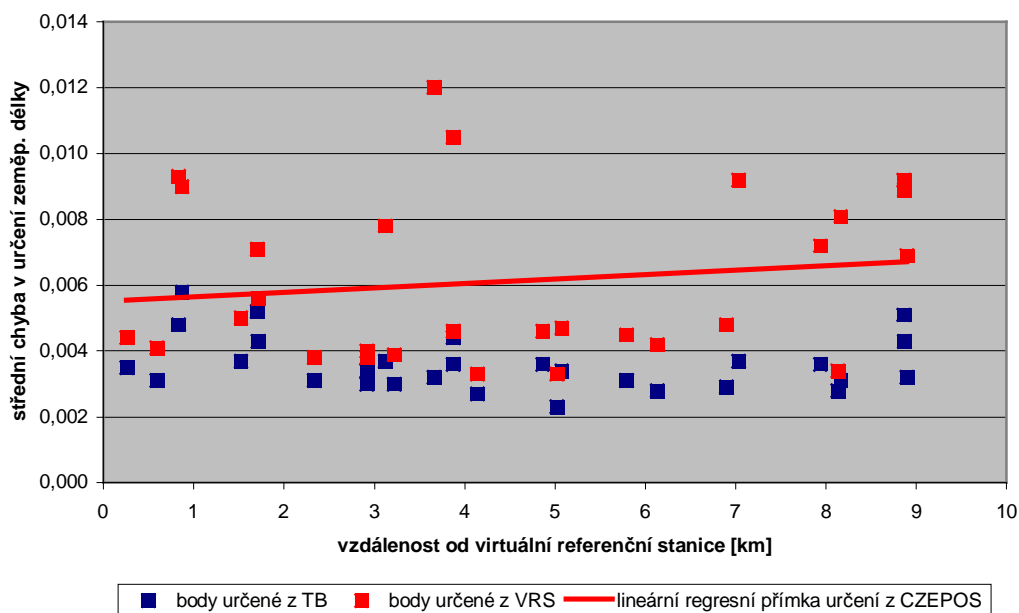
Graf 6.10 rozdíly ve složce zeměpisné délky mezi projektem zpracovaným VRS a projektem zpracovaným měřením na bodech vybrané údržby v závislosti na vzdálenosti určovaného bodu od VRS

Z grafu 6.9 a 6.10 je vidět, že se vzrůstající vzdáleností nestoupá rozdíl v určení zeměpisné šířky ani délky spočtený z dvou určení daného bodu. Diference mají větší hodnoty než projekt s použitím referenční stanice Liberec.

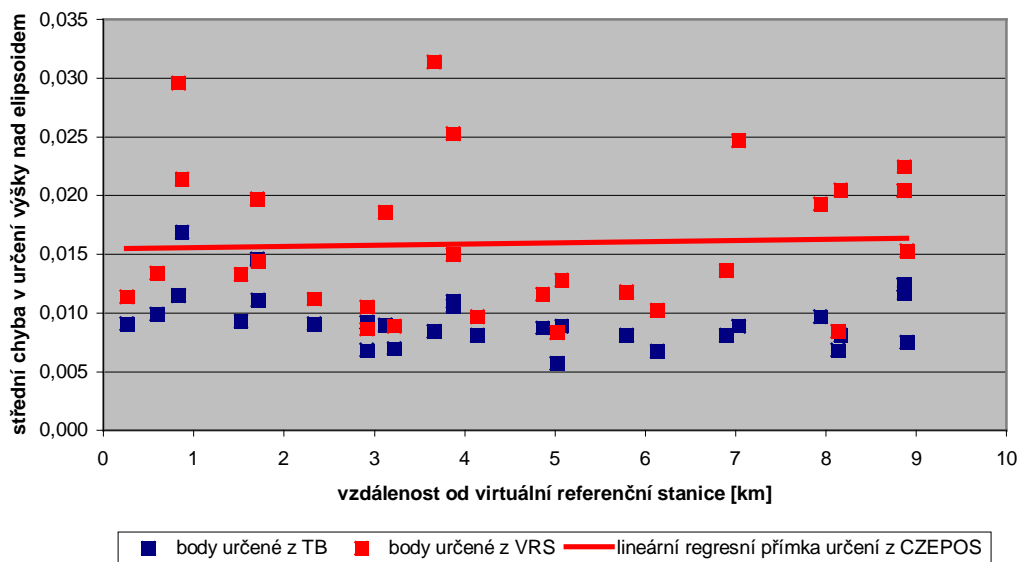
Další grafy ukazují závislost středních chyb jednotlivých souřadnic určených z vyrovnání na vzdálenosti od referenční stanice.



Graf 6.11 střední chyba určení zeměpisné šířky mezi projektem zpracovaným VRS a projektem zpracovaným měřeními na bodech vybrané údržby (TB) v závislosti na vzdálenosti určovaného bodu od VRS, modré hodnoty jsou v grafu uvedeny pro srovnání, nemají vazbu na vzdálenost od referenční stanice, ale vážou se ke stejnému bodu, jako červené hodnoty



Graf 6.12 střední chyba určení zeměpisné délky mezi projektem zpracovaným VRS a projektem zpracovaným měřeními na bodech vybrané údržby (TB) v závislosti na vzdálenosti určovaného bodu od VRS, modré hodnoty jsou v grafu uvedeny pro srovnání, nemají vazbu na vzdálenost od referenční stanice, ale vážou se ke stejnému bodu, jako červené hodnoty



Graf 6.13 střední chyba určení výšky nad elipsoidem mezi projektem zpracovaným VRS a projektem zpracovaným měřeními na bodech vybrané údržby (TB) v závislosti na vzdálenosti určovaného bodu od VRS, modré hodnoty jsou v grafu uvedeny pro srovnání, nemají vazbu na vzdálenost od referenční stanice, ale vážou se ke stejnému bodu, jako červené hodnoty

Z předcházejících grafů je opět vidět, že ačkoliv skutečné diference určení souřadnic bodů mezi oběma projekty nezávisí na vzdálenosti od referenční stanice pro testovanou vzdálenost do 10 km, střední chyby z vyrovnání tuto závislost opět mají.

Metodu použití referenčních stanic VRS nelze doporučit pro budování ŽPBP v této oblasti. Nižší přesnost měření může být dána pozicí VRS vně sítě CZEPOS a většími prolukami v příjmu satelitů.

6.4 Test určení polohy bodů vybrané údržby pomocí CZEPOS

Jelikož jsou na bodech vybrané údržby provedeny statické observace v délce trvání 1 – 3 hodiny (jsou to referenční body z původního projektu), je možné provést test jejich polohového určení jak pomocí VRS, tak pomocí referenční stanice Liberec. Získané souřadnice v ETRS určené jako vážený průměr spočtený z nezávislých vektorů jsou porovnány s danými souřadnicemi ETRS v GÚ. Výsledky porovnání shrnuje tabulka 6.4.

Bod	d [m]	vzdálenost od ref.st. [km]
VRS		
07020040	0,0064	8,05
08220120	0,0183	2,32
08230120	0,0241	7,83
08180070	0,0171	8,54
LIB		
07020040	0,0079	17,94
08220120	0,0097	9,85
08230120	0,0147	4,06
08180070	0,0088	2,07

Tab. 6.4 VRS jsou body určené pomocí VRS, LIB jsou body určené pomocí referenční stanice Liberec, d je diference určené polohy bodu od polohy bodu dané GÚ

Z tabulky je zajímavý údaj u bodu 08230120. Jeho určení oběma metodami výrazněji přesahuje svou diferencí hodnoty u ostatních bodů. To může vést k domněnce, zda jsou dané souřadnice z GÚ bodu v systému ETRS správně určeny.

6.5 Posouzení přesnosti GPS měření pomocí terestrických měření

Pro posouzení přesnosti určené polohy GPS bodů v systému ETRS jsou použity terestricky přímo měřené délky mezi zhušťovacími body ŽPBP a jejich orientačními body. Protože jde o posouzení přesnosti v systému ETRS, nejsou určené body a délky mezi nimi měřené porovnávány v systému S-JTSK, protože při transformaci do tohoto systému dochází k deformaci polohově určené sítě. Byla proto hledána jiná vhodná zobrazovací rovina, kde by bylo možné měřené délky s délkami vypočtenými z určených souřadnic porovnat.

Zvoleno bylo Univerzální transversální Mercatorovo válcové zobrazení (UTM), které je definováno na elipsoidu WGS84. My ale máme souřadnice určeny v systému ETRS. Je proto nutné provést transformaci souřadnic nejprve z ETRS do systému WGS84 a pak teprve provést zobrazení do roviny. Celá tato procedura má oproti transformaci z ETRS do S-JTSK výhodu přesně definovaných matematických vztahů pro jednotlivé etapy transformace.

Nejprve je nutné vyřešit transformaci z ETRS do WGS84. Je nutné si uvědomit, že ETRS je definován evropským terestrickým referenčním rámcem ETRF, který je identický s realizací ITRF epochy 1989. Systém WGS84 je naopak identický s realizací ITRF epochy 2000. Z [18] jsem získal parametry pro 7-prvkovou Helmertovu podobnostní transformaci mezi ITRF epochy 1989 a ITRF epochy 2000. Pomocí této transformace tedy budou transformovány zeměpisné souřadnice ze systému ETRS do systému WGS84.

Zobrazení ze systému WGS84 do roviny zobrazení UTM je provedeno pomocí upravených zobrazovacích řad Gaussova zobrazení. Tato úprava spočívá v přenásobení pravých stran zobrazovacích rovnic měřítkem 0,9996, což odpovídá zobrazení UTM v 6° pásech.

Samotná realizace převodu zeměpisných souřadnic ETRS do rovinného systému zobrazení UTM je popsána v komentovaném skriptu pro programové prostředí Matlab.

```
%program pro prevod souradnic z ETRS do roviny UTM
format long g;
disp '-----'
disp 'puvodni souradnice ETRS-89'
h=312.35; %elipsoidicka vyska
```

```

dms=[50 51 15.5962
     14 50 53.0853];%zemepisna sirka a delka v ETRS
d=dms(:,1);
m=dms(:,2);
s=dms(:,3);
deg=abs(d)+abs(m)/60+abs(s)/3600; %prevod na desetinnou miru
ind=(d<0 | m<0 | s<0);
deg(ind)=-deg(ind);
lat=deg(1);
lon=deg(2);
lat=lat*pi/180; %prevod na radiany
lon=lon*pi/180;

e2=0.006694379990141; %parametry elipsoidu WGS84
a=6378137;
v=a/sqrt(1-e2*sin(lat)*sin(lat)); %prevod zemepisnych souradnic na kartezske
x=(v+h)*cos(lat)*cos(lon);
y=(v+h)*cos(lat)*sin(lon);
z=(v*(1-e2)+h)*sin(lat);
disp '-----'
disp 'ITRF2000 podle tabulek - 7prvkova Helmertova prostorova transformace'
XYZ=[x
     y
     z];
R=[-0.00000000585 0 0
    0 -0.00000000585 0
    0 0 -0.00000000585]; %rotacni matice, na hlavni diagonale zmena meritka
T=[-0.0297
    -0.0421
    0.0865]; %vektor posunu
disp 'souradnice geocentricke na elipsoidu WGS84(ITRF-2000)'
xyz=XYZ+T+R*XYZ;
X=xyz(1);
Y=xyz(2);
Z=xyz(3);
%prevod geocentrickych souradnic na zemepisne
elat=1.e-12;
eht=1.e-5;
p=sqrt(X*X+Y*Y);
lat=atan2(Z,p/(1-e2));
h=0;
dh=1;

```

```

dlat=1;
while sum(dlat>elat) | sum(dh>eht)
    lat0=lat;
    h0=h;
    v=a/sqrt(1-e2*sin(lat)*sin(lat));
    h=p/cos(lat)-v;
    lat=atan2(Z, p*(1-e2*v/(v+h)));
    dlat=abs(lat-lat0);
    dh=abs(h-h0);
end
lon=atan2(Y,X);
fi=lat*180/pi;
la=lon*180/pi;
%UTM(x,y, zona 33N) la, fi urceny ve WGS84 z transformace ETRS89->ITRF2000

dla=la-15; %15 stredni polednik pasu
dla=dla*pi/180;
fi=fi*pi/180;
a=6378137; %parametry elipsoidu WGS84
b=6356752.31425;
n=0.001679220386384;
e2=0.006694379990141;
N=a/(sqrt(1-e2*(sin(fi))^2)); %pricny polomer krivosti
M=a*(1-e2)/(sqrt(1-e2*(sin(fi))^2))^3; %meridianovy polomer krivosti
n2=0.006739496742276*(cos(fi))^2;
t=tan(fi);

B0=1+n^2/4+n^4/64;
B2=-3*n/2+3*n^3/16;
B4=15*n^2/16-15*n^4/64;
B6=-35*n^3/48;
B8=315*n^4/512;
%delka oblouku meridianu od rovníku k fi
B=(a+b)/2*(B0*fi+(B2*sin(2*fi)+B4*sin(4*fi)+B6*sin(6*fi)+B8*sin(8*fi)));
%zobrazovací rovnice do UTM
xutm=0.9996*(B+((dla^2*N*sin(fi)*cos(fi))/2)*(1+(dla^2*(cos(fi))^2*(5-
t^2+9*n2+4*n2^2))/12+(dla^4*(cos(fi))^4*(61-58*t^2+t^4+270*n2-
330*n2*t^2))/360))
yutm=500000+0.9996*(dla*N*cos(fi)+(dla^3*N*(cos(fi))^3*(1-
t^2+n2))/6+(dla^5*N*(cos(fi))^5*(5-18*t^2+t^4+14*n2-58*n2*t^2+13*n2^2+4*n2^3-
64*t^2*n2^2-24*t^2*n2^3))/120)
%vypocet redukce delek
Rr=sqrt(M*N);
m=0.9996*(1+(yutm-500000)^2/(2*Rr^2)+(yutm-500000)^4/(24*Rr^4))

```

Délky pro porovnání byly spočítány z rovinných souřadnic systému zobrazení UTM a pro představu také ze souřadnic S-JTSK. Všechny měřené délky byly opraveny o redukci ze zobrazení do nulového horizontu a o redukci ze zobrazení. Tím byly tyto délky připraveny pro porovnání, které je shrnuto v tab.6.5.

odkud	kam	dutm m [m]	dutm adj [m]	dutm mer [m]	delta m [mm]	delta adj [mm]	ds-jstk [m]	ds-jstk mer [m]	delta [mm]	urč. délky
3060	3061	498,3651	498,3682	498,3643	0,8	3,9	498,5905	498,5870	3,6	4
3070	3071	249,3504	249,3483	249,3496	0,8	1,3	249,4592	249,4611	1,9	5
3080	3081	181,6325	181,6334	181,6186	13,9	14,8	181,7147	181,6997	15,0	6
3090	3091	400,1903	400,1879	400,1850	5,3	2,9	400,3680	400,3638	4,2	6
3140	3141	361,2222	361,2225	361,2144	7,8	8,1	361,3848	361,3756	9,2	8
3150	3151	212,6365	212,6359	212,6340	2,5	1,9	212,7310	212,7289	2,1	8
3160	3161	208,5900	208,5930	208,5860	4,0	7,0	208,6865	208,6791	7,4	8
3190	3191	242,1465	242,1469	242,1433	3,2	3,7	242,2560	242,2514	4,5	8
3200	3201	259,7265	259,7267	259,7320	5,5	5,3	259,8439	259,8477	3,8	4

Tab. 6.5 uvedeno je odkud a kam je měřena délka, „dutm m“ je délka spočítaná ze souřadnic v rovině zobrazení UTM a vstupní souřadnice byly určeny v programu SKI-Pro váženým průměrem, „dutm adj“ je délka spočítaná ze souřadnic v rovině zobrazení UTM a vstupní souřadnice byly určeny v programu SKI-Pro vyrovnáním, „dutm mer“ je délka měřená a zredukovaná, „delta m“ je rozdíl „dutm m“ a „dutm mer“, obdobně i „delta adj“, „ds-jstk“ je délka spočtena z určených souřadnic v S-JTSK, „ds-jstk mer“ je délka měřená a zredukovaná, „urč. délky“ znamená, kolikrát byla délka určena dálkoměrem

Přesnost měření délky pomocí totální stanice Geodimeter 510 N lze odhadnout hodnotou 3mm + 3ppm. Pro dané měřené délky lze pak vyjádřit přesnost měření délky hodnotou 3,5 – 4,5 mm. Na bodě 3080 je odchylka největší a dosahuje až 1,5 cm. Dále je vidět, že hodnoty určené váženým průměrem a hodnoty určené vyrovnáním sítě, vykazují v tomto testu dobrou konzistenci v řádu 0,5 – 3mm. Odchyly řešení v ETRS se překvapivě příliš neliší od odchylek určených v S-JTSK.

6.6 Transformace výsledku zpracování GPS měření do systému S-JTSK

Obecně lze konstatovat, že transformace výsledků z ETRS do S-JTSK je znehodnocení přesných měření. Toto znehodnocení je zejména způsobeno místními deformacemi systému S-JTSK.

Pro transformaci je možné použít lokální či globální klíč. Globální klíč je vzhledem k požadované přesnosti určovaných bodů nepřijatelný. Lokální klíč je počítán pomocí 7-prvkové Helmertovy podobnostní transformace z minimálně 3 připojovacích

bodů, které mají určeny souřadnice v systému S-JTSK a zároveň v systému ETRS. Tuto podmínku splňují pouze body sítě DOPNUL a trigonometrické body vybrané údržby.

Podle [1] by měla být průměrná vzdálenost sousedních připojovacích bodů menší než 5 km. V tomto konkrétním projektu je konfigurace použitých připojovacích bodů taková, že žádná vzdálenost mezi identickými body tuto podmínku nesplňuje. Nejmenší vzdálenost je 5,29 km a nejdelší naopak 16,5 km. Splněna ovšem není ani podmínka, aby vzdálenost sousedních připojovacích bodů nepřesahovala vzdálenost 8 km. Podmínka, aby všechny určované body ležely uvnitř obvodového polygonu tvořeného připojovacími body je splněna. Závěrem lze říci, že připojovací body použité v technické zprávě k bodovému poli nesplňují podmínky podle [1] a výsledky projektu by tedy nemohly být převzaty ČÚZK.

Vzhledem k podmínkám v [1] by bylo vhodné, aby byly co nejdříve zveřejněny souřadnice v ETRS u zhušťovacích bodů, které byly určeny GPS a mají toto uvedeno v GÚ. Znamenalo by to ušetření práce měřičů, kteří by tak tyto body nemuseli sami pro své lokální klíče určovat v systému ETRS, když už toto před nimi někdo provedl.

Do budoucna bude vzhledem k dalšímu rozvoji GPS technologií dobré provést zamýšlenou modernizaci S-JTSK na systém S-JTSK/95, který má obsahovat jednoznačně definované matematické vztahy pro převod mezi systémem ETRS a S-JTSK/95.

7 Závěr

Hlavním cílem práce bylo posouzení přesnosti určení polohy bodů zaměřených technologií GPS. Jednak jsem stanovil postup, jak hodnotit výsledky v návaznosti na požadavky právních předpisů, které jednoznačně nedefinují tyto požadavky pro univerzální použití, pokud tuto přesnost posuzuji z více určených vektorů a dále jsem se pokusil provést zapojení terestrických měření do procesu posuzování přesnosti. Tato metoda by mohla sloužit jako doplněk odstranění nejistot v určení polohy bodu, které vznikají při zpracování měření.

Při aplikaci mnou navržených postupů hodnocení přesnosti určení polohy bodu na konkrétní projekt jsem došel k závěru, že metodika měření, používaná Středisky železniční geodézie, odpovídá požadované přesnosti určovaných bodů. Metodika však neodpovídá platným rezortním předpisům ČÚZK. Některá ustanovení těchto předpisů nejsou při postupech dodržena. Pro zvýšení důvěryhodnosti určení polohy výsledných bodů doporučuji zejména dodržovat minimální intervaly určení dvou nezávislých vektorů.

Zajímavou částí práce je podle mého názoru posouzení přesnosti použití sítě permanentních referenčních stanic CZEPOS. Masivní použití této sítě by pomohlo urychlit některé zeměměřické práce a zefektivnit jejich hospodárnost. Použití referenční stanice, v tomto konkrétním případě Liberec, se ukázalo být vhodným nástrojem pro budování těchto polohových polí. Otázkou je, jak by se vyvíjela vhodnost použití při délce vektorů větších než 20 km. Použití virtuální referenční stanice se naopak ukázalo za hranicí sítě jako nevhodná metoda pro tyto přesné práce. Výsledky VRS ale budou pravděpodobně dosti jiné při použití uvnitř sítě CZEPOS.

Domnívám se, že cíle práce se podařilo naplnit. Zároveň ale dodávám, že se jedná o problematiku velice širokou a proto jsem se nemohl všem oblastem věnovat do větší hloubky problému, ač bych rád.

8 Použitá literatura

- [1] Vyhláška ČÚZK č. 31/95 Sb., ve znění pozdějších novel, kterou se provádí zákon č. 200/94 Sb.
- [2] Zásady modernizace vybrané železniční sítě Českých drah, schválené dne 16. 6. 1993, č.j.: 1/93-O21, příloha č. 3 Dodatku (č.j.:138/94-O7) - Specifikace geodetických podkladů pro přípravnou dokumentaci stavby
- [3] Technické kvalitativní podmínky staveb Českých drah schválené VŘ DDC č.j. TÚDC-15036/2000 ze dne 18.10.2000, v platném znění
- [4] Pravidla ČÚZK pro přejímání a hodnocení výsledků určení bodů PPBP a podrobných bodů technologií GPS ze dne 20. 1. 2004
- [5] Technologický postup pro revizi a zřizování zhušťovacích bodů, Český úřad zeměměřický a katastrální, Praha, 1997
- [6] Sborník referátů – Vývoj metod a technologií GPS v geodézii, ECON publishing, s.r.o., Brno, 2005
- [7] Výklad „Pravidel ČÚZK pro přejímání a hodnocení výsledků určení bodů podrobného polohového bodového pole a podrobných bodů technologií GPS“, ČÚZK, Praha, 2004
- [8] Výzkumná zpráva č. 1036/2002, VÚGTK
- [9] Novák, Z., Procházka, J. – Inženýrská geodézie 10, Nakladatelství ČVUT, Praha 1998
- [10] Švábenský, O. – Aplikace astronomických a družicových metod v inženýrské geodézii, Vutium, Brno 2005
- [11] Nařízení vlády č. 116/1995 Sb.
- [12] <http://czepos.cuzk.cz>
- [13] Sborník referátů – Družicové metody v geodézii, ECON publishing, s.r.o., Brno, 2006
- [14] Zeměměřič č. 1+2/2006, str. 8
- [15] Bureš, J., Švábenský, O., Weigel, J. – Některé problémy spolehlivosti určování polohy GPS, Zeměměřič č. 4/2004
- [16] vyhláška č. 190/1996 Sb.
- [17] kolektiv autorů – Geodetické referenční systémy v ČR, VÚGTK, 1998
- [18] Altamini, Z - Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign
- [19] Cimbálník, M., Mervart, L. – Vyšší Geodézie 1, Vydavatelství ČVUT, Praha, 2002
- [20] GPS systém 500, Stručný uživatelský manuál, GEFOS, a.s., Praha

Obsah přiloženého CD

DV_dp.pdf (text diplomové práce)

hradek332jtsk.txt (výsledné souřadnice)

rezidua2.doc (protokol transformace ETRS – S-JTSK)

hradek33.txt (protokol z vyrovnání sítě vektorů - určenou z bodů vybrané údržby)

hradek33lib.txt (protokol z vyrovnání sítě vektorů - určenou z ref. stanice CZEPOS Liberec)

hradek33vrs.txt (protokol z vyrovnání sítě vektorů - určenou z virt. ref. stanice)

liberec.html (protokol určených vektorů sítě, k hradek33lib.txt)

vrs.html (protokol určených vektorů sítě, k hradek33vrs.txt)

hradek33.html (protokol určených vektorů sítě, k hradek33.txt)

obsah_cd.txt