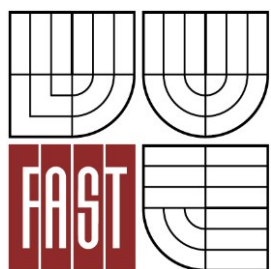




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

URČENÍ PŘETVOŘENÍ ŽELEZNIČNÍHO SVRŠKU DEFORMATION SURVEYING OF RAILWAY TRACK

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. PETER ŠTRBA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. OTAKAR ŠVÁBENSKÝ, CSc.

BRNO 2014

Prehlásenie:

Prehlasujem, že som diplomovú prácu spracoval samostatne a že som uviedol všetky
požité informačné zdroje

V Brně dňa 30.5.2014

.....
podpis autora
Bc. Peter Štrba

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu mojej diplomovej práce prof. Ing. Otakar Švábenský, CSc. za jeho odpornú pomoc a vedenie pri spracovávaní tejto práce. Za poskytnutie všetkých potrebných údajov a vecných rád.

Ďakujem svojim kolegom Bc. Bolek Staněk a Bc. Zbyněk Suchánek, za asistenciu pri meraniach a údaje potrebné k porovnaniu výsledkov a presností.

Za odbornú pomoc pri realizácii meraní ďakujem taktiež Ing. Františkovi Soukupovi.

V neposlednej rade ďakujem svojej mame, že mi umožnila štúdium na tejto škole a podporovala ma aj v ťažkých situáciách.

V Brně, dňa 30.05.2014

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Peter Štrba *Určení přetvoření železničního svršku*. Brno, 2014. 62 s., 10 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce prof. Ing. Otakar Švábenský, CSc.

Abstrakt

Ako cieľ mojej práce je určenie posunov a deformácií osi železničnej koľaje na mostných objektoch v Zábřehu na Moravě a v Břeclavi. Jedná sa o mosty s veľkými dilatačnými dĺžkami, preto je treba sledovať pohyby koľají v závislosti na klimatických podmienkach. Celé meranie a spracovanie prebieha s použitím metód GPS. Výsledkom mojej práce sú zistené preukázané posuny. Jedným z cieľov práce je porovnanie posunov a presnosti mnou použitou metódou a klasickými geodetickými metódami

Klíčová slova

železničný zvršok, meranie posunov, spracovanie GPS merania, Stop&Go metóda

Abstract

The aim of this diploma thesis is to specify the displacement and deformations of the railway tracks axis on bridge structures in cities of Zábřeh na Moravě and Břeclav. The bridge structures covered have great dilatation distances, therefore it is necessary to monitor the movements of the railway tracks depending on climatic conditions. GPS methods have been used throughout the whole measurement and data processing. The result includes also a comparison of GPS and conventional methods. The result of the thesis is a detection of proven displacements. One of the goals of the thesis is the comparison of the displacements and the accuracy using the method chosen by author of the thesis and using classical geodetic methods.

Keywords

railway superstructure, deformation surveying, GPS data processing, Stop&Go method

Obsah

Úvod	7
1. LOKALITY MERANIA.....	9
1.1 Železničný most Zábřeh na Moravě	9
1.2 Železničný most Břeclav.....	10
2. MERANIE POSUNOV A DEFORMÁCIÍ.....	12
2.1 Projekt merania posunov.....	12
2.2 Základné pojmy a požiadavky.....	13
2.3 Druhy posunov	14
2.4 Presnosť merania posunov a deformácií.....	14
3. METÓDY MERANIA POSUNOV A DEFORMÁCIÍ.....	16
3.1 Metódy merania zvislých posunov	16
3.2 Metódy merania vodorovných posunov.....	17
4. URČOVANIE POLOHY POMOCOU DRUŽICOVÝCH SYSTÉMOV	19
4.1 Globálne navigačné systémy	19
4.1.1 Systém NAVSTAR GPS	19
4.1.2 Systém GLONASS.....	19
4.1.3 Systém GALILEO.....	20
4.2 Metódy merania polohy pomocou GPS.....	20
4.2.1 Absolútne určovanie polohy	21
4.2.2 Relatívne určovanie polohy	21
4.3 Výber metódy	23
4.4 Metóda Stop & Go.....	24
4.5 Presnosť určovania polohy pomocou GPS	25
5. POPIS PROGRAMU LEICA Geo Office	27
6. PRIEBEH A SPRACOVANIE MERANIA.....	28
6.1 Meranie	29
6.2 Spracovanie meraní	32
7. VYHODNOTENIE VÝSLEDKOV	35
7.1 Vyhodnotenie posunov bodov na železničnej koľaji.....	35
7.1.1 Sledovaná koľaj v Zábřehu na Moravě	35
7.1.2 Sledovaná koľaj v Břeclavi.....	41
7.2 Porovnanie posunov a presností.....	54
Záver	58
Zoznam použitej literatúry	60

Zoznam použitých skratiek	61
Zoznam príloh	62

ÚVOD

Satelitné navigačné systémy sa vyvíjajú už od 70-tych rokov minulého storočia. Ich využívanie bolo spočiatku určené hlavne na vojenský účely. S postupom času, ako sa elektronika a systémy vyvíjajú, vyvíjajú sa aj rôzne satelitné systémy a metódy na určovanie polohy. V súčasnosti sú satelitné systémy tak vyspelé, že poskytujú množstvo aplikácií na riešenie akýchkoľvek geodetických úloh s dostatočnou presnosťou.

V tejto záverečnej práci sa zaoberáme práve jednou z aplikácií družicových metód v inžinierskej geodézii a tou je určovanie posunov. Práca sa zaoberá určením posunov a pretvorení osi železničnej koľaje na dvoch sledovaných lokalitách. Jednou z lokalít je železničný most v Břeclavi, kde sa sledujú posuny ako nosnej konštrukcie, tak samotného železničného zvršku. Druhá lokalita je v Zábřehu na Moravě. Jedná sa opäť o železničný most, ktorý sa nachádza neďaleko od stanice a sleduje sa rovnako železniční zvršok a samotná konštrukcia.

Oba tieto mostné objekty prešli pred pár rokmi komplexnou rekonštrukciou s osadením nových zabezpečovacích zariadení, nového železničného zvršku a opravy mostnej konštrukcie. Výsledky z meraní a spracovania slúžia ako podklad na vytvorenie pripravovanej národnej prílohy ČSN EN 1991 – 2 *Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů* a pre aktualizáciu tabuľky prípustných dilatačných dĺžok predpisu SŽDC S3“*Železniční svršek, Díl XII*“. Merania prebiehajú v spolupráci s Ústavem železničních konstrukcí a staveb pri VUT v Brně.

Hlavným cieľom tejto práce je teda určenie posunov železničného zvršku v rôznych klimatických podmienkach pre kontrolu chovania koľají s veľkými dilatačnými dĺžkami. Požiadavkou je spracovanie a zhodnotenie presnosti merania a vhodná interpretácia výsledkov. Vzhľadom k súčasne prebiehajúcej určovaniu posunov klasickými metódami je jedným z cieľov práce taktiež porovnanie oboch použitých metód a zhodnotenie možnosti a výhodnosti ich použitia.

Vlastnú prácu som rozdelil do siedmich kapitol. V prvej kapitole sa v práci venujem sledovaným lokalitám merania. Samotnému zoznameniu s nimi, ich okolím a podmienkami, ktoré na lokalitách panujú.



Kapitoly dva a tri sú venované problematike posunov. Tu sa čitateľ oboznámi o základných znalostiach ohľadne merania a určovania posunov. Vo štvrtej kapitole sa práca zaoberá satelitnými systémami. Postupne sú v nej rozobrané jednotlivé družicové systémy, metódy ako sa za ich pomoci určujú polohy bodov a v neposlednom rade informácie o presnosti týchto metód. Poslednou časťou zaoberajúcou sa teóriou je práve piata kapitola, kde sa v krátkosti zoznámime s programom na spracovanie meraní.

V kapitolách šesť a sedem sa nachádza praktická časť tejto práce. Popisujeme tu metodiku merania a spracovania nameraných dát. Následne zo spracovaných dát určujeme a vyhodnocujeme posuny meraných bodov číselnou i grafickou interpretáciou. V poslednej časti siedmej kapitoly je porovnanie výsledkov určenia posunov metódou GPS s klasickými geodetickými metódami použitými na sledovaných lokalitách. V závere práce som zhrnul dosiahnuté výsledky a skutočnosti.

1. LOKALITY MERANIA

Úlohou tohto merania je zameranie posunov železničného zvršku na mostoch s veľkými dilatačnými dĺžkami. Meranie prebieha na základe požiadavky „Správy železniční dopravní cesty, státní organizace“ na „Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební“ v zastúpení kontaktnej osoby pre vecné jednania doc. Ing. Ottom Pláškom, Ph.D.. Predmetom riešenia je sledovanie a vyhodnocovanie interakcie mostov a koľají s cieľom stanoviť podklady pre pripravovanú národnú prílohu ČSN EN 1991-2 a pre aktualizáciu tabuľky prípustných dilatačných dĺžok predpisu SŽDC S3 „Železniční svršek, Díl XII“. [8]

Na základe predmetnej požiadavky bol Ústav geodézie požiadaný Ústavom železničných konštrukcií a stavieb VUT v Brně o spoluprácu pri monitoringu. Úlohou je určiť v jednotlivých etapách posuny a deformácie železničného zvršku geodetickými metódami. Ústav geodézie sa podieľa na sledovaní železničných mostov v Zábřehu na Moravě a v Břeclavi.

1.1 Železničný most Zábřeh na Moravě

Sledovaný objekt sa nachádza na trati Zábřeh na Moravě – Šumperk, ktorá je v miestnych podmienkach pokračovaním hlavnej trate v smere od Olomouca. Táto trať bola spustená do prevádzky 1.10.1871. V roku 2009 prešla trať rekonštrukciou, ktorá



Obr. 1.1 Pohľad na most v smere do stanice Zábřeh na Moravě

spočívala v rekonstrukci vlastní koľajovej dráhy, mostných objektov a v elektrifikácii trate. [10]

Naše meranie prebiehalo na jednokoľajovom železničnom moste („Sázavský most“), ktorý sa nachádza v km 0,206 TU 1931 Zábřeh na Moravě – Bludov. Geodetické práce boli zahájené v apríli 2013.

Most sa nachádza v blízkosti železničnej stanice a je v pravostrannom oblúku. Dĺžka meraného úseku je 106m, pričom dĺžka sledovanej mostovky je 56m. Jedná sa o za sebou idúce tri plnostenné oceľové nosné konštrukcie s prvkovou otvorenou mostovkou uložené na oceľových valcových a vahadlových ložiskách. [8]

1.2 Železničný most Břeclav

Sledovaný objekt tvorí päťkoľajový most cez rieku Dyje, ktorý sa nachádza v km 82,467 traťového úseku TU 2401 Hohenau – Přerov. Týmto mostovým objektom prechádzajú spolu tri trate a to trať Hohenau – Přerov, trať číslo 250 Havlíčkův Brod – Kúty (1. železničného koridoru) a trať číslo 246 Břeclav – Znojmo. Most sa nachádza v železničnom uzle Břeclav, kde sa križujú Pan-európske koridory č. IV a VI. Jednotlivé trate tu vznikali postupne. V roku 1967 prebehla elektrifikácia tratí Břeclav – Kúty a Břeclav – Hohenau. Vzhľadom k zastaraným technologickým zariadeniam a vysokým nárokom na túto trať došlo v rokoch 2008-2010 k rekonstrukcii železničného uzla Břeclav.



Obr. 1.2. Pohľad na most pri stanici Břeclav spojený s pohľadom z mapy (vľavo hore). Pohľad je proti smeru staničenia

Na obrázku 1.2. vidíme sledovaný mostný objekt, pričom prvá koľaj sprava je predmetom geodetického merania.[11]

Sledovaný objekt bol po rekonštrukcii uvedený do prevádzky koncom roka 2009. Mostný objekt tvoria celkom tri mostné konštrukcie, každá ako spojitý nosník s piatimi poliami. Nosné konštrukcie sú oceľové s priebežnými koľajovými lôžkami. Sledovaná je krajná koľaj na mostnom objekte, na nosnej konštrukcii pre dve koľaje. Ide i koľaj, ktorá je súčasťou trate Břeclav – Znojmo. Celková dĺžka nosnej konštrukcie je 80,3m. [8]

2. MERANIE POSUNOV A DEFORMÁCIÍ

Posuny a deformácie stavebných objektov sa určujú rôznymi fyzikálnymi metódami, medzi ktoré patria aj geodetické metódy. Geodetické metódy merania posunov a deformácií predstavujú jedny z najnáročnejších aplikácií klasických a moderných meračských postupov s ohľadom na požadovanú vysokú presnosť a spoľahlivosť výsledkov. Posunom sa rozumie zmena polohy stavebného objektu, alebo jeho časti, oproti základnej polohe, zatiaľ čo deformácia je zmena tvaru oproti tomu pôvodnému. [3]

Meranie prebieha spravidla vo viacerých etapách, pričom výsledky sa porovnávajú s prvou, tzv. nultou etapou. Nultou etapou sa rozumie stav stavebného objektu pri jeho zavedení do prevádzky, poprípade stav pri prvom zameraní. Preto je potrebné, aby bola nultá etapa merania spracovaná s čo najväčšou presnosťou. Ďalšie etapy merania sa vyhotovujú na základe vypracovaného projektu. [2]

2.1 Projekt merania posunov

Pre každý stavebný objekt alebo jeho časť, na ktorom majú prebiehať merania posunov a deformácií, sa vypracuje projekt merania posunov. Pri viacerých objektoch v rámci jedného sledovaného komplexu sa vypracuje spoločný projekt. V projekte sa uvádzajú hlavne:

- a) účel, význam a druh merania,
- b) údaje o geologických a hydrogeologických vlastnostiach podložia, poprípade ďalšie hydrologické údaje prevzaté z projektovej dokumentácie,
- c) údaje o spôsobe založenia objektu, funkcie a zaťažovací postup stavebnej konštrukcie,
- d) hodnoty očakávaných teoretických posunov a deformácií v závislosti na čase,
- e) potrebné presnosti merania,
- f) návrh metódy merania so stručným rozborom presností,
- g) druh, počet a rozmiestnenie meračských značiek sledovaných bodov, spolu s harmonogramom ich osadenia a ochrane proti poškodeniu,
- h) časový plán merania (rozvrhnutie jednotlivých etáp),
- i) spôsob spracovania výsledkov, ich interpretácia a lehoty odovzdávania predbežných, ako i záverečnej správy,

- j) rozpočet nákladov na vybudovanie meracích zariadení, materiálové náklady a náklady na uskutočnenie a vyhodnotenie meraných posunov [2]

2.2 Základné pojmy a požiadavky

Stavebné objekty môžu na základe vonkajších vplyvov vykazovať nestabilitu priestorovej polohy. Vo väčšine prípadov sú to zmeny zaťaženia základovej pôdy, dynamické účinky, kolísanie hladiny spodnej vody, seizmická činnosť a iné. Pritom sa objekt posunuje ako celok, mení sa jeho tvar, alebo dochádza ku kombinácii oboch javov. Z dôvodu, že sa tak môže porušiť bezpečná funkcia stavebných konštrukcií sú tieto účinky nežiadúce. Je teda potreba ich časový vývoj sledovať a určovať opakovaným meraním.

Účelom merania posunov je získať informácie o veľkosti zmien a rýchlosti ich vývoja. Tieto údaje sú potrebné k návrhu pre vytvorenie opatrení na obnovenie bezpečnej funkcie objektov. Hlavné zásady a požiadavky na tieto merania upravuje technická norma ČSN 73 0405.

Najčastejšie sa pri posunoch stretávame s týmito pojmami:

- deformácia – zmena tvaru stavebného objektu alebo jeho časti oproti tvaru v základnej alebo predchádzajúcej etape merania
- náklon – odchýlenie od zvislice
- pootočenie – uhlová odchýlka od obecné položenej osi otáčania
- zosuv, zdvih – zvislý posun smerom dole, alebo hore
- priehyb, ohyb – deformácia konštrukcie objektu v smere kolmom na prevládajúci smer
- pozorovaný bod – bod osadený na sledovanom objekte, ktorý slúži na určovanie posunov alebo deformácií. Poloha a hustota sa volí tak, aby bolo možné určiť posuny a pretvorenia pozorovaného stavebného objektu.
- vzťažný bod – zväčša polohovo a výškovo určený bod, ktorý je súčasťou vzťažnej sústavy, vzhľadom ku ktorej sa sledujú posuny. Jeho poloha sa volí mimo sledovaného objektu a súčasne v oblasti mimo vplyvov, ktoré by mohli priamo ovplyvniť jeho stabilitu.

- vztažná soustava – soubor vybraných bodů, které jsou ve vzájemném matematickém vztahu. K této soustavě se vztahuje prostorová poloha měřených bodů, posuny nebo přetvoření pozorovaných objektů v daných etapách měření.
- základní etapa – počáteční (nulová) etapa měření, vzhledem ke které jsou počítány posuny a přetvoření
- etapové měření – opakované měření sítě vztažných a určených bodů v určeném časovém intervalu [4]

2.3 Druhy posunů

Posuny staveb se všeobecně rozdělují na vodorovné a zvislé, případně na prostorové posuny sledovaných bodů. Z hlediska soustavy, ke které se posuny vyjadřují, mohou být posuny absolutní nebo relativní.

Vodorovný posun znamená vodorovnou složku posunu pozorovaného bodu. V pravouhlej vztažné soustavě se udává složkami Δx a Δy .

Zvislý posun vyjadřuje zvislou složku posunu pozorovaného bodu. Zvyčajne sa označuje ako Δz alebo Δh . Sadaním sa označuje zvislý posun smerom dole; zdvíhanie je naopak posun smerom hore.

Pri meraní deformácií inžinierskych stavieb a pri meraní dynamiky zosuvov pozorované body zväčša zaznamenávajú zmenu v priestorovej polohe, ktorá sa označuje zložkami Δx , Δy , a Δz .

Absolutný posun je posun vztahující se na vztahnou soustavu. Na určení absolutních posunů je potřebné ve vztahné soustavě měřit nejméně dvě nadbytočné veličiny, aby sme mohli vykonať vyrovnání.

Relativní posun je posun vyjadrený vzhľadom na relatívnu vztažnú sústavu, alebo vztažný bod. Udáva vzájomné zmeny v polohe jednotlivých konštrukčných častí objektu. [1]

2.4 Presnosť merania posunov a deformácií

Požadovaná presnosť je daná normou ČSN 73 0405, pričom sa rozlišuje, či ide o novostavbu alebo o už existujúci objekt. Presnosť merania je charakterizovaná hodnotou

meznej odchýlky merania δ_1 , ktorá je pri meraní nových stavebných objektov závislá na hodnote p očakávaného celkového teoretického posunu

$$\delta_1 \leq \frac{2}{15} p$$

Pri meraní posunov existujúcich objektov je požadovaná medzná odchýlka daná

$$\delta_2 \leq \frac{2}{5} p_k$$

kde p_k je hodnota kritického posunu, pri dosiahnutí ktorého by mohlo prísť k ohrozeniu funkcie pozorovaného objektu.

Pre získanie spoľahlivých výsledkov pri určovaní posunov je potrebné overovať stabilitu vzťahnej sústavy medzi jednotlivými etapami merania. To sa deje overovaním stálosti polohy jednotlivých vzťahných bodov. Pri jednoduchých meraniach posunov menšieho rozsahu sa tak deje meraním najmenej dvoch nadbytočných prvkov vo vzťahnej sústave, zatiaľ čo pri rozsiahlejších objektoch alebo pri objektoch s vysokou funkčnou závažnosťou testovaním výsledkov vyrovnáním siete vzťahných bodov.

V odôvodnených prípadoch je možné posudzovať presnosť výsledkov geodetických meraní podľa empirickej hodnoty úplnej strednej chyby m , ktorú určujeme podľa vzťahu

$$m = \sqrt{\eta^2 + \sum m_r^2}$$

kde η je empirická stredná náhodná chyba posunu, vyjadrujúca strednú chybu rozdielu funkcií priamo meraných veličín medzi vyhodnocovanými etapovými meraniami (vnútorná presnosť merania),

m_r sú empirické stredné systematické chyby posunu, zahŕňajúce vplyv vonkajších podmienok merania. [2]

3. METÓDY MERANIA POSUNOV A DEFORMÁCIÍ

V zásade rozdeľujeme metódy meranie posunov na geodetické a negeodetické. V prípade geodetických metód môžeme na meranie posunov a deformácií v podstate použiť akúkoľvek geodetickú metódu merania. Pre voľbu metódy merania posunov a deformácií však musíme vždy použiť takú metódu, ktorá nám zabezpečí dosiahnutie požadovanej presnosti merania s prihliadnutím na jednotlivé možnosti. Pri rôznych druhoch stavebných objektov nie je možné použiť akúkoľvek metódu. Merania sa často vykonávajú za plnej prevádzky, napríklad pri líniových stavbách, kde je potreba meranie vykonať dostatočne rýchlo, no i s predpísanou presnosťou, ktoré zabezpečí odmeranie hodnôt takých posunov, ktoré sú z hľadiska deformácie objektu významné.

V zásade určujeme dva druhy posunov, a to vodorovné a zvislé posuny. Merania zvislých a vodorovných posunov sú rozdielne ako v použitých metódach, prístrojoch, tak i v časovej náročnosti, v spôsobe a stabilizácii bodov ako i vytváraní vzťažnej sústavy. [6]

3.1 Metódy merania zvislých posunov

Vzhľadom k tomu, že sa jedná o veľmi presné geodetické merania, je potrebné správne definovať požadovanú presnosť, rozsah merania ako i frekvenciu jednotlivých etáp merania. Meranie zvislých posunov je teda možné uskutočniť:

- Metódou geometrickej nivelácie

Je jednou z najčastejších metód merania zvislých posunov, práve vo variante veľmi presnej nivelácie alebo presnej nivelácie. Princíp použitia metódy je všeobecne známy, pri meraní posunov a deformácií je potreba striktné dodržiavať všetky technologické postupy. V prípade nutnosti nivelovať s rôznymi dĺžkami zámer, je potrebné zavádzať opravy zo sklonu horizontu prístroja. Meraním je možné určiť výškové zmeny rádovo 0,2 mm.

- Trigonometrické výškové meranie

Táto metóda je založená na opakovanom meraní vodorovných vzdialeností a zvislých uhlov z pevných stanovísk so zariadením pre nútenú centráciu. Používajú sa prístroje s vyššou triedou presnosti, ktoré musia byť dobre rektifikované. Zvislé posuny sa odvodzujú z algebraických rozdielov zvislých uhlov medzi etapami merania. Vzhľadom k tomu, že sa na meranie používajú aj uhlomerné prístroje je možné touto

metódou určovať celkové posuny priestorovej polohy. Sledované body musia byť dobre signalizované a na základe dĺžky sledovania aj dostatočne kvalitne stabilizované. Skúsenosti z praxe ukazujú, že je možné pri dĺžkach zámer do 150 m dosahovať presnosti trigonometrického určenia okolo 0,5 mm.

○ Hydrostatická nivelácia

Metóda je založená na princípe spojených nádob. Jej najväčšou nevýhodou je teda veľmi malý rozsah meraných prevýšení. Metóda je zdĺhavá a vyžaduje neštandardné, často jednouúčelové prístrojové vybavenie. V poslednej dobe však boli vyvinuté automatické súpravy hydrostatickej nivelácie s elektronickým odčítaním hladiny v nádobách, čím dosahuje vysokej presnosti a je využívaná hlavne v miestach, kde je ohrozené ľudské zdravie (jadrové elektrárne).

○ Fotogrametria

Táto metóda má schopnosť zachytiť stav meraných objektov v jedinom časovom okamihu, čo jej dáva v tomto smere oproti ostatným metódam výhodu. Dá sa využiť ako pri vertikálnych, tak pri horizontálnych meraniach posunov. Žiaľ jej nevýhodou je práve nižšia dosahovaná presnosť, ktorá s pribúdajúcou vzdialenosťou od objektu klesá. Zároveň je tiež závislá na laboratórnom spracovaní výsledkov, teda sa k nim dostaneme až v krátkom časovom odstupe. Používame dve metódy:

- *Jednosnímková metóda s časovou základňou* umožňuje merať posuny a deformácie iba v rovine snímky.
- *Pozemná stereofotogrametria s reálnou základňou* umožňuje naopak zisťovať všetky tri zložky merania posunov a deformácií. [4]

3.2 Metódy merania vodorovných posunov

Príčiny vodorovných posunov bývajú zväčša spôsobené pôsobením vonkajších vplyvov. Jedná sa hlavne o pôsobenie vetra, zmien hladiny spodných vôd, horizontálnych tlakov susedných objektov, tlaku vodnej masy poprípade porušením stability podložných vrstiev.

Meranie môžeme vykonať viacerými metódami:

- Metódou zámernej priamky
Patrí k pomerne jednoduchým a presným metódam merania horizontálnych posunov. Umožňuje však určenie posunov iba v smere kolmom na zámernú priamku, teda iba jednu zložku horizontálneho posunu.
- Polygónová metóda
Rovnako ako metóda zámernej priamky umožňuje určiť iba jednu zložku horizontálneho posunu.
- Trigonometrická metóda
Princípom tejto metódy je pretínanie zo smerov, ktoré sú orientované vzhľadom k miestnej účelovej geodetickej sieti. Vzhľadom k tomu, že poskytuje informácie o oboch zložkách posunu patrí spravidla medzi najpoužívanejšie metódy určenia horizontálnych posunov.
- Elektronickými diaľkometermi
- Fotogrametricky
- Metódou GNSS
Vzhľadom na vývoj moderných metód v meraní GPS je možné osadzovať do sledovaných oblastí meračské aparatúry, ktoré pri statickom meraní dosahujú presnosti 1 až 3mm. Veľkou výhodou je možnosť merania bez potreby ľudskej obsluhy priamo v teréne. [4]

4. URČOVANIE POLOHY POMOCOU DRUŽICOVÝCH SYSTÉMOV

Globálne satelitné navigačné systémy (GNSS) sú vybudované na určovanie polohy a času kedykoľvek a kedykoľvek na Zemi nezávisle od aktuálnych meteorologických podmienok. Poloha meraného bodu sa dá vysvetliť ako priesečník guľových plôch, ktorých polomer je daný meranými vzdialenosťami medzi družicou a určeným bodom. Z geometrického hľadiska je pre určenie polohy bodu nutné poznať polohu aspoň troch družíc. Určenie vzdialenosti medzi družicou a určeným bodom spočíva vo využití presných časových informácií, preto je nutné, pre určenie polohy bodu poznať polohu minimálne štyroch družíc. Pre dosiahnutie vysokej presnosti je dôležité využiť najväčší možný počet viditeľných družíc s vhodnou konfiguráciou.

Aplikácie založené na technológii GNSS sú skoro neobmedzené. Niektoré progresívne metódy sa stále viac využívajú aj v oblasti inžinierskej geodézie. Najčastejšie pri tvorbe lokálnych účelových sietí, vytyčovaní a kontrolnom meraní stavieb, na riadenie stavebných strojov, ako aj pri meraní posunov a deformácií objektov.[4]

4.1 Globálne navigačné systémy

V súčasnosti existuje, alebo sa vytvára niekoľko globálnych navigačných systémov.

4.1.1 Systém NAVSTAR GPS

Je najstarším a v súčasnosti jediným plne funkčným, najlepšie prepracovaným, a využívaným družicovým systémom. Jeho budovanie sa začalo v roku 1973 na základe požiadaviek Ministerstva obrany Spojených štátov amerických (USA) ako navigačný systém pre armádne účely. Oficiálne bola deklarovaná presnosť absolútneho určenia polohy bodu 10m v polohe a 15m vo výške s 95% pravdepodobnosťou.

Systém GPS tvorí 31 družíc na obežnej dráhe Zeme s inklináciou 55°. Obiehajú na šiestich polárnych dráhach vo vzdialenosti 20 200 km od Zeme, pričom dĺžka jedného obehu je 11 hodín 58 minút.

4.1.2 Systém GLONASS

Jedná sa ruskú alternatívu systému NAVSTAR GPS . Jeho koncepcia vznikla začiatkom 70-tych rokov minulého storočia a prvý satelit bol vypustený v roku 1982. V rokoch 1996 - 2001 bola jeho kozmická časť v úpadku, avšak po roku 2001 prebiehalo

jeho znovuoobnovenie do plného operačného stavu. Od roku 2012 je systém GLONASS funkčný a prístupnený aj verejnosti. Najnovšie antény a prijímače už sú spravidla prispôsobené aj na prijímanie signálov zo systému GLONASS.

Tento systém tvorí 24 družíc s inklináciou 65° , ktoré obiehajú okolo Zeme v troch polárnych dráhach vo výške 19 100 km. Dĺžka obehu je 11 hodín 15 minút, pričom z každého miesta na Zemi by sme mali prijímať signál z aspoň piatich družíc tohto systému.

4.1.3 Systém GALILEO

Galileo je novým navigačným systémom. Jeho vznik podporuje Európska únia a Európska vesmírna agentúra. Ide o prvý civilný systém, ktorý by mal byť úplne nezávislý od systémov NAVSTAR GPS a GLONASS, avšak natoľko kompatibilný, aby bolo možné jeho spoločné využívanie s týmito systémami. Prvá družica bola vypustená v roku 2005. Tento systém je stále vo vývoji a mal by mať vyššiu presnosť pre všetkých užívateľov a väčšie pokrytie. Galileo by sa mal stať spoľahlivým, verejnosti celosvetovo dostupným satelitným navigačným systémom, využitelným súčasne európskymi štátmi aj pre vojenské účely.

Systém Galileo má tvoriť 30 družíc s inklináciou 56° . Pohybovať sa budú v troch polárnych dráhach vo výške 23 200 km, s dobou obehu 14 hodín. [5]

4.2 Metódy merania polohy pomocou GPS

Meranie pomocou GPS v súčasnosti umožňuje komplexne riešiť rôzne geodetické úlohy. Na základe požiadaviek a charakteru jednotlivých projektov teda volíme metódy merania. Tie sú závislé na požadovanej presnosti, časovej náročnosti a od ďalších faktorov, ako je aktuálna geometria rozloženia družíc, stav ionosféry, eliminácie vplyvu troposféry, model použitého prijímača, antény a softvéru pre spracovanie meraní.

Koncepcia družicových systémov umožňuje určovanie polohy dvomi základnými metódami:

- absolútne určovanie polohy
- relatívne určovanie polohy

4.2.1 Absolutně určování polohy

Takzvaný „Point positioning“, určení polohy jednotlivých bodů v geocentrickém súradnicovom systéme. Jedná sa o určovanie pseudovzdialeností medzi družicou a prijímačom pomocou pseudonáhodných kódov, ktoré družice vysielajú. Ide o kódové meranie s použitím jedného prijímača. Presnosť závisí od dĺžky observácie, počtu a konfigurácie družíc, pričom zásadne ju ovplyvňuje možnosť použitia štandardnej polohovej služby, alebo presnej polohovej služby. Pri štandardnej polohovej službe sa využíva menej presný C/A – kód, môžeme dosahovať presnosť 10 až 30 m. Pokiaľ však využívame presnú polohovú službu, teda prijímame aj tzv. P – kód, dosahujeme polohovú presnosť okolo 1 m. Táto metóda je základným poslaním GPS a využíva sa v rôznych oblastiach ľudskej činnosti. V geodézii slúži na získavanie informácií pre GIS, alebo pre stanovenie východiskových geocentrických súradníc pre referenčné body, potrebné pri relatívnom určovaní polohy pomocou GPS. [5]

V posledných rokoch sa na absolutně určování polohy využívá najčastejšie metóda PPP. Pri použití tejto metódy sme schopný určovať absolutnú polohu bodu v centimetrovej presnosti, avšak vyžaduje si niekoľkohodinovú observáciu. Podstatnou výhodou je, že poloha bodu sa určuje jednou aparátúrou bez potreby referenčných bodov, pričom metóda využíva predovšetkým vedomosti o presných dráhach družíc a presných údajoch o ich hodinách. Pri tejto metóde pracujeme aj s fázovými meraniami. [7]

4.2.2 Relatívne určování polohy

Metóda, pri ktorej určujeme súradnice nových bodov vzhľadom k polohe referenčného bodu, ktorého geocentrické súradnice poznáme, takzvaný „Relative positioning“. Vychádza sa z merania fázy nosnej vlny GPS, pričom meriame rozdiely vzdialenosti sledovanej družice. Na meranie sa využívajú minimálne dve aparátúry, na určovanom a referenčnom bode. Výsledkom merania a spracovania je určenie smeru a veľkosti vektora spojnice oboch bodov v geocentrickom súradnicovom systéme, tzv. základnice. Tieto metódy majú primárny význam pre geodetické aplikácie GPS, pretože umožňujú merania, ktorých výsledky dosahujú presnosť súradníc v jednotkách milimetrov.

Základnou metódou relatívneho určovania polohy je statická metóda, teda poloha GPS prijímačov sa voči zemskému povrchu nemení. Pokiaľ je jeden z prijímačov počas

merania v relatívnom pohybe hovoríme o kinematickej metóde. Jednotlivé metódy sa medzi sebou líšia v presnosti a rýchlosti merania.

Statická metóda sa vyznačuje vyššou presnosťou voči kinematickej metóde, ktorá je rýchlejšia v určení súradníc bodu. Na základe spojenia výhod oboch metód sa vyvinuli technológie rýchleho geodetického určovania polohy, ktoré využívajú súčasne kódové a fázové merania.

- statická metóda

Statické relatívne fázové meranie je základnou a najčastejšie používanou metódou v geodézii. Nevyhnutnou požiadavkou je simultánne meranie na najmenej štyri družice a podľa možnosti neprerušovaný spojitý príjem signálu na oboch meraných bodoch. Dĺžka observácie závisí od dĺžky meranej základne, počtu družíc, počtu frekvencií a požadovanej očakávanej presnosti.

- rýchla statická metóda

Postup je obdobný so statickou metódou, no je skrátená doba merania. Toto skrátenie je umožnené tým, že pri spracovávaní sa použijú metódy rýchleho vyriešenia ambiguit. Využívame súčasné spracovanie kódových aj fázových meraní súčasne na oboch frekvenciách.

- kinematická metóda

Jedná sa o metódu, kde na začiatku merania musí prebehnúť inicializácia, aby sa vyriešili ambiguita. Po inicializácii sme schopný merať súradnice bodov s centimetrovou presnosťou. Princíp metódy spočíva v nastavení intervalu merania bodov na základe ktorého sledujeme polohu bodu v čase. Výsledkom merania je sledovaná trajektória.

- kinematická, semi - kinematická metóda (Stop & Go)

Princíp metódy je vo vyriešení ambiguit na začiatku merania. Jedna aparatúra sa nachádza na referenčnom bode a s druhou sa merač pohybuje po jednotlivých bodoch. Na každom bode je potrebné zotrvať približne 5 – 10 sekúnd, aby sa zaistil dostatočným počet epoch merania. Podmienkou je stály príjem signálu z družíc počas transportu.

○ kinematická metoda v reálnom čase (RTK)

Pri tejto metóde je potrebné trvalé rádiové spojenie medzi prijímačmi, z ktorých jeden sa pohybuje. Princíp spočíva v okamžitom prenose odmeraných údajov referenčného prijímača do pohybujúceho sa prijímača. Tento prijímač pomocou zabudovaného softvéru okamžite po inicializácii spracuje údaje z oboch prijímačov a s využitím vysielaných efemeríd vypočíta polohu bodu.[5]

4.3 Výber metódy

Použitie jednotlivých metód vyplýva z technických parametrov prijímačov a charakteru úlohy. Rozhodujúce sú požadovaná presnosť, rýchlosť a ekonomické podmienky. Vzhľadom k tomu, že naše merania prebiehali v plnej prevádzke železničných tratí, bolo potrebné vybrať metódu s krátkymi časovými observáciami. V tabuľke 4.1 sú porovnané jednotlivé metódy na relatívne určovanie polohy s ohľadom na časovú náročnosť a presnosť.

Metóda	Požadovaná dĺžka vektora	Čas merania	Presnosť určenia polohy
Statická metóda	do 10 km	20 – 30 minút	± 5mm + 1ppm
Rýchla statická metóda	do 5 km	5 – 8 minút	± 5 – 20mm + 1ppm
Metóda Stop & Go	do 10 km	Inicializácia na základni do 15 minút Nový bod po 3 – 5sec.	± 10 – 20mm + 1ppm
Metóda RTK	do 5 km	2 – 4 minúty	± 10 – 30mm + 1ppm

Tab. 4.1 Porovnanie presnosti relatívnych metód určenia polohy bodu pomocou GPS

Na základe našich požiadaviek pri meraní sme si zvolili meranie metódou Stop & Go, ktorá je svojou presnosťou a časovou náročnosťou najvhodnejšia.[1]

4.4 Metóda Stop & Go

Metóda je špeciálnym typom kinematického merania, kde pred meraním prebieha inicializácia, teda vyriešenie ambiguit. Je potrebné prijímať signál aspoň zo 4 družíc neprerušene, pričom vyriešené ambiguity prenášame medzi jednotlivými bodmi.

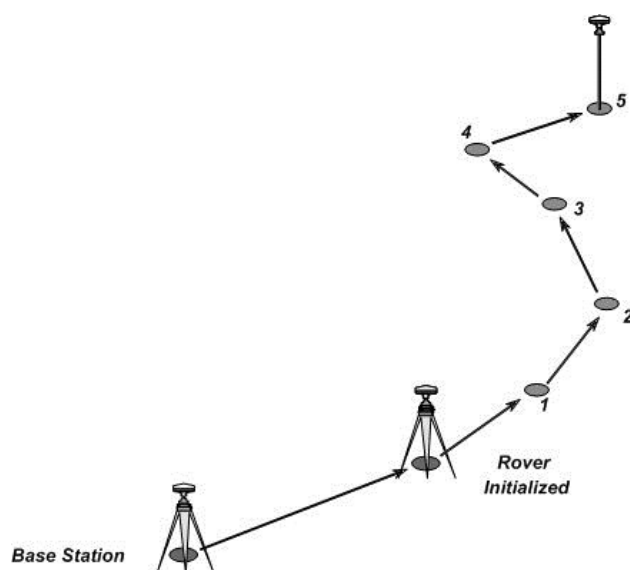
Pri tejto metóde sa jeden prijímač nachádza na pevnom stanovisku, nazývame ho *reference* a druhý prijímač presúvame po jednotlivých bodoch, tzv. *rover*. Oba prijímače musia nepretržite prijímať signál z minimálne štyroch družíc. S rover-om sa pohybujeme po jednotlivých bodoch, pričom na každom sa zastavíme a prebieha meranie, ktoré trvá niekoľko sekúnd. Počas merania na bode zaznamenáme niekoľko epoch merania.

Inicializáciu môžeme realizovať rôznymi spôsobmi:

- rýchlou statickou metódou pri meraní prvého bodu
- krátkym meraním na základni, ktorej parametre sú známe
- výmenou antén medzi blízkymi prijímačmi, na základni o dĺžke 5 – 10m. Antény sa po krátkej dobe merania vymenia a po zameraní rovnakého počtu epoch sa antény opäť presunú k vlastným prístrojom.
- najprogresívnejšou metódou inicializácie je vyriešenie ambiguit počas pohybu, metóda **On-The-Fly (OTF)**. Tieto postupy majú spoločné východiská s rýchlou statickou metódou, pričom priestor pre hľadanie ambiguit sa vymedzí pomocou kódových meraní. V rámci tohto priestoru sa potom testujú rôzne možné kombinácie ambiguit fázových meraní stanovením tej, ktorá vedie k najmenšej disperzii. Zo skúseností z praxe vieme, že metódou OTF dokážeme vyriešiť ambiguitu a parametre základne s centimetrovou presnosťou do vzdialenosti 20 km.

Meranie na jednotlivých bodoch je po inicializácii veľmi rýchle a v prípade prerušenia signálu postačuje meranie prerušiť, opätovne inicializovať a môžeme pokračovať v meraní. Spracovanie nameraných údajov je formou postprocessingu, teda po ukončení merania a zhromaždení nameraných údajov.[12]

Na obrázku 4.1 vidíme riešenie merania pomocou metódy Stop&Go.



Obr. 4.1 Schéma metody Stop&Go

4.5 Presnosť určovania polohy pomocou GPS

Presnosť určenia priestorovej polohy pomocou GPS je závislá na mnohých parametroch a preto nevieme podať jednoznačné údaje vzťahujúce sa ku všetkým situáciám. Vo všeobecnosti však platí, že presnosť určenia elipsoidických výšok je niekoľkonásobne vyššia ako presnosť určenia horizontálnej zložky.

Vo využití pri geodetických aplikáciách je rozhodujúca presnosť relatívneho určenia polohy. Skutočnú presnosť relatívneho určenia súradníc ovplyvňuje niekoľko faktorov. Medzi tie najvýznamnejšie patria:

- dĺžka intervalu merania
- počet družíc a ich konfigurácia vzhľadom k meraným bodom
- dĺžka meranej základnice
- metóda spracovania – použité modely, stupeň eliminácie systematických chýb
- metódy riešenia ambiguit
- meranie na jednej alebo oboch frekvenciách
- typ prijímača a antény
- typ efemeríd družíc

Je potrebné si uvedomiť, že pri zvyšovaní dĺžky základní nie je rozhodujúci väčší počet meraní, ale získanie dostatočnej zmeny geometrie družíc pre riešenie ambiguit. Požadovaná zmena nastane až po uplynutí určitého časového intervalu.



Na vyjadrenie presnosti polohy určenej GPS sa používa tzv. DOP (rozptyl presnosti) vyjadrujúci geometrickú konfiguráciu družíc. Je definovaný ako pomer strednej chyby súradnice, času, polohy, a strednej chyby meraných pseudovzdialeností. Čím je hodnota nižšia, tým je konfigurácia družíc presnejšia. Rozdeľuje sa podľa aspektov sledovania na:

- HDOP – horizontálny
- VDOP – vertikálny
- PDOP – priestorový
- TDOP – časový
- GDOP – geometrický [5]

5. POPIS PROGRAMU LEICA Geo Office

Jedná se softvér vytvořený firmou LEICA, který umožňuje komplexné riešenie a spracovanie rôznych úloh a dát z meraní. Prevažne je však určený práve na spracovanie meraní GPS. Umožňuje import a export všetkých druhov dát, vyrovnanie merania ako i transformácie získaných dát medzi rôznymi súradnicovými systémami.

Po vytvorení projektu v tomto programe importujeme merané dáta. Následne môžeme vo vlastnostiach upravovať výšku antény, kontrolu čísel bodov, alebo parametre používaného prijímača. Následne pred spracovaním merania určíme pomocou grafického zobrazenie priebehu merania, ktoré z dát sú z referenčného prijímača a ktoré z rover – u. Pred samotným spracovaním meraných dát si nastavíme súradnicovú sústavu, v ktorej má spracovanie prebehnúť, a upravíme parametre vplývajúce na meranie a spracovanie.

Medzi zásadné parametre, ktoré vplývajú na meranie a zadávajú sa pri spracovaní patria: uhol elevačnej masky, efemeridy družíc, použitý model troposféry a ionosféry, voľba použitia frekvencií, možnosť fixovania ambiguit. Po zadaní všetkých požadovaných parametrov spustíme výpočet, ktorého výsledkom je protokol o meraní, spracovaní a výsledné hodnoty.

V záverečnom protokole sa nachádzajú údaje o projekte a procesných parametroch jednotlivých spracovaných etáp (typ antény, súradnice referenčného bodu, dĺžka merania, počet zameraných bodov, rozptyl presnosti a údaje o počte družíc počas merania). Súčasne program vyhotoví výstupy s hodnotami polohy meraných bodov, diferencií od referenčného bodu, polohové elipsy chýb, použité frekvencie ako i charakteristiku výškovej presnosti.

6. PRIEBEH A SPRACOVANIE MERANIA

Cieľom mojej záverečnej práce je určenie pretvorenia železničného zvršku na lokalitách železničného mostu v Zábřehu na Moravě a Břeclavi s využitím družicových metod. Na základe tejto požiadavky bolo potrebné na oboch lokalitách stabilizovať viacero bodov. Pre určenie okamžitých deformácií železničného mostu bola použitá modifikovaná Stop&Go metóda.

V Zábřehu na Moravě prebehla dňa 17.4.2013 rekognoskácia mostného objektu počas ktorej prof. Švábenský v spolupráci s doc. Pláškom vyznačili na ľavom koľajnicovom páse spolu 18 bodov. Tieto body sú vyznačené jemnou dierkou, $\varnothing 1$ mm, na vonkajšej nepojazdnej hrane koľajnice a sú číslované v smere staničenia trate. Súčasne bol na rohu betónovej mostnej opory stabilizovaný referenčný bod Z100. Intervaly staničenia medzi jednotlivými bodmi na koľajnicovom páse sa pohybujú od 5 m do 12 m.

Na mostnom objekte v Břeclavi prebehla rekognoskácia 7.6.2013. Určilo sa, že predmetom merania bude krajná koľaj slúžiaca pre dopravu na trati Břeclav – Hrušovany nad Jevišovkou. Na ľavom koľajnicovom páse boli značkovačom opäť vyznačené body na nepojazdnej hrane koľajnice. Spolu bolo vyznačených 20 bodov pre účely geodetického monitoringu. Referenčný bod B100 bol rovnako stabilizovaný značkovačom na temene odstavnej koľaje, ktorá sa nachádzala približne 6 m od sledovaného mostného objektu.[8]



← Obr. 6.1 Bod na koľajnici



Obr. 6.2 Referenčné body

Na obrázku 6.1 je v červenom krúžku vyznačený jeden z bodov na koľajnici a na obrázku 6.2 môžeme vidieť zcentrované antény referenčných bodov. Na ľavom snímku je bod B100 v Břeclavi, na pravom bod Z100 v Zábřehu na Moravě. Pred každým meraním prebiehala kontrola stavu všetkých sledovaných bodov.

6.1 Meranie

Na oboch tratiach prebehlo v roku 2013 niekoľko etáp merania v závislosti na ročnom období a klimatických podmienkach. Meranie by malo podľa harmonogramu prác prebehnúť aspoň tri krát za rok. Od začiatku sledovania prebehli v Zábřehu na Moravě tri etapy a v Břeclavi štyri etapy merania, pričom dve etapy v Zábřehu a tri etapy v Břeclavi boli zameriavané s mojou účasťou. V tabuľke 6.1 sú dátumy ukončených etáp na oboch lokalitách. Najbližšie etapy sú plánované na jún 2014.

Zábřeh na Moravě		Břeclav	
Číslo etapy	Dátum merania	Číslo etapy	Dátum merania
ZE0	29.05.2013	BE0	12.06.2013
ZE1	15.11.2013	BE1	08.07.2013
ZE2	28.02.2014	BE2	29.11.2013
		BE3	07.03.2014

Tab. 6.1 Dátumy ukončených etáp na oboch lokalitách

Súčasne s meraním GPS prebiehalo na tratiach aj meranie s využitím klasických geodetických metód, polárnou metódou. Tieto merania slúžili, rovnako ako tie družicové, na určenie pretvorení a posunov vzhľadom k mostnej konštrukcii. K dosiahnutiu plynulosti a lepšej presnosti meraní bol na meranie polohy bodov na železničnej koľaji skonštruovaný špeciálny vozík (Obr. 6.2). Vozík je v tvare pravouhlého trojuholníka, pričom jedna jeho hrana sa nasadzuje priamo na meranú koľaj a druhá, dlhšia, sa pokladá na druhý koľajnicový pás. Jej dĺžka je o málo väčšia ako rozchod koľajníc. Na širšej strane vozíka, ktorá sa prikladá na koľajnicu, je namontované optické zariadenie, ktoré umožňuje presné zcentrovanie nad jednotlivými sledovanými bodmi. Dajú sa naň umiestniť dva odrazné hranoly a anténa pre príjem signálu z družíc. Vozík je možné vďaka kolieskam na jeho hranách posúvať priamo po koľajnici.



Obr. 6.2 Vozík na meranie priebehu koľaje

Na príjem a meranie signálu GPS boli použité aparatúry firmy Leica, a to priamo Leica 1200 GPS RTK GX 1230GG a GPS System 500 SR520. Ako anténa sa na referenčných bodoch používala AT504 GG Tripod, tzv. choke-ring, a na vozíku AX1202GG. Pri týchto modeloch udáva výrobca presnosť statickej metódy v polohe 3mm+0,5ppm s použitím choke-ring. Pri použití štandardných antén je udávaná presnosť

5mm + 0,5ppm, pričom pri kinematických metódach je presnosť 10mm + 1ppm. Presnosť výšky sa udáva ako dvojnásobok polohovej presnosti.

Na referenčných bodoch bolo nutné určiť aj výšku referenčného bodu antény, zatiaľ čo na vozíku bola výška konštantná. Jej výška nie je pre naše meranie podstatná a pri všetkých etapách bola nastavená ako nulová. Z dôvodu eliminácie excentricít fázových centier boli vždy antény orientované na sever.

Vo všetkých etapách sa z dôvodu kontroly a možnosti vyrovnaní zamerali jednotlivé sledované body dva krát. Meranie v Zábřehu na Moravě bolo problematickejšie z dôvodu umiestnenia mostu. Ten sa nachádza v zákrute za železničnou stanicou v smere na Šumperk, pričom v celom okolí mostného objektu je väčšie množstvo stromov, ktoré môžu spôsobovať zhoršenie prijímaného signálu z družíc. Z toho dôvodu miestami dochádzalo k výpadkom pripojenia, čo nepriaznivo ovplyvnilo presnosť merania. Všetky merania prebiehali za plnej funkčnosti trate, čo vyžadovalo striktné dodržiavanie bezpečnosti práce.

V Zábřehu na Moravě boli pozorované body rozdelené do troch úsekov. Body 1 až 5 sa nachádzajú v južnom predpolí, body 6 až 14 na mostnej konštrukcii a body 15 až 18 sú v severnom predpolí. Jednotlivé úseky koľaje, ktoré sú rozdelené rovnako, sú oddelené dilatačnými špárkami. Inicializácia prebiehala na bode 4, po inicializácii sa vozík presunul na bod 1 a meranie pokračovalo postupne po jednotlivých bodoch. Meranie tu bolo poznačené častým prerušením z dôvodu prejazdu vlaku. Na každom bode sa zaznamenalo niekoľko epoch merania pričom interval záznamu bol 10 až 15 sekúnd. V každom meraní sa všetky body zamerali dva krát s časovým odstupom. V tretej etape sme pri meraní vynechali bod 17.

Meranie v Břeclavi bolo vzhľadom k plynulosti príjemnejšie. Most sa nachádza za stanicou smerom na Hrušovany nad Jevišovkou. Táto trať je využívaná v menšom množstve ako hlavná trať na Slovensko, alebo Rakúsko. Most bol opäť rozdelený na tri úseky. Na prvom úseku, severnom predpolí, sa nachádzajú body 1 a 2. Nasledoval samotný mostný úsek, kde sú body 3 až 17 a južné predpolie mostu, kde sa nachádzajú body 18 až 20. Inicializácia prebiehala pri všetkých meraniach na bode 1, následne sa bod zameral znovu a postupovalo sa po jednotlivých bodoch. V etapách BE0, BE2 a BE3 sme zamerali všetky body dva krát a v etape BE1, boli zamerané iba raz.

6.2 Spracovanie meraní

Merania som spracovával a vyhodnocoval v softvéroch Leica Geo Office 8.2 a Microsoft Excel 2010. Najskôr som si v programe LGO (Leica Geo Office) vytvoril projekty pre jednotlivé lokality. Do programu som si postupne importoval surové dáta z jednotlivých etáp merania, ktoré som prevzal od vedúceho práce. Pri všetkých etapách bol postup spracovania rovnaký.

V prvom kroku po importe surových dát bolo potrebné nastaviť v programe správnu výšku antény referenčného bodu. Následne som určil, ktoré meranie je z referenčnej stanice a označil ho ako *reference* a druhé meranie som označil ako *rover*. Pred samotným spusteným procesom spracovania bolo potrebné nastaviť jeho parametre (Tab. 6.2).

Elevačná maska	15°
Efemeridy typu	Broadcast
Troposférický model	Hopfield
Inosférický model	Automatic (Standard)
Frekvencia	Automatic
Použité dáta	Automatic (Code & Phase)
Smampling Rate	Use all
Použitie stochastického modelu	Yes
Use ambiguities up to	80km

Tab. 6.2 Parametre výpočtu GPS vektorov

V niektorých etapách, hlavne v ZE0, neboli správne vyriešené ambiguity, čo mohli spôsobiť nízke družice, ktorých signál je slabší a viac rušený, ako aj vplyv okolia mostného objektu a častých prerušení. Tieto problémy som sa pokúsil odstrániť zvýšením elevačnej masky, čím som tieto družice odstránil, niektoré merania však ostali bez vyriešených ambiguit.

Po spracovaní merania v programe LGO som výsledky exportoval do formátu textového súboru aby som ich mohol otvoriť v programe Excel. Za účelom vyhodnotenia bolo potrebné vypočítané GPS vektory pretransformovať do lokálneho topocentrického

systému „nev“. Vztah mezi geodetickým systémem WGS-84 a topocentrickým súradnicovým systémem „nev“ je daný maticovým zápisom

$$\begin{bmatrix} n \\ e \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin B \cos L & -\sin B \sin L & \cos B \\ -\sin L & \cos L & 0 \\ \cos B \cos L & \cos B \sin L & \sin B \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}$$

,kde B, L sú zemepisné súradnice referenčného bodu

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ sú vektory jednotlivých bodov.

Lokálny topocentrický systém má počiatok súradnicovej sústavy v referenčnom bode. Os je daná smerom normály k elipsoidu v počiatočnom bode. Osi n a e sú v horizontálnej rovine a sú kolmé na os v , ktorá prechádza topocentrom. Horizontálne osi sú v rovine geodetického meridiánu, pričom os n smeruje na sever a os e na východ. V takto danom systéme následne vyhodnocujeme merania a jednotlivé posuny bodov vzhľadom k referenčným bodom. Aby sme mohli transformovať GPS vektory do tejto lokálnej sústavy potrebujeme poznať súradnice referenčných bodov (Tab. 6.3).

Bod	B	L	H _{el.}
B100	48°44'56,88259''	16°53'18,35803''	203,3711 m
Z100	49°52'30,18235''	16°52'57,86597''	323,4281 m

Tab. 6.3 Zemepisné súradnice referenčných bodov

Bod	X [m]	Y [m]	H [m]
B100	1 212 236,5877	582 986,5209	160,2613
Z100	1 087 660,7790	570 396,6553	279,4644

Tab. 6.4 Súradnice referenčných bodov v súradnicovom systéme S-JTSK a výška v Bpv.

Po transformovaní spracovaných údajov z merania bolo potrebné určiť priemerné polohy jednotlivých bodov, respektíve určiť odchýlky v polohe od referenčných bodov. Presnosť merania som získal z posúdenia dvojíc meraných bodov v jednotlivých etapách. Zo súborov rozdielov dvojíc bodov som určil priemerné stredné chyby určenia polohy v oboch pozorovaných smeroch podľa vzorcov:

$$m_{nj} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n dn_i^2}{n}}; m_{ej} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n de_i^2}{n}}$$



,kde dn_i je rozdiel dvojíc bodov v severnom smere

de_i je rozdiel dvojíc vo východnom smere

Následne som aritmetickým priemerom získaných stredných chýb určenia polohy v jednotlivých etapách určil priemerné stredné chyby zamerania polohy v oboch smeroch. Podľa týchto presností som vyhodnocoval posuny.

7. VYHODNOTENIE VÝSLEDKOV

Výsledky meraní a posunov som vyhotovil číselne a graficky. Číselné výsledky sú uvedené v prehľadných tabuľkách zoradených podľa časového sledu etáp merania. Rozhodnutie či došlo k posunu alebo nie som uvažoval podľa vzťahov:

$$\Delta x < m_{\Delta x} \quad \text{posun nenastal}$$

$$m_{\Delta x} \leq \Delta x \leq 2 \cdot m_{\Delta x} \quad \text{posun mohol nastať, ale nie je preukázaný}$$

$$2 \cdot m_{\Delta x} < \Delta x \quad \text{posun nastal,}$$

kde Δx je nameraný posun a $m_{\Delta x}$ je jeho úplná stredná chyba. Prípadný preukázaný posun je určený s pravdepodobnosťou 95%.

7.1 Vyhodnotenie posunov bodov na železničnej koľaji

7.1.1 Sledovaná koľaj v Zábřehu na Moravě

Výsledky vyhodnotenia posunov som zostavil do Tab. 7.1 – 7.3 podľa doby merania. Pri riešení bodov 4 až 18 (bez bodu 17) som posuny určoval vzhľadom k etape ZE1. Body 1 až 3 boli určované vzhľadom k etape ZE0. V tabuľkách sú uvedené jednotlivé posuny v zložkách Δn , Δe , Δv vzhľadom k referenčnému bodu Z100. Všetky hodnoty sú uvedené v mm. V tabuľke 7.1 sú posuny medzi etapami ZE0 a ZE1, v tab. 7.2 posuny medzi etapami ZE2 a ZE0 a v tab. 7.3 posuny medzi etapami ZE2 a ZE1.

Rozdiel medzi etapami ZE0 – ZE1			
č.b	Δn [mm]	Δe [mm]	Δv [mm]
5	3,8	-2,7	14,9
6	-9,4	-3,7	11,1
7	-4,2	9,3	-4,3
8	-6,2	-0,9	7,2
9	-11,8	-1,0	15,6
10	-3,4	-1,7	12,7
11	0,1	6,3	5,4
12	3,1	-1,9	6,5
13	-1,1	1,6	14,7
14	20,5	-0,2	3,9
15	18,6	12,5	12,6

Tab. 7.1

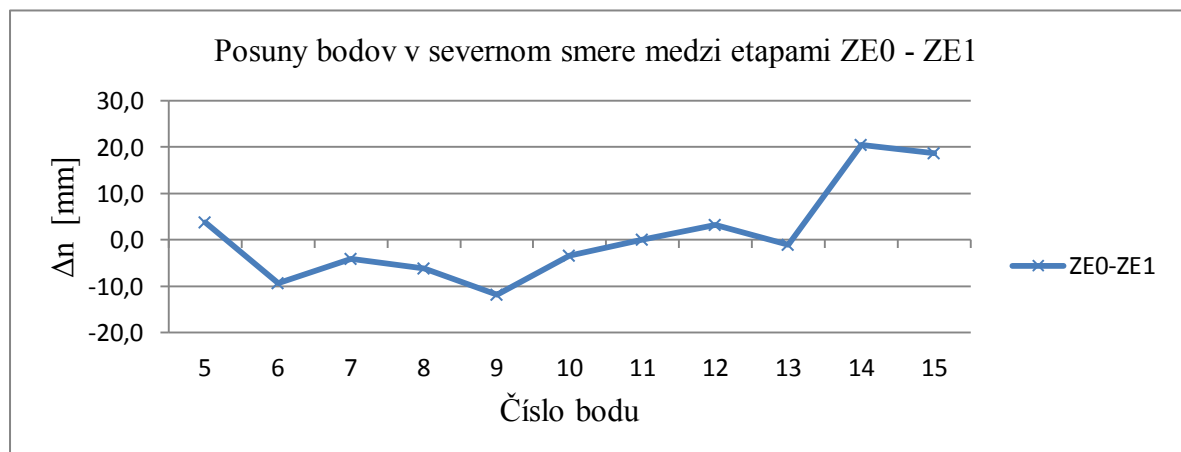
Rozdiel medzi etapami ZE2 - ZE0			
č.b	Δn [mm]	Δe [mm]	Δv [mm]
1	-2,9	-5,8	-1,4
2	-9,5	7,0	-9,0
3	3,1	4,4	-11,5
5	-6,5	9,8	-9,2
6	3,0	7,7	-26,7
7	-7,2	-3,3	-0,5
8	-1,9	2,6	-0,2
9	2,9	7,3	-2,4
10	0,2	-1,6	-9,4
11	-0,2	-5,1	-8,7
12	-9,9	4,2	-3,2
13	-8,6	1,0	-13,5
14	-12,9	4,6	-16,1
15	-14,4	-11,1	-6,9

Tab. 7.2

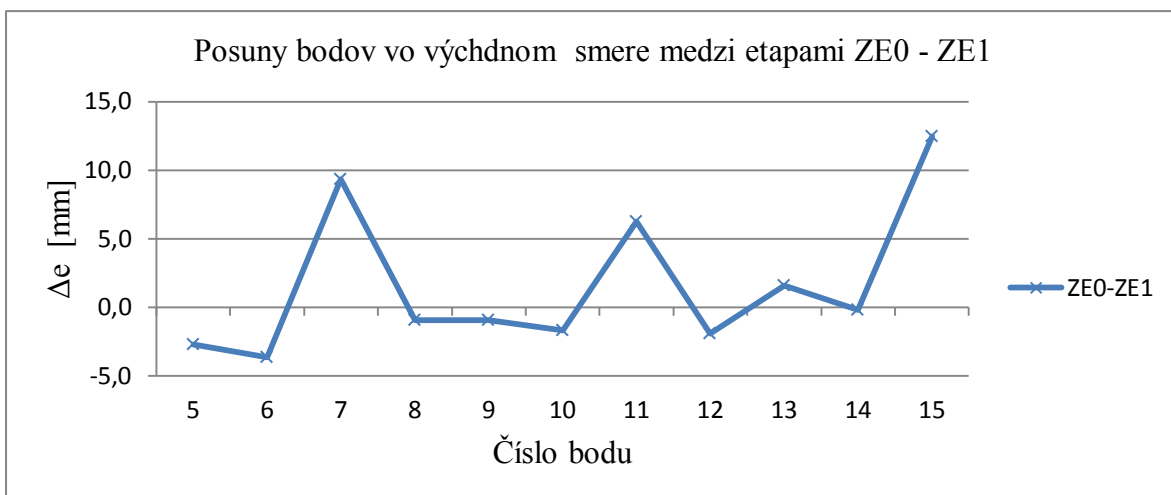
Rozdiel medzi etapami ZE2 - ZE1			
č.b	Δn [mm]	Δe [mm]	Δv [mm]
4	4,0	-1,0	3,4
5	-2,8	7,0	5,7
6	-6,4	4,1	-15,5
7	-11,3	6,0	-4,7
8	-8,1	1,7	7,1
9	-8,8	6,3	13,2
10	-3,3	-3,2	3,3
11	-2,3	1,5	1,3
12	-6,7	2,3	3,3
13	-9,7	2,6	1,2
14	7,6	4,4	-12,2
15	4,2	1,4	5,7
16	0,3	13,3	11,3
18	17,7	7,8	9,1

Tab. 7.3

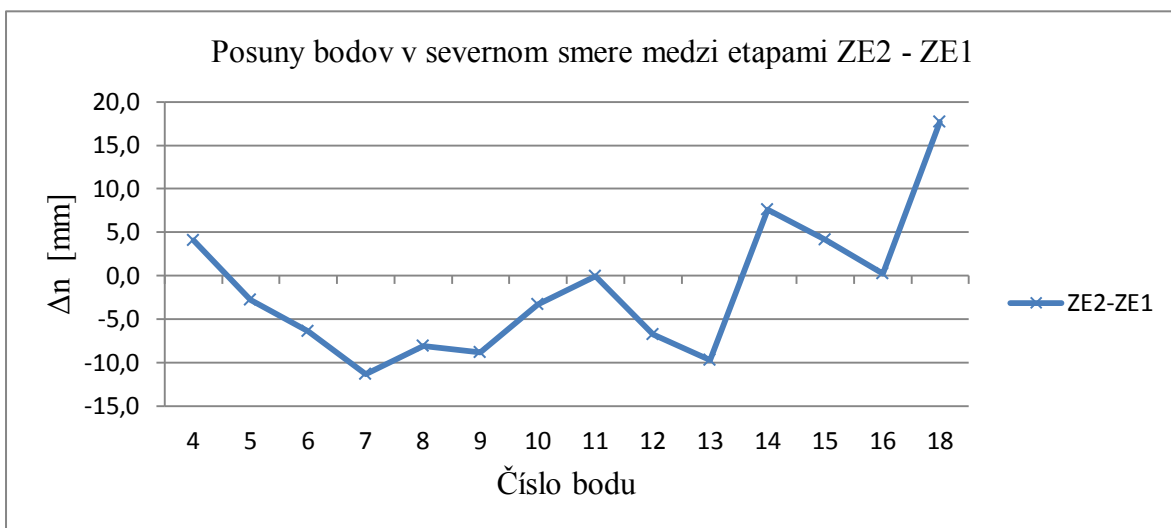
V jednotlivých etapách došlo k problému s riešením ambiguit. Meranie prvej etapy (ZE0) prebiehalo v nepriaznivých klimatických podmienkach čo sa podpísalo na jej presnosti. Na základe nesplnenia podmienok pre dostatočnú presnosť na určenie bodov boli v tejto etape vylúčené zo spracovania body 4, 16, 17 a 18. V etape ZE1 došlo k nezistenej chybe na základe ktorej sme museli zo spracovania vylúčiť body 1, 2 a 3. V grafoch 7.1 a 7.2 je schematicky zobrazený vývoj posunov medzi jednotlivými etapami v severnom smere a vo východnom smere. Tieto posuny sú vzťahnuté vzhľadom k referenčnému bodu Z100 a sú udávané v mm. Vzhľadom k cieľu mojej práce nebudem vyhodnocovať posuny vo vertikálnej rovine. Presnosť, ktorú som dosiahol pri vertikálnych zložkách je v priemere dva krát horšia ako polohová presnosť.



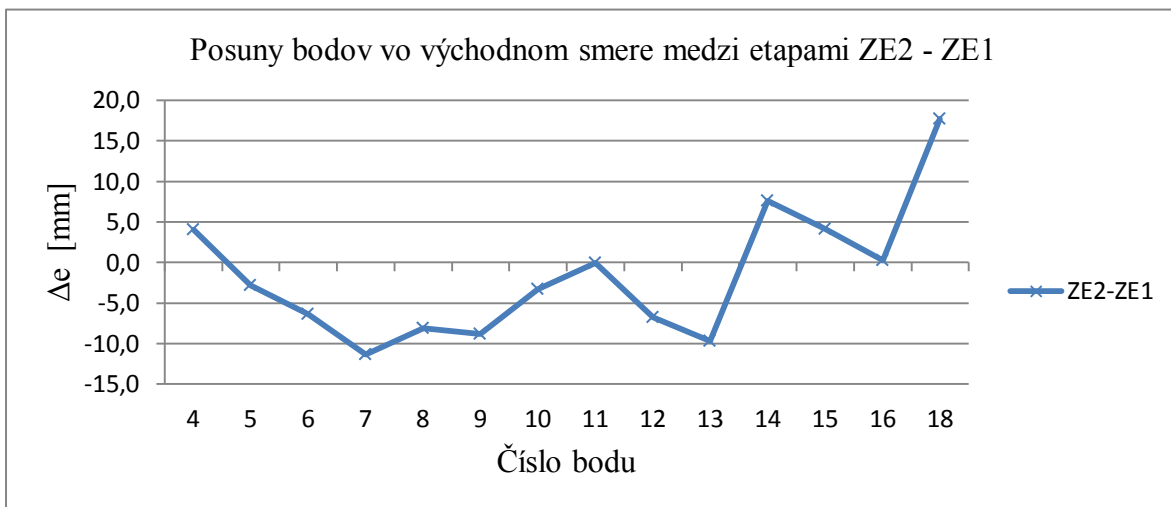
Graf 7.1



Graf 7.2

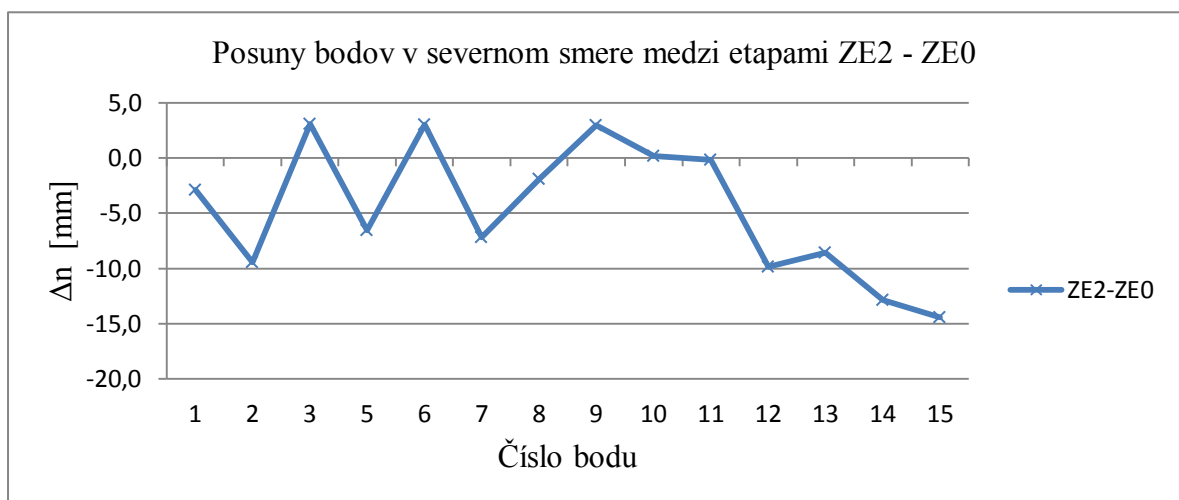


Graf 7.3

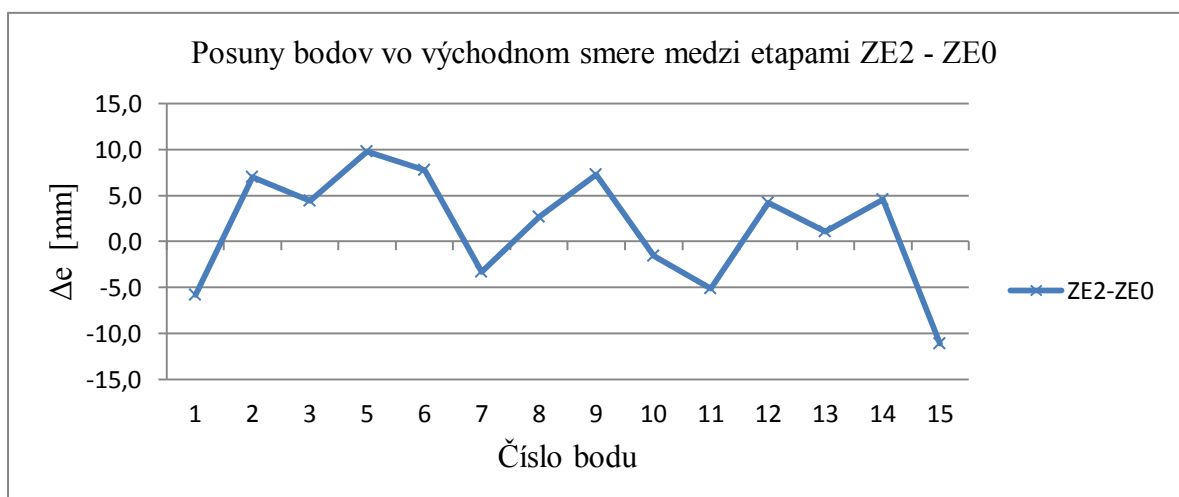


Graf 7.4

Na grafech 7.1 až 7.4 sú zobrazené posuny bodov medzi etapami v porovnaní s druhou etapou ZE1. Na grafoch 7.1 a 7.3 sú posuny v severnom smere a na grafoch 7.2 a 7.4 posuny vo východnom smere. Na grafoch môžeme vidieť, že k najväčším posunom dochádza medzi etapami ZE2 a ZE1 na bode 18 a medzi etapami ZE1 a ZE0 na bode 15. V grafoch 7.5 a 7.6 (dole) sú schematicky znázornené posuny medzi etapami ZE2 a ZE0 v oboch smeroch. Na týchto grafoch sú zobrazené aj posuny na bodoch 1 až tri, ktoré sme v etape ZE1 pre ich veľkú chybu vylúčili zo spracovania. Chýbajú na nich však posuny na bodoch 4, 16, 17 a 18 vylúčených zo spracovania v etape ZE0.

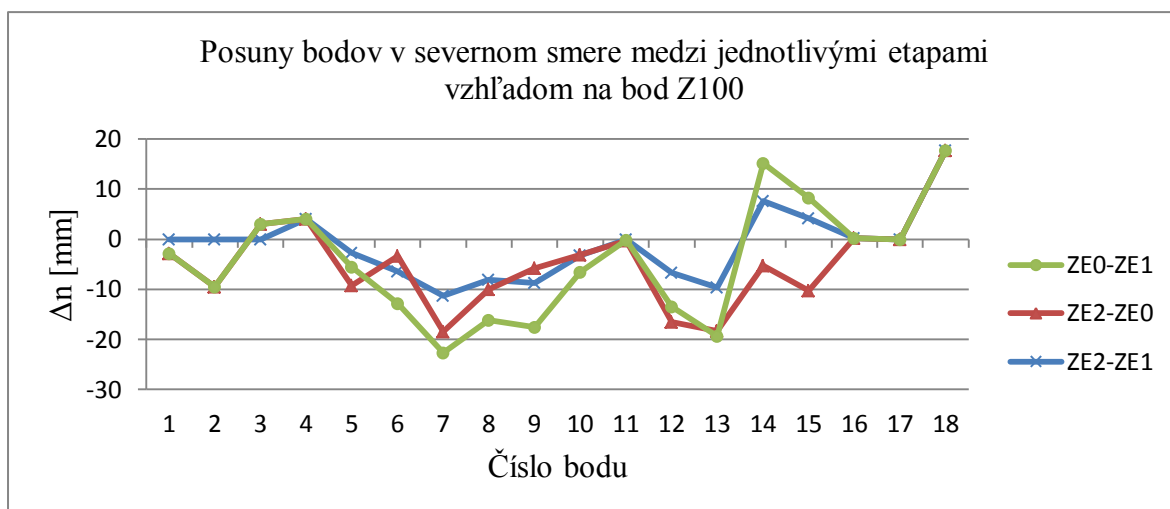


Graf 7.5

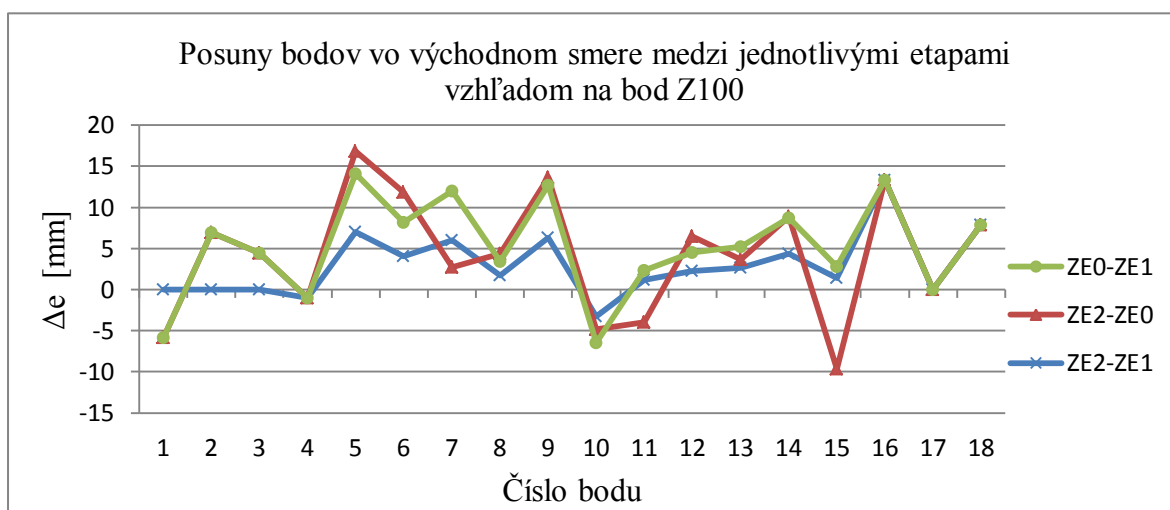


Graf 7.6

V nasledujúcich grafoch sú zobrazené všetky posuny medzi etapami pre lepšiu orientáciu. Medzi etapami ZE2-ZE1 je na bodoch 1 až 3 zobrazený nulový posun. Tento posun je zavádzajúci, body boli z etapy ZE1 vylúčené.



Graf 7.7



Graf 7.8

Z grafů 7.7 a 7.8 vidíme, že největší posuny nastali na bodech 7 a 18 v severním směru a na bodech 5 a 15 ve východním směru. V závěrečné kapitole zhodnotím na základě jednotlivých změn v poloze a přesnosti měření či a kde došlo na sledovaných bodech k prokázání posunů. Jako kritérium na prokázání posunů použijeme průměrnou hodnotu střední chyby, která charakterizuje vonkajší přesnost horizontální polohy. Přesnost v severním směru má průměrnou hodnotu $m_n = 8,5$ mm a přesnost ve východním směru $m_e = 7$ mm. Průměrná střední souřadnicová chyba má hodnotu 7,8 mm. Posouzení posunů jsem zůstal do tabulek 7.5, 7.6 a 7.7, podle rozdělení mezi jednotlivými etapami.

Zhodnotenie preukázaných posunov medzi etapami ZE0-ZE1				
č.b	Δn [mm]	posun v Δn	Δe [mm]	posun v Δe
1				vylúčený
2				vylúčený
3				vylúčený
4				vylúčený
5	3,8	NIE	-2,7	NIE
6	-9,4	MOŽNO	-3,7	NIE
7	-4,2	NIE	9,3	MOŽNO
8	-6,2	NIE	-0,9	NIE
9	-11,8	MOŽNO	-1,0	NIE
10	-3,4	NIE	-1,7	NIE
11	0,1	NIE	6,3	NIE
12	3,1	NIE	-1,9	NIE
13	-1,1	NIE	1,6	NIE
14	20,5	ÁNO	-0,2	NIE
15	18,6	ÁNO	12,5	MOŽNO
16				vylúčený
17				vylúčený
18				vylúčený

Tab. 7.5

Zhodnotenie preukázaných posunov medzi etapami ZE2-ZE1				
č.b	Δn [mm]	posun v Δn	Δe [mm]	posun v Δe
1				vylúčený
2				vylúčený
3				vylúčený
4	4,0	NIE	-1,0	NIE
5	-2,8	NIE	7,0	MOŽNO
6	-6,4	NIE	4,1	NIE
7	-11,3	MOŽNO	6,0	NIE
8	-8,1	NIE	1,7	NIE
9	-8,8	MOŽNO	6,3	NIE
10	-3,3	NIE	-3,2	NIE
11	-0,1	NIE	1,2	NIE
12	-6,7	NIE	2,3	NIE
13	-9,7	MOŽNO	2,6	NIE
14	7,6	NIE	4,4	NIE
15	4,2	NIE	1,4	NIE
16	0,3	NIE	13,3	MOŽNO
17				nemeral sa
18	17,7	ÁNO	7,8	MOŽNO

Tab. 7.6

Zhodnotenie preukázaných posunov medzi etapami ZE2-ZE0				
č.b	Δn [mm]	posun v Δn	Δe [mm]	posun v Δe
1	-2,9	NIE	-5,8	NIE
2	-9,5	MOŽNO	7,0	MOŽNO
3	3,1	NIE	4,4	NIE
4	vylúčený			
5	-6,5	NIE	9,8	MOŽNO
6	3,0	NIE	7,7	MOŽNO
7	-7,2	NIE	-3,3	NIE
8	-1,9	NIE	2,6	NIE
9	2,9	NIE	7,3	MOŽNO
10	0,2	NIE	-1,6	NIE
11	-0,2	NIE	-5,1	NIE
12	-9,9	MOŽNO	4,2	NIE
13	-8,6	MOŽNO	1,0	NIE
14	-12,9	MOŽNO	4,6	NIE
15	-14,4	MOŽNO	-11,1	MOŽNO
16	vylúčený			
17	vylúčený			
18	vylúčený			

Tab. 7.7

7.1.2 Sledovaná koľaj v Břeclavi

Na tejto lokalite prebehli do súčasnosti štyri etapy. Výsledky posunov som číselne uviedol v tabuľkách 7.8 až 7.13. Podobne ako v predchádzajúcej časti sú tabuľky usporiadané postupne ako nasledovali etapy po sebe. V tabuľkách sú hodnoty zmien oproti hodnotám Δn , Δe , Δv . Všetko hodnoty sú uvedené v mm a sú vzťahnuté k bodu B100, ktorý bol pri tomto meraní ako referenčný. Každú etapu som najskôr porovnal s prvou etapou a potom som spravil porovnanie medzi jednotlivými etapami.



← Obr. 7.1 Pohľad na sledovanú koľaj

v priebehu merenia

Rozdíl mezi etapami BE1 - BE0			
č.b.	Δn [mm]	Δe [mm]	Δv [mm]
1	-3,06	-17,78	368,93
2	26,27	-2,47	371,11
3	11,97	-6,43	390,47
4	22,34	-1,04	389,27
5	23,20	-6,16	364,86
6	6,08	-10,66	387,52
7	-3,39	-18,42	395,53
8	11,85	-4,49	386,93
9	1,28	-9,75	384,73
10	-13,10	-6,82	379,51
11	-4,35	-10,19	380,50
12	23,21	-13,51	390,58
13	-3,44	-11,76	366,18
14	-2,01	-7,71	370,56
15	-3,03	-5,06	388,87
16	-3,17	-15,05	386,55
17	-6,54	-10,87	386,02
18	-5,44	-13,35	390,54
19	-18,97	-0,71	390,40
20	15,35	-20,24	338,60

Tab. 7.8

Rozdíl mezi etapami BE2 - BE0			
č.b.	Δn [mm]	Δe [mm]	Δv [mm]
1	0,21	-10,47	368,94
2	23,16	2,58	391,45
3	14,62	-6,83	359,92
4	32,01	0,29	375,88
5	26,06	-4,30	364,94
6	17,06	0,00	389,82
7	3,54	-11,85	379,55
8	13,76	-0,99	381,87
9	8,06	-2,32	384,36
10	-8,41	1,18	389,64
11	-3,49	-0,50	390,90
12	27,19	-8,09	340,31
13	-0,78	-6,28	369,55
14	1,03	-4,68	349,29
15	-0,38	-4,91	366,20
16	8,23	-8,06	366,05
17	-4,36	-4,05	375,39
18	-3,72	-9,15	382,22
19	-7,53	0,96	378,98
20	3,27	-3,75	375,29

Tab. 7.9

Rozdíl mezi etapami BE3 - BE0			
č.b.	Δn [mm]	Δe [mm]	Δv [mm]
1	3,70	-16,60	366,87
2	22,42	-2,06	371,39
3	14,49	-4,03	378,25
4	26,15	-1,59	390,60
5	24,68	-3,27	375,63
6	13,43	-3,85	387,80
7	0,28	-14,66	399,57
8	7,78	3,70	381,44
9	-3,23	4,11	388,07
10	-17,93	6,14	394,12
11	-10,29	-4,77	389,16
12	21,10	-11,86	351,92
13	-4,61	-9,94	378,16
14	-0,01	-6,88	366,67
15	0,72	-7,94	383,24
16	7,24	-6,43	389,56
17	-0,47	-7,72	383,60
18	-2,58	-13,61	398,75
19	-9,51	-0,62	392,50
20	0,92	-6,92	371,84

Tab. 7.10

Rozdíl mezi etapami BE2 - BE1			
č.b.	Δn [mm]	Δe [mm]	Δv [mm]
1	3,28	7,31	0,01
2	-3,11	5,05	20,35
3	2,65	-0,40	-30,55
4	9,67	1,33	-13,39
5	2,86	1,86	0,08
6	10,97	10,66	2,30
7	6,94	6,56	-15,97
8	1,90	3,50	-5,06
9	6,78	7,43	-0,37
10	4,69	7,99	10,13
11	0,87	9,69	10,40
12	3,99	5,42	-50,27
13	2,67	5,47	3,37
14	3,04	3,02	-21,27
15	2,65	0,15	-22,68
16	11,40	6,99	-20,50
17	2,18	6,82	-10,63
18	1,72	4,20	-8,32
19	11,44	1,67	-11,42
20	-12,09	16,49	36,69

Tab. 7.11

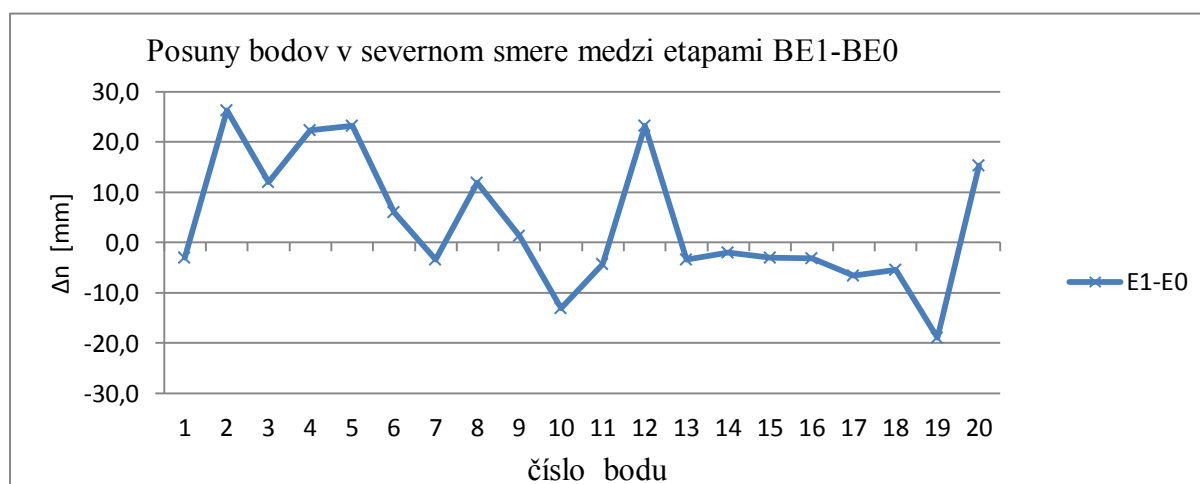
Rozdíl mezi etapami BE3 - BE1			
č.b.	Δn [mm]	Δe [mm]	Δv [mm]
1	6,76	1,19	-2,06
2	-3,85	0,40	0,28
3	2,53	2,40	-12,21
4	3,81	-0,55	1,33
5	1,48	2,89	10,78
6	7,34	6,81	0,27
7	3,68	3,76	4,04
8	-4,08	8,19	-5,49
9	-4,51	13,86	3,34
10	-4,84	12,95	14,61
11	-5,94	5,41	8,66
12	-2,10	1,65	-38,66
13	-1,16	1,81	11,97
14	2,00	0,83	-3,89
15	3,74	-2,88	-5,64
16	10,41	8,62	3,01
17	6,06	3,15	-2,42
18	2,86	-0,27	8,22
19	9,46	0,08	2,10
20	-14,43	13,32	33,24

Tab. 7.12

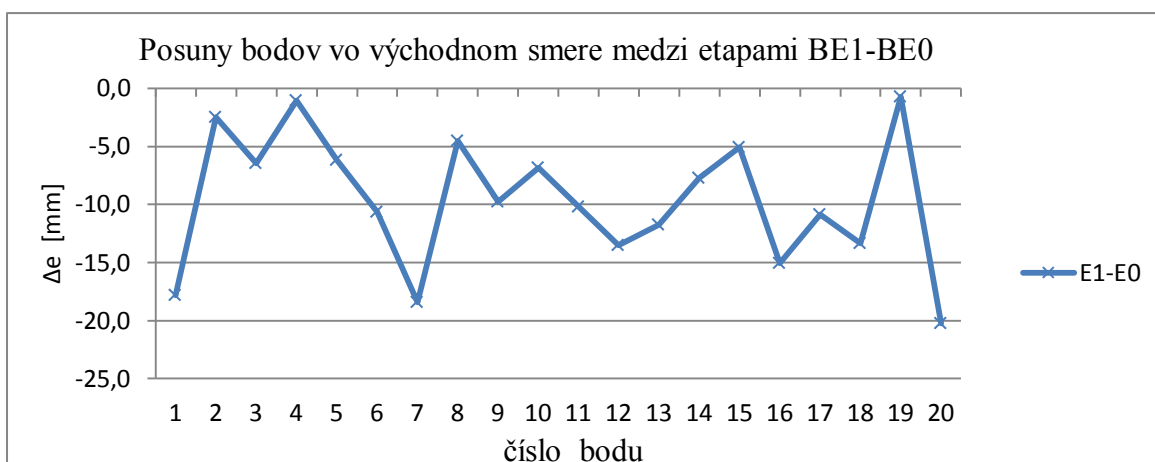
Rozdíl mezi etapami BE3 - BE2			
č.b.	Δn [mm]	Δe [mm]	Δv [mm]
1	3,48	-6,13	-2,07
2	-0,74	-4,64	-20,06
3	-0,12	2,79	18,34
4	-5,85	-1,88	14,72
5	-1,38	1,03	10,69
6	-3,63	-3,85	-2,02
7	-3,26	-2,81	20,02
8	-5,98	4,69	-0,42
9	-11,29	6,42	3,72
10	-9,52	4,96	4,48
11	-6,80	-4,28	-1,74
12	-6,09	-3,77	11,61
13	-3,83	-3,66	8,60
14	-1,04	-2,20	17,37
15	1,10	-3,03	17,04
16	-0,99	1,63	23,51
17	3,89	-3,67	8,21
18	1,14	-4,46	16,54
19	-1,98	-1,58	13,51
20	-2,35	-3,17	-3,45

Tab. 7.13

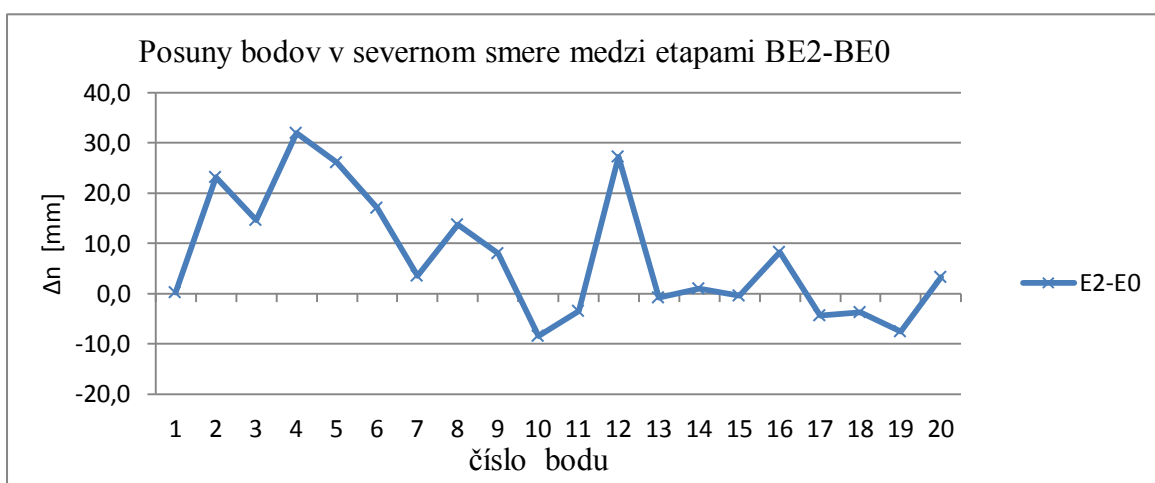
Presnosť merania som opäť určoval pomocou dvojíc bodov v jednotlivých etapách. Priemerná hodnota strednej súradnicovej chyby je $m_{ne} = 7$ mm. Stredná chyba v severnom smere má hodnotu $m_n = 7,5$ mm a vo východnom smere $m_e = 6,5$ mm. Výškovú presnosť podobne ako pri meraní v Zábřehu neposudzujem. Na nasledujúcich grafoch sú zobrazené jednotlivé posuny bodov medzi etapami v severných a východných smeroch.



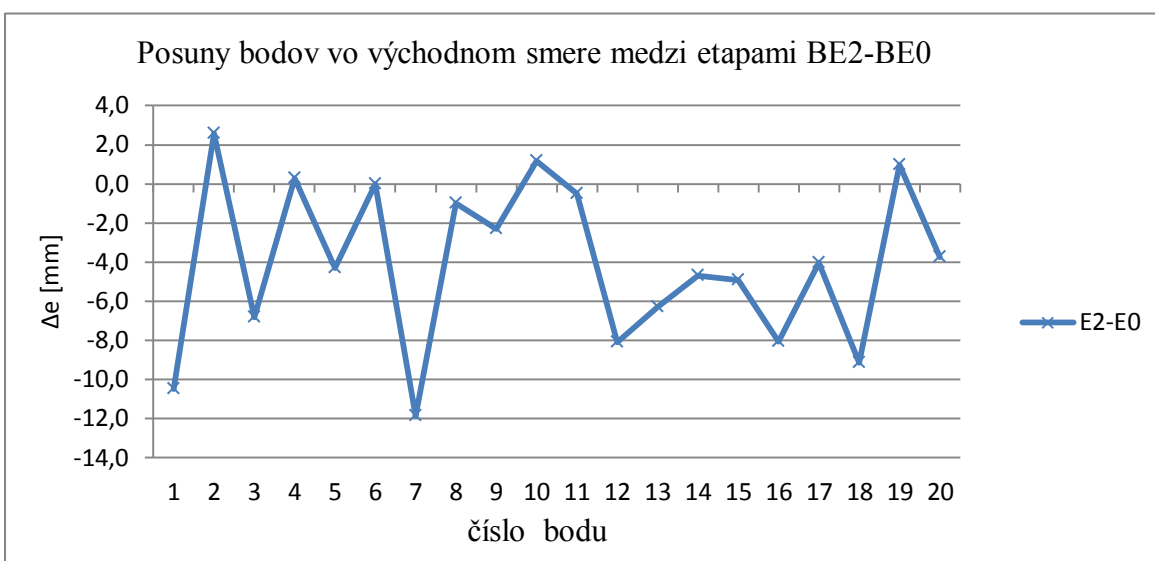
Graf 7.9



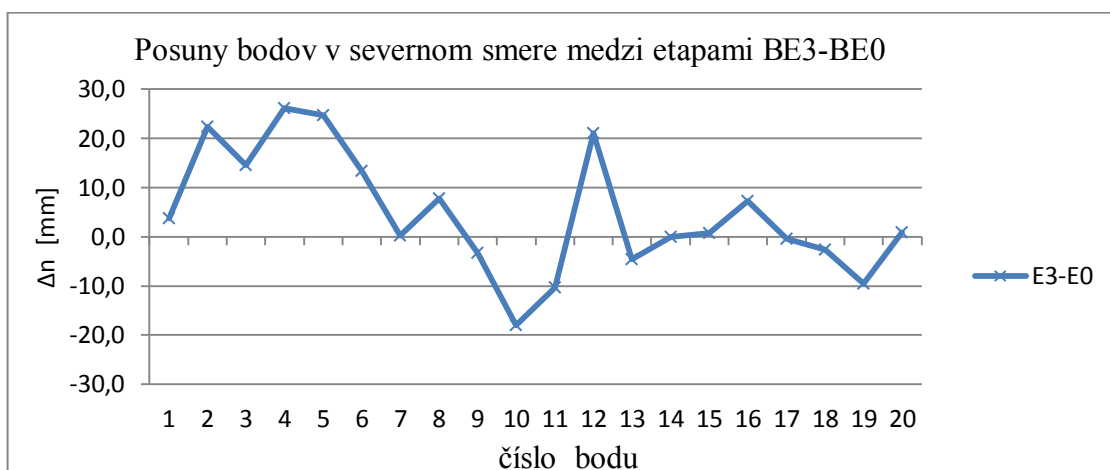
Graf 7.10



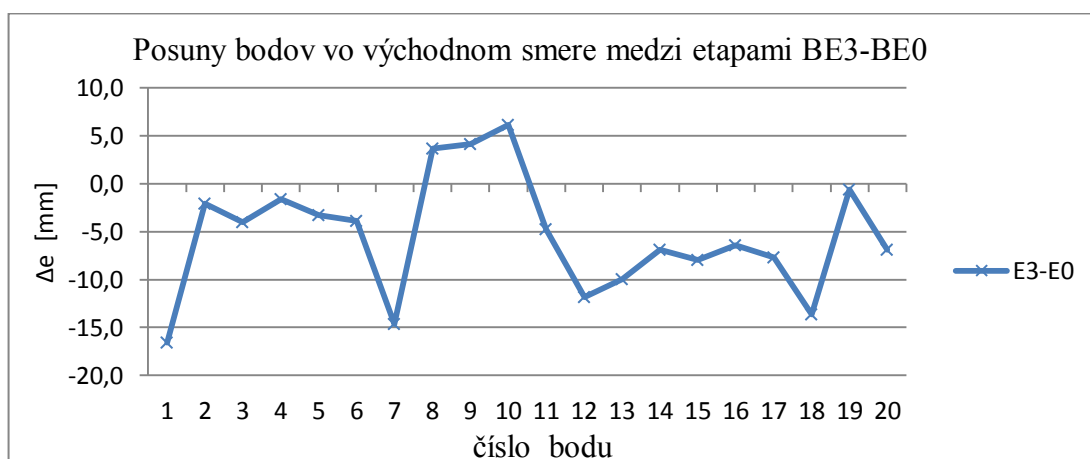
Graf 7.11



Graf 7.12

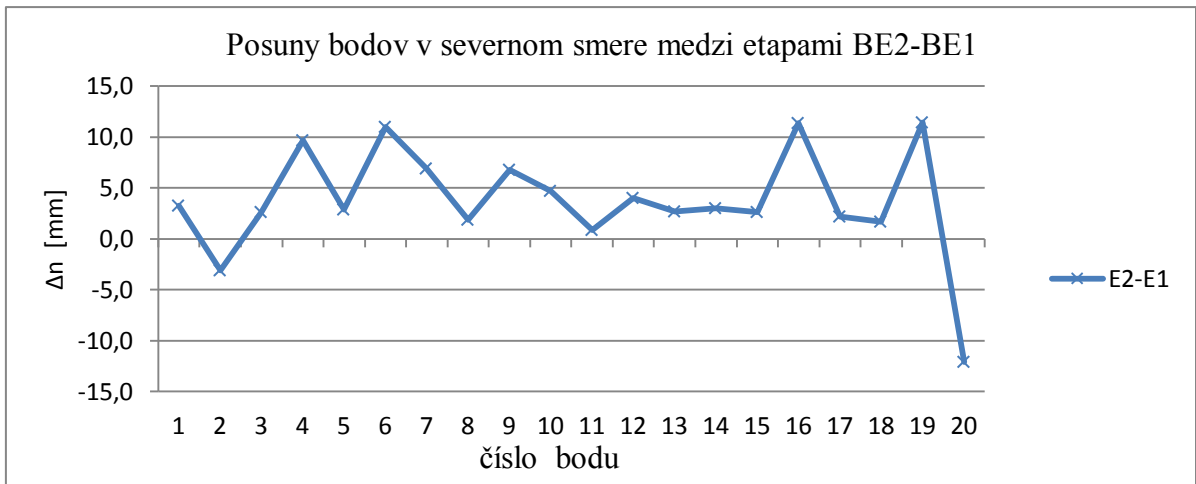


Graf 7.13

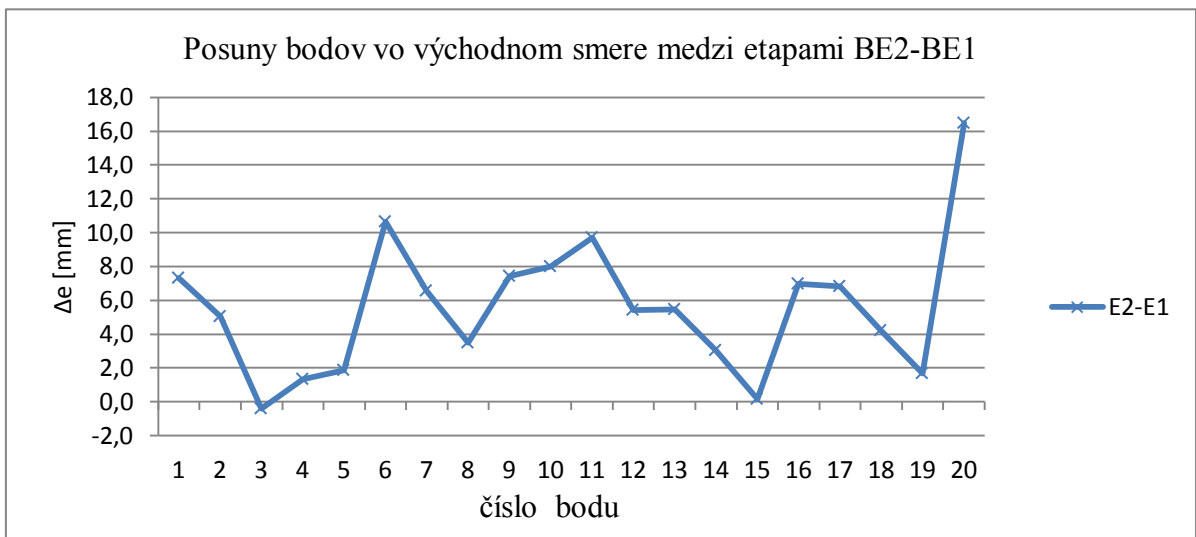


Graf 7.14

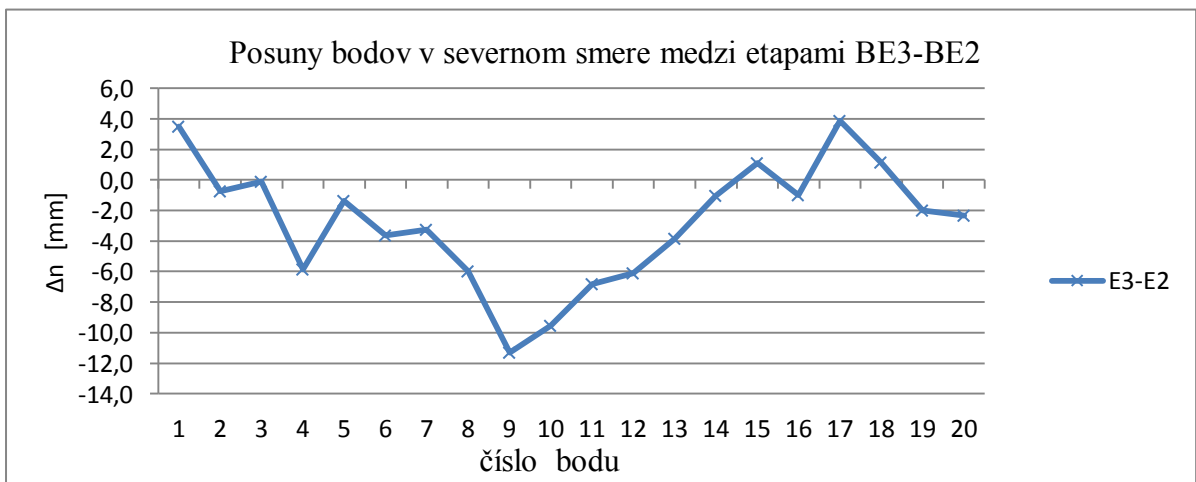
Na grafech 7.9 až 7.14 (vyššie) máme schematicky zobrazené posuny jednotlivých bodů v severních a východních směrech vzhledem k prvej etape BE0, vztiahnuté k referenčnímu bodu B100. Můžeme vidět, že k největším zmenám došlo mezi etapami BE1 a BE0, hlavne v směre na západ tam posuny dosahují až 2 cm. Největšie posuny mezi etapami sa pohybovali okolo 2,5 cm, zatiaľ čo tie najmenšie boli aj okolo 0,01 mm. V grafech 7.15 až 7.20 sú schematicky zobrazené posuny medzi jednotlivými etapami.



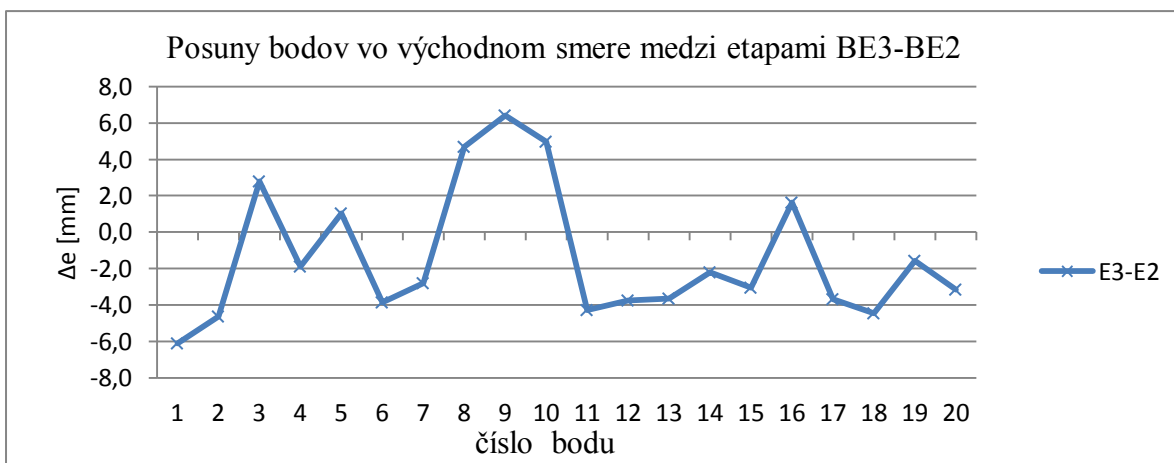
Graf 7.15



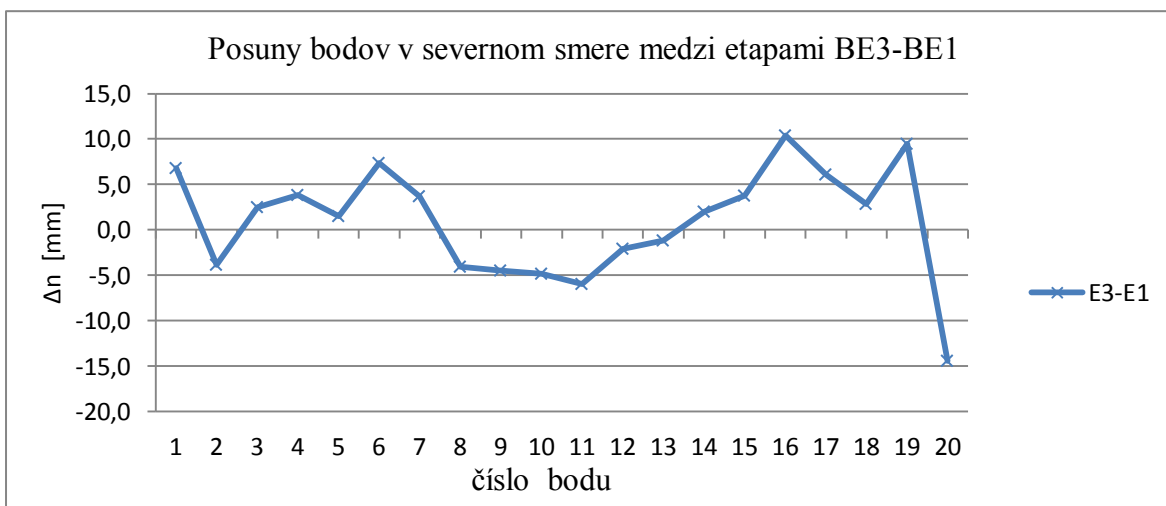
Graf 7.16



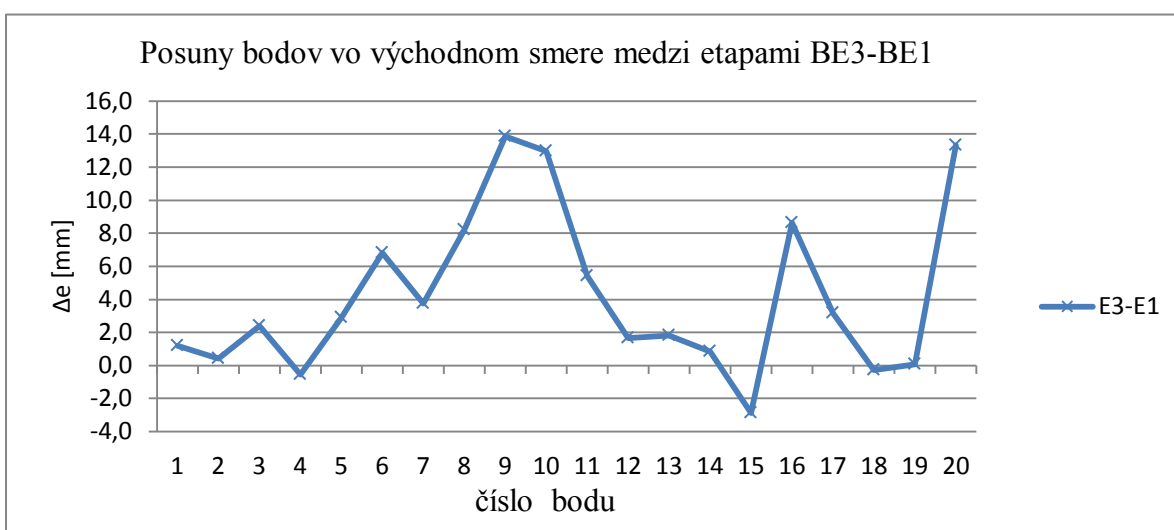
Graf 7.17



Graf 7.18

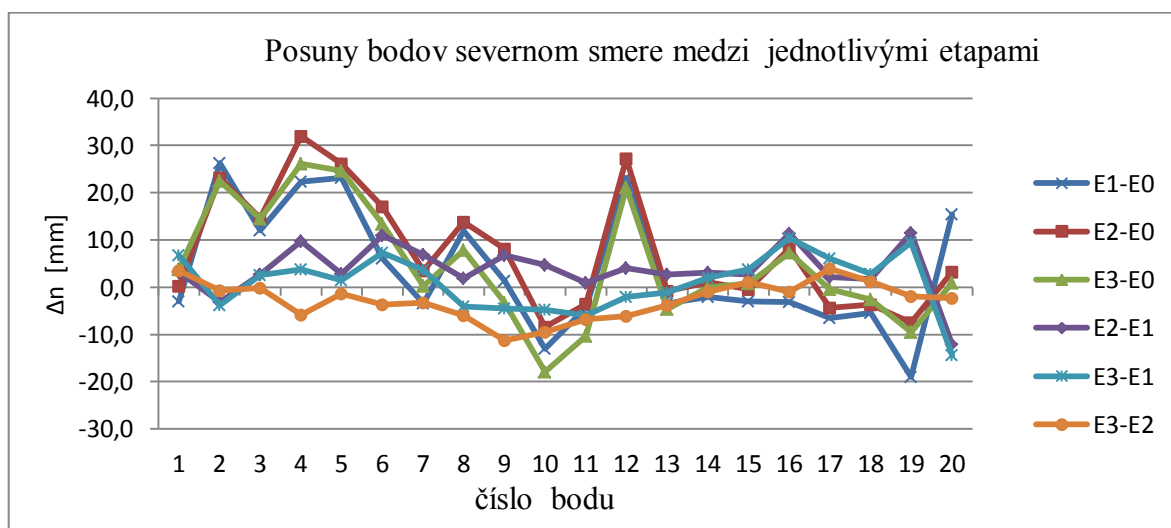


Graf 7.19

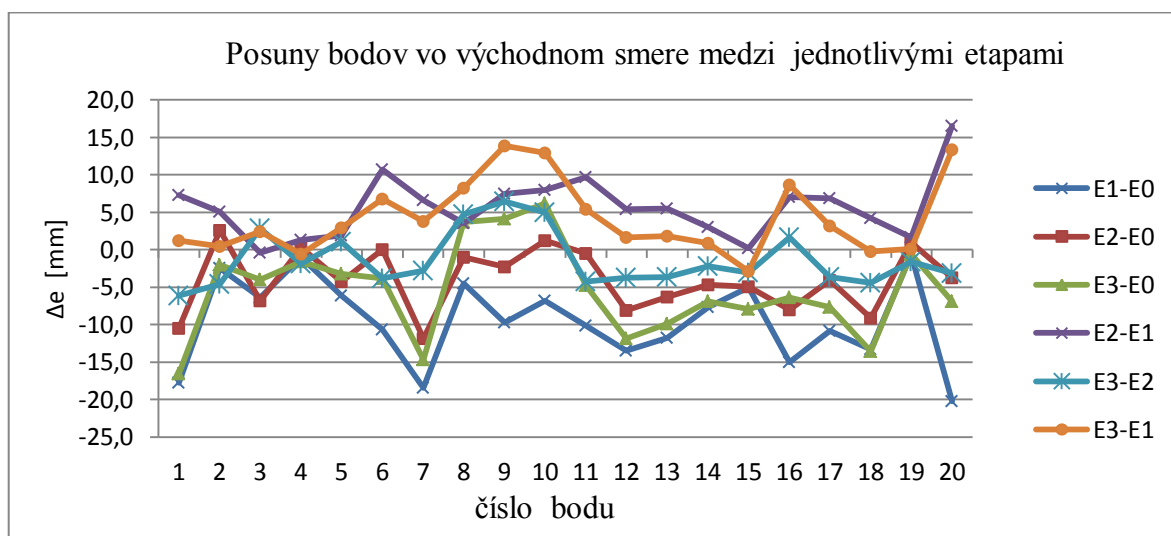


Graf 7.20

V grafech 7.15 – 7.20 vidíme ako sa menia posuny medzi jednotlivými etapami. Zatiaľ čo medzi etapami BE2 a BE1 sú najčastejšie posuny v severnom a východnom smere, tak medzi etapami BE3 a BE2 sú posuny hlavne v južnom smere. V posledných dvoch grafoch si ukážeme priebeh jednotlivých posunov v severnom aj južnom smere v kope. Vidíme ako sa postupne pohybujú niektoré body. V grafe 7.21 vidíme, že v severnom smere sa najviac posúvajú body 2 až 5 a bod 12, pričom body 10 a 19 vykazujú posun na juh. V grafe 7.22 zase môžeme vidieť, že skoro všetky vykazujú aspoň malé posuny na západ. Najväčšie posuny vykazujú body 1, 7 a 20. Grafy sú schematickým zobrazením posunov.



Graf 7.21



Graf 7.22

V nasledujících tabulkách zhodnotím či došlo na jednotlivých bodech medzi etapami k preukázaným posunom. Ako východzia etapa pre porovnávanie posunov bola zvolená prvá etapa. Posuny budem porovnávať s vypočítanými priemernými strednými chybami v severnom a východnom smere.

Zhodnotenie preukázaných posunov medzi etapami BE1- BE0				
č.b	Δn [mm]	posun v Δn	Δe [mm]	posun v Δe
1	-3,06	NIE	-17,78	ÁNO
2	26,27	ÁNO	-2,47	NIE
3	11,97	MOŽNO	-6,43	NIE
4	22,34	ÁNO	-1,04	NIE
5	23,20	ÁNO	-6,16	NIE
6	6,08	NIE	-10,66	MOŽNO
7	-3,39	NIE	-18,42	ÁNO
8	11,85	MOŽNO	-4,49	NIE
9	1,28	NIE	-9,75	MOŽNO
10	-13,10	MOŽNO	-6,82	MOŽNO
11	-4,35	NIE	-10,19	MOŽNO
12	23,21	ÁNO	-13,51	ÁNO
13	-3,44	NIE	-11,76	MOŽNO
14	-2,01	NIE	-7,71	MOŽNO
15	-3,03	NIE	-5,06	NIE
16	-3,17	NIE	-15,05	ÁNO
17	-6,54	NIE	-10,87	MOŽNO
18	-5,44	NIE	-13,35	ÁNO
19	-18,97	ÁNO	-0,71	NIE
20	15,35	ÁNO	-20,24	ÁNO

Tab. 7.14

V tabuľke 7.14 je zhodnotené preukázanie posunov medzi druhou a prvou etapou merania. Vidíme, že na väčšine bodov v severnom smere nedošlo k posunom. Na bodoch 3, 8, 10 mohli nastať posuny, no nie sú vzhľadom k presnosti určenia polohy preukázané. Najväčší posun nastal na bode 2, kde dosahuje hodnotu 26,27 mm. Najmenší preukázaný posun má hodnotu 15,35 mm na bode 20. Pri bodoch, na ktorých nedošlo k posunom sa hodnoty posunu pohybujú prevažne medzi 2,01 až 3,44 mm. Vo východnom smere došlo k posunom na bodoch 1, 7, 12, 16, 18 a 20. Na bodoch 6, 9, 10, 11, 13, 14 a 17 mohlo dôjsť k posunom, no nie sú preukázané. Najnižšia hodnota je 0,71 mm a najväčší posun nastal na bode 20, kde je posun 20,24 mm na západ. Väčšina posunov je v intervale 6 až 15 mm.

Zhodnotenie preukázaných posunov medzi etapami BE2- BE0				
č.b	Δn [mm]	posun v Δn	Δe [mm]	posun v Δe
1	0,21	NIE	-10,47	MOŽNO
2	23,16	ÁNO	2,58	NIE
3	14,62	MOŽNO	-6,83	MOŽNO
4	32,01	ÁNO	0,29	NIE
5	26,06	ÁNO	-4,30	NIE
6	17,06	ÁNO	0,00	NIE
7	3,54	NIE	-11,85	MOŽNO
8	13,76	MOŽNO	-0,99	NIE
9	8,06	MOŽNO	-2,32	NIE
10	-8,41	MOŽNO	1,18	NIE
11	-3,49	NIE	-0,50	NIE
12	27,19	ÁNO	-8,09	MOŽNO
13	-0,78	NIE	-6,28	NIE
14	1,03	NIE	-4,68	NIE
15	-0,38	NIE	-4,91	NIE
16	8,23	MOŽNO	-8,06	MOŽNO
17	-4,36	NIE	-4,05	NIE
18	-3,72	NIE	-9,15	MOŽNO
19	-7,53	MOŽNO	0,96	NIE
20	3,27	NIE	-3,75	NIE

Tab. 7.15

Vyššie v tabuľke 7.15 sú zhodnotené posuny medzi etapami BE2 (tretia) a BE0. Môžeme si všimnúť, že vo východnom smere nedošlo na žiadnom bode k preukázanému posunu. Najväčší možný posun bol na bode 7 a jeho hodnota je 11,85 mm. Bod 6 sa posun o 17,06 mm na sever, no v smere na východ má posun nulový. V severnom smere je päť bodov s preukázaným posunom a deväť bodov bez posunov. Na bodoch 3, 8, 9, 10, 16 a 19 posun nebol preukázaný. Najväčšia dosiahnutá hodnota posunu je na bode 4, ktorý sa v severnom smere posunul o 32 mm.

Zhodnotenie preukázaných posunov medzi etapami BE3- BE0				
č.b	Δn [mm]	posun v Δn	Δe [mm]	posun v Δe
1	3,70	NIE	-16,60	ÁNO
2	22,42	ÁNO	-2,06	NIE
3	14,49	MOŽNO	-4,03	NIE
4	26,15	ÁNO	-1,59	NIE
5	24,68	ÁNO	-3,27	NIE
6	13,43	MOŽNO	-3,85	NIE
7	0,28	NIE	-14,66	ÁNO
8	7,78	MOŽNO	3,70	NIE
9	-3,23	NIE	4,11	NIE
10	-17,93	ÁNO	6,14	NIE
11	-10,29	MOŽNO	-4,77	NIE
12	21,10	ÁNO	-11,86	MOŽNO
13	-4,61	NIE	-9,94	MOŽNO
14	-0,01	NIE	-6,88	MOŽNO
15	0,72	NIE	-7,94	MOŽNO
16	7,24	NIE	-6,43	NIE
17	-0,47	NIE	-7,72	MOŽNO
18	-2,58	NIE	-13,61	ÁNO
19	-9,51	MOŽNO	-0,62	NIE
20	0,92	NIE	-6,92	MOŽNO

Tab. 7.16

V tabuľke hore (7.16) sú zostavené posuny medzi štvrtou a prvou etapou. Najväčší preukázaný posun v severnom smere nastal na bode 4, jeho hodnota je 26,15 mm. O necelý centimeter menej sa posunul smerom na západ bod 1, ktorý má v tomto smere najväčší posun. Väčšina bodov vykázala posuny iba v severnom smere. Body číslo 9 a 16 sa neposunuli ani v jednom smere.

Zhodnotenie preukázaných posunov medzi etapami BE2- BE1				
č.b	Δn [mm]	posun v Δn	Δe [mm]	posun v Δe
1	3,28	NIE	7,31	MOŽNO
2	-3,11	NIE	5,05	NIE
3	2,65	NIE	-0,40	NIE
4	9,67	MOŽNO	1,33	NIE
5	2,86	NIE	1,86	NIE
6	10,97	MOŽNO	10,66	MOŽNO
7	6,94	NIE	6,56	MOŽNO
8	1,90	NIE	3,50	NIE
9	6,78	NIE	7,43	MOŽNO
10	4,69	NIE	7,99	MOŽNO
11	0,87	NIE	9,69	MOŽNO
12	3,99	NIE	5,42	NIE
13	2,67	NIE	5,47	NIE
14	3,04	NIE	3,02	NIE
15	2,65	NIE	0,15	NIE
16	11,40	MOŽNO	6,99	MOŽNO
17	2,18	NIE	6,82	MOŽNO
18	1,72	NIE	4,20	NIE
19	11,44	MOŽNO	1,67	NIE
20	-12,09	MOŽNO	16,49	ÁNO

Tab. 7.17

V tabuľke 7.17 máme zhodnotenie posunov medzi etapami BE2 a BE1. Vidíme, že v severnom smere nenastal žiadny preukázaných posunov, zatiaľ čo na piatich bodoch boli posuny možné, no nepreukázané. Vo východnom smere máme iba jeden preukázaný posun. V oboch smeroch sa mohol posunúť bod 20 a to 12 mm na juh a 16,5 mm na východ, posun na východ je preukázaný. Na bodoch 6 a 16 je v severnom i východnom smere možný, no nepreukázaný posun.

Zhodnotenie preukázaných posunov medzi etapami BE3- BE2				
č.b	Δn [mm]	posun v Δn	Δe [mm]	posun v Δe
1	3,48	NIE	-6,13	NIE
2	-0,74	NIE	-4,64	NIE
3	-0,12	NIE	2,79	NIE
4	-5,85	NIE	-1,88	NIE
5	-1,38	NIE	1,03	NIE
6	-3,63	NIE	-3,85	NIE
7	-3,26	NIE	-2,81	NIE
8	-5,98	NIE	4,69	NIE
9	-11,29	MOŽNO	6,42	NIE
10	-9,52	MOŽNO	4,96	NIE
11	-6,80	NIE	-4,28	NIE
12	-6,09	NIE	-3,77	NIE
13	-3,83	NIE	-3,66	NIE
14	-1,04	NIE	-2,20	NIE
15	1,10	NIE	-3,03	NIE
16	-0,99	NIE	1,63	NIE
17	3,89	NIE	-3,67	NIE
18	1,14	NIE	-4,46	NIE
19	-1,98	NIE	-1,58	NIE
20	-2,35	NIE	-3,17	NIE

Tab. 7.18

Ako vidíme v tabuľke 7.18, medzi poslednou (štvrtou) a treťou etapou nedošlo k žiadnym preukázaným posunom. V severnom smere sú na bodoch 9 a 10 možné, no nepreukázané posuny. Najnižšia hodnota posunu je 0,12 mm a najvyššia je na bode 9 a to 11,29 mm na juh. Väčšina posunov má hodnotu okolo 1 až 3 mm.

Zhodnotenie preukázaných posunov medzi etapami BE3- BE1				
č.b	Δn [mm]	posun v Δn	Δe [mm]	posun v Δe
1	6,76	NIE	1,19	NIE
2	-3,85	NIE	0,40	NIE
3	2,53	NIE	2,40	NIE
4	3,81	NIE	-0,55	NIE
5	1,48	NIE	2,89	NIE
6	7,34	NIE	6,81	MOŽNO
7	3,68	NIE	3,76	NIE
8	-4,08	NIE	8,19	MOŽNO
9	-4,51	NIE	13,86	ÁNO
10	-4,84	NIE	12,95	MOŽNO
11	-5,94	NIE	5,41	NIE
12	-2,10	NIE	1,65	NIE
13	-1,16	NIE	1,81	NIE
14	2,00	NIE	0,83	NIE
15	3,74	NIE	-2,88	NIE
16	10,41	MOŽNO	8,62	MOŽNO
17	6,06	NIE	3,15	NIE
18	2,86	NIE	-0,27	NIE
19	9,46	MOŽNO	0,08	NIE
20	-14,43	MOŽNO	13,32	ÁNO

Tab. 7.19

V poslednej tabuľke vidíme porovnanie etapy BE3 s etapou BE1. Vo východnom smere sú preukázané posuny na bodoch 9 a 20. Na bode 16 je možný posun v oboch sledovaných rovinách. Bod 20 vykazuje možný posun v severnom smere o -14,43 mm a vo východnom smere má preukázaný posun o 13,32 mm. Žiadny posun medzi týmito etapami nenastal až na 13 sledovaných bodoch.

7.2 Porovnanie posunov a presností

Posledným cieľom tejto záverečnej práce je porovnanie určených posunov železničnej koľaje získaných z meraní GPS metódami a klasických geodetických metód. Súčasne s tým nás zaujíma hlavne pomer presností určenia posunu medzi týmito metódami. V oboch lokalitách prebiehalo spolu s meraním GPS aj meranie polárnou metódou. Na toto meranie boli použité totálne stanice Topcon GPT-6001 a Topcon GS-6a.

Merania vykonávali prof. Ing. Otakar Švábenský, CSc. na oboch lokalitách, Bc. Zbyněk Suchánek na mostnom objekte v Zábřehu na Moravě a Bc. Bolek Staněk na mostnom objekte v Břeclavi. Posledný dvaja menovaný tieto merania absolvovali vrámci svojich záverečných prác. Po vlastnom vyhodnotení posunov a dosiahnutých presností merania mi zaslali výsledky práve pre účel porovnania.

Výsledkami terestrických meraní sú pozdĺžne a priečne posuny vzhľadom k osi koľaje. Na základe tejto skutočnosti som musel pred samotným porovnaním pretransformovať mnou určené posuny Δn a Δe , v lokálnej topocentrickej sústave „nev“, na zložky pozdĺžnych a priečných posunov v rovine osi železničnej koľaje. Vzťah pre túto transformáciu má maticový tvar

$$\begin{bmatrix} ds \\ dq \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta n \\ \Delta e \end{bmatrix}$$

,kde ds pozdĺžny posun,

dq priečný posun,

α smerník osi koľaje

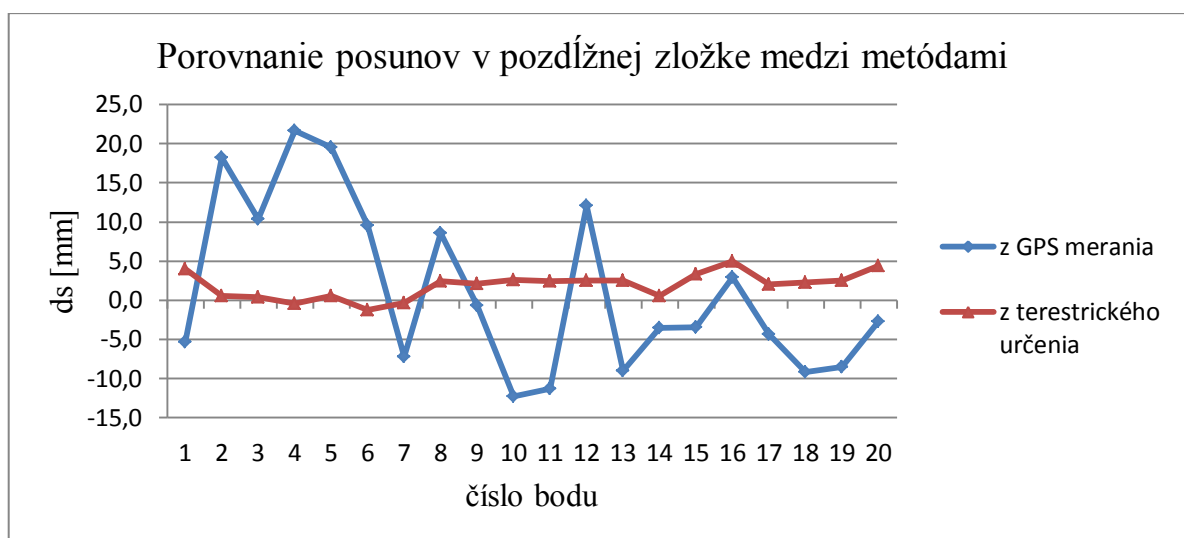
V Břeclavi bol smerník vypočítaný z bodov 1 a 19, zo súradníc. Jeho hodnota je $34,08^{\text{g}}$. Vzhľadom k tomu, že sledovaná koľaj sa v Břeclavi nachádza v priamej, postačuje nám určiť jeden smerník do výpočtu. V Zábřehu na Moravě sa však most nachádza v miernom oblúku, preto musíme pre niektoré body počítat' smerníky zvlášť. Hodnoty smerníkov použité pri transformácii v Zábřehu na Moravě:

$\alpha_{1,2} =$	$289,1523^{\text{g}}$	$\alpha_{6,15} =$	$300,2010^{\text{g}}$
$\alpha_{2,3} =$	$292,3686^{\text{g}}$	$\alpha_{15,16} =$	$302,3170^{\text{g}}$
$\alpha_{3,5} =$	$295,3953^{\text{g}}$	$\alpha_{16,17} =$	$304,5358^{\text{g}}$
$\alpha_{5,6} =$	$297,8867^{\text{g}}$	$\alpha_{17,18} =$	$305,9744^{\text{g}}$

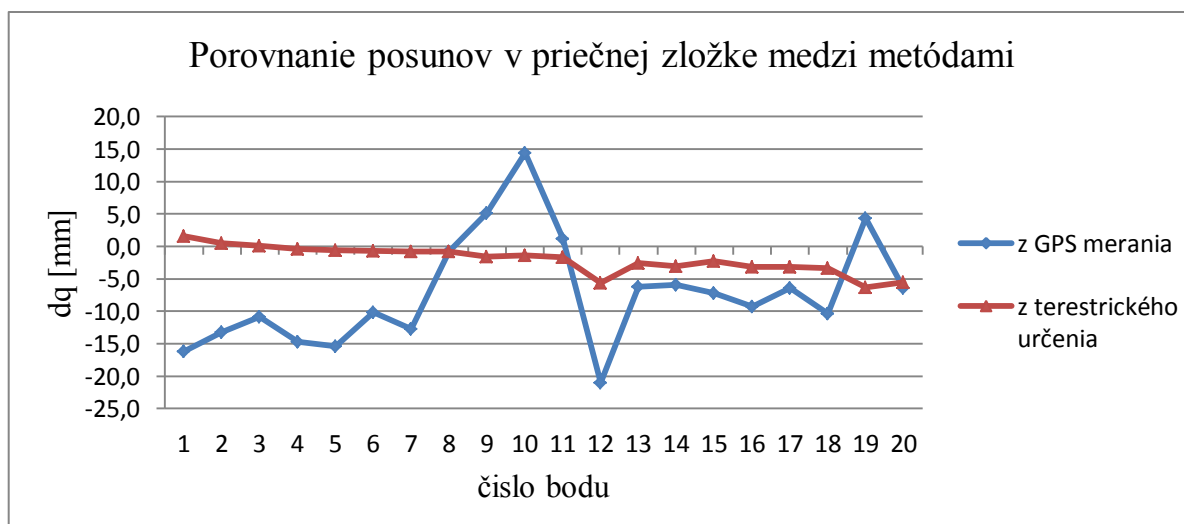
Tab. 7.20

Pri použití terestrickej metódy v Břeclavi bola zistená presnosť, charakterizovaná priemernou strednou chybou o hodnote 2,6 mm. V pozdĺžnom smere bola dosiahnutá presnosť 1,4 mm a v priečnom smere 3,4 mm. Pri meraní GPS bola priemerná stredná chyba v určení polohy 7 mm. Samotné porovnanie posunov medzi metódami je ako

príloha č. 9 tejto práce. Nachádzajú sa v nej tabuľky kde sú usporiadané jednotlivé posuny z oboch metód, tieto hodnoty sú v milimetroch. Najväčší rozdiel medzi posunmi nastal na bode 20 medzi etapami E1 – E0. Pre porovnanie metód sme určili priemerné rozdiely posunov, v pozdĺžnej zložke je priemerný rozdiel 0,4 mm, v priečnej zložke -10,3 mm. Na grafe 7.23 je porovnanie získaných posunov v pozdĺžnom smere medzi prvou a štvrtou etapou, ako porovnanie výsledkov medzi metódami určenia. Na grafe 7.24 sú zase posuny v priečnom smere medzi použitými metódami. Grafy sú schematické.



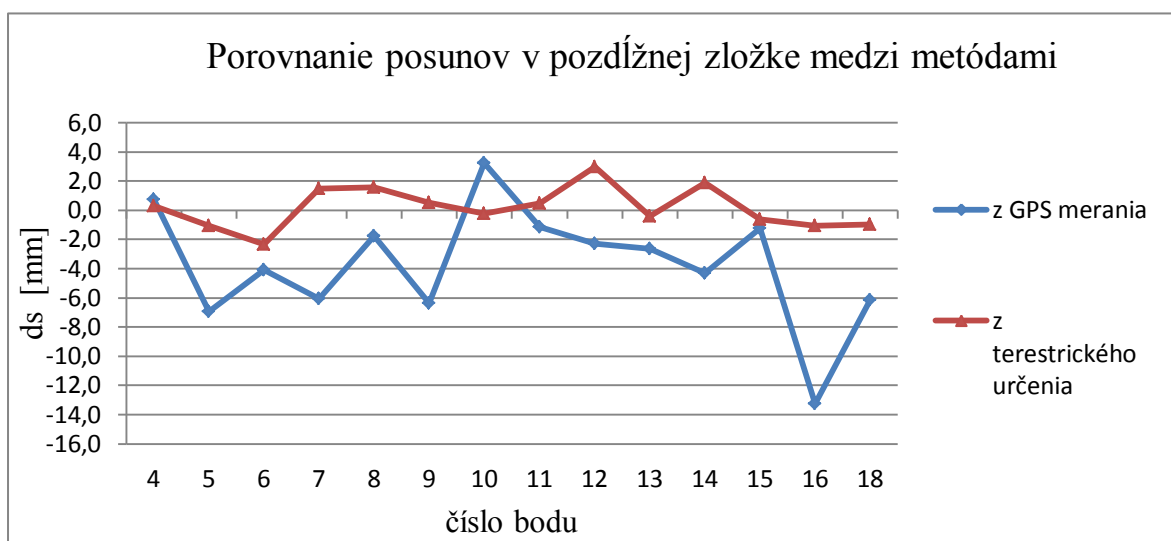
Graf 7.23



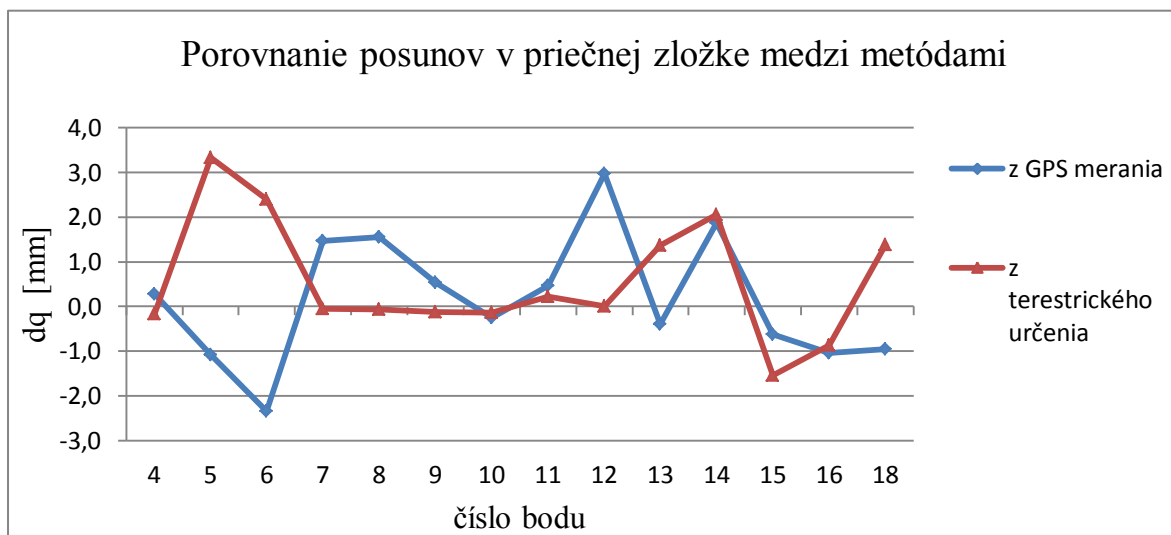
Graf 7.24

Pri meraní v Zábřehu boli presnosti pre posúdenie posunov určené pre jednotlivé body medzi etapami samostatne ako presnosť v pozdĺžnej a priečnej zložke. Celková

priemerná presnosť v oboch smeroch má hodnotu 1,2 mm. Pri GPS metóde bola dosiahnutá priemerná stredná chyba v určení polohy 7,8 mm. Porovnanie posunov medzi metódami je súčasťou práce ako príloha č.10. Najväčší rozdiel medzi posunmi je 17 mm. Priemerná hodnota rozdielu v pozdĺžnej zložke je -2,8 mm a v priečnej zložke -2 mm. V grafoch 7.25 a 7.26 (nižšie) je schematicky znázornené porovnanie zistených posunov medzi metódami. Do porovnania som použil posuny medzi treťou a druhou etapou.



Graf 7.25



Graf 7.26

ZÁVER

Cieľom mojej záverečnej práce bolo zhodnotiť posuny železničného zvršku s využitím metód GPS v rôznych klimatických podmienkach. Posuny boli riešené na železničných objektoch v Zábřehu na Moravě a v Břeclavi. Tieto posuny sú sledované v dôsledku veľkých dilatačných dĺžok koľajníc.

Pri spracovaní meraní zo Zábřehu sme prišli na problém v meraní prvej etapy, kde prevládali nepriaznivé podmienky pre družicové merania čo sa podpísalo pod presnosti v dôsledku výpadkov inicializácie merania. Z toho dôvodu som zvolil ako vzťažnú druhú etapu merania v Zábřehu. V prvej som na základe nepriaznivých výsledkov odstránil zo spracovania body 4, 16, 17 a 18. V druhej etape na tejto lokalite došlo k neobvyklej chybe na bodoch 1 až 3, ktoré som zo spracovania taktiež vylúčil a porovnal som ich iba medzi prvou a tretou etapou. Posuny na tejto lokalite dosahovali hodnôt od 0,1 mm až po 20,5 mm, ktorú dosiahol bod číslo 14 pri porovnaní prvej a druhej etapy merania. V prevažnej väčšine sa hodnoty pochybovali medzi 1 – 4 mm. Bod 15 vykazoval posun v oboch zložkách (severnej a východnej) pri porovnaní medzi prvou a druhou etapou, pričom v severnom smere bol tento posun preukázaný. Pri porovnaní medzi prvou a tretou etapou je na tomto bode posun možný, no nepreukázaný. V oboch prípadoch bol však posun väčší ako ± 14 mm v severnom smere a ± 11 mm vo východnom smere, pričom medzi etapami ZE2-ZE0 mali tieto posuny smer juh a západ, pri porovnaní prvej a druhej etapy boli smery opačné. V celkovom porovnaní medzi etapami došlo k preukázaným posunom iba na troch bodoch. Medzi etapami ZE0-ZE1, to boli body 14 a 15 v severnom smere, a medzi etapami ZE2 – ZE1 bod 18, opäť v severnom smere. Nižšie presnosti mohlo v Zábřehu spôsobiť aj okolie mostu, ktoré mohlo zatieňovať signály z družíc.

V Břeclavi sa na sledovanom objekte uskutočnili už štyri etapy. Mostný objekt sa naopak nachádza na rovine, preto sme až na pár bodov na začiatku prvej a štvrtej etapy nemali problém s výpadkami inicializácie. Najnižší zistený posun bol presne nulový a to na bode 6 vo východnom smere medzi etapami BE2-BE0. Najväčší preukázaný presun mal v rovnakom porovnaní etáp bod 4 v severnom smere. Väčšina hodnôt posunov sa pohybovala medzi 1 až 5 mm. Celkovo dvanásť krát bol preukázaný presun, ktorý presahoval hodnotu 2 cm. Pri porovnaní doposiaľ posledných dvoch etáp nebol preukázaný posun ani na jednom zo sledovaných bodov.

Většina posunov na oboch mostoch mohla nastať práve vďaka veľkým dilatačným dĺžkami. Medzi jednotlivými etapami dochádzalo k značným teplotným rozdielom, čo pôsobí na koľajové teleso, čím mohli vzniknúť práve tieto posuny. Rovnako vplyvom teplotných zmien sa pohybuje aj nosná konštrukcia oboch mostov. V neposlednom rade mohli tieto posuny ovplyvniť aj vlaky, prechádzajúce po týchto tratiach.

V samotnom závere mojej práce zhodnotím použitie metódy GPS v zrovnaní s terestrickými metódami. Je všeobecne známe, že metódou GPS nedosiahneme také presnosti ako pri správne riešenej terestrickej metóde (polárna metóda). Dokazujú to aj výsledky mojej záverečnej práce, kedy rozdiely posunov medzi metódami sa líšili aj desať násobne. Na družicové meranie vplýva väčšie množstvo rušivých aspektov, ktoré sa len veľmi ťažko odstraňujú. Na základe porovnania určenia posunov a presností medzi týmito metódami môžeme vysloviť, že pomer presnosti medzi GPS a terestrickými metódami je 4:1, v prospech použitej polárnej metódy.

Zoznam použitej literatúry

- [1] Cibula, A.: *Měření posunů a přetvoření osy železniční koleje*. DP VUT Brno 2010.
- [2] ŠVÁBENSKÝ, O; VITULA, A; BUREŠ, J.: *Inženýrská geodézie I, M02 Geodézie ve stavebnictví*, VUT Brno, 2006
- [3] ŠVÁBENSKÝ, O; VITULA, A; BUREŠ, J.: *Inženýrská geodézie II, M02 Praktické úlohy inženýrské geodézie*, VUT Brno, 2007
- [4] ŠVÁBENSKÝ, O; VITULA, A; BUREŠ, J.: *Inženýrská geodézie II, M03 Geodézie ve stavebních oborech*, VUT Brno, 2007
- [5] PISCA, P.: *Globálne navigačné systémy, 1.vydanie*, Žilina, 2005, <http://svf.utc.sk/kgd/>
- [6] BITTERER, L.: *Geodézia, 5.vydanie*, Žilina, 2003, <http://svf.utc.sk/kgd/g>
- [7] Burgan, J.: *Automatizácia využitia služieb používajúcich metódu presného určovania absolútnej polohy PPP*. In Juniorstav 2010 : 12. Odborná konferencia doktorského studia.Brno,VUT,24.2.2010. Brno: Vysoké učení technické v Brně- Fakulta stavební, 2010, ISBN 978-80-214-4042-5.
- [8] PLÁŠEK, O.: *Interakce koleje a mostů s velkými dilatačními délkami*, průběžná správa k 31.12.2013, VUT Brno, 2013
- [9] BARTOŇ, P; BRŮŽEK, R.: *Rekonstrukce železničního uzlu Břeclav SO 01-19-21 Most v km 82,467*, dostupné z <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/rekonstrukce-zeleznicniho-uzlu>
- [10] autor neznámy, *Elektrizace trati Zábřeh – Šumperk*, dostupné z <http://www.szdc.cz/modernizace-drahy/prehled-staveb/op-doprava/zabreh-sumperk.html>
- [11] autor neznámy, *Rekonstrukce železničního uzlu Břeclav, 1. stavba*, dostupné z <http://www.szdc.cz/modernizace-drahy/prehled-staveb/op-doprava/breclav-1.st.html>
- [12] MACHOTKA, R; FIXEL, J.: *Geodetická astronomie a kosmická geodézie II, M01 Kosmická geodézie*, VUT Brno, 2007



Zoznam použitých skratiek

VUT – Vysoké učení technické v Brně

SŽDC – Správa železniční dopravní cesty

TU – traťový úsek

GPS – Global Positioning System

GNSS – Globálne satelitné navigačné systémy

NAVSTAR – Navigation Satellite Timing And Ranging

GLONASS – GLObal'naja NAVigocionnaja Spitnikovaja Sistema

PPP – Precise Point Positioning

ČSN EN – Česká státní norma, která zavádza do sústavy európsku normu



Zoznam príloh

- Príloha č. 1: Prehľadná situácia mostu v Zábřehu na Moravě
- Príloha č. 2: Prehľadná situácia mostu v Břeclavi
- Príloha č. 3: Processing summary ZABREH – report z programu LGO
- Príloha č. 4: Processing summary BRECLAV – report z programu LGO
- Príloha č. 5: Grafické znázornenie posunov v severnom smere – Zábřeh
- Príloha č. 6: Grafické znázornenie posunov vo východnom smere - Zábřeh
- Príloha č. 7: Grafické znázornenie posunov v severnom smere – Břeclav
- Príloha č. 8: Grafické znázornenie posunov vo východnom smere - Břeclav
- Príloha č. 9: Tabuľky porovnania posunov medzi metódami – Břeclav
- Príloha č. 10: Tabuľky porovnania posunov medzi metódami - Zábřeh