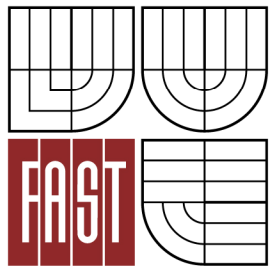


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

MĚŘENÍ PŘETVOŘENÍ MOSTNÍ KONSTRUKCE A ŽELEZNIČNÍHO SVRŠKU

DEFORMATION SURVEYING OF BRIDGE CONSTRUCTION AND RAILWAY TRACK

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. BOLESLAV STANĚK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. OTAKAR ŠVÁBENSKÝ, CSc.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646T003 Geodézie a kartografie
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Boleslav Staněk
Název	Měření přetvoření mostní konstrukce a železničního svršku
Vedoucí diplomové práce	prof. Ing. Otakar Švábenský, CSc.
Datum zadání diplomové práce	30. 11. 2013
Datum odevzdání diplomové práce	30. 5. 2014
V Brně dne 30. 11. 2013	

.....
doc. Ing. Josef Weigel, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

1. ČSN 73 0405 Měření posunů stavebních objektů
2. ŠVÁBENSKÝ, O; VITULA, A; BUREŠ, J.: Inženýrská geodézie I, M01 Základy inženýrské geodézie, VUT Brno, 2006
3. ŠVÁBENSKÝ, O; VITULA, A; BUREŠ, J.: Inženýrská geodézie I, M02 Geodézie ve stavebnictví, VUT Brno, 2006
4. Michalčák O. a kol.: Inžinierska geodézia II. Alfa Bratislava 1990

Zásady pro vypracování

Vykonejte měření a vyhodnocení všech dosavadních etap měření posunů kolejnicových pásů a nosné konstrukce v úseku mostu přes Dyji v Břeclavi. Výsledky vyhodnocení číselně a graficky dokumentujte.

Předepsané přílohy

.....
prof. Ing. Otakar Švábenský, CSc.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá etapovým měřením přetvoření mostní konstrukce a železničního svršku na mostě přes řeku Dyji v Břeclavi a jeho blízkého okolí. Hlavním cílem bylo určení podélných posunů kolejnicového pásu a mostní konstrukce. Předmětem této práce byly také příčné posuny způsobené převážně z důvodu teplotní změny. V úvodu práce je popsána lokalita. Další část se zabývá metodikou terestrického měření posunů a kalibrací vybraných měřických pomůcek. Dále je zde uvedeno zpracování měření a jednotlivé výpočty. V závěru práce jsou vyhodnoceny podélné i příčné posuny, které jsou graficky znázorněny v přílohách.

Abstract

This diploma thesis deals with the phases measuring deformation of the bridge construction and railway superstructure on the bridge over the river Dyje in Breclav and its surroundings. The main goal was to determine the longitudinal displacements of the rail web and the bridge structure. The object of this thesis was also transverse displacements which have been caused mainly due to temperature changes. The introduction describes the location. The following section discusses the methodology terrestrial deformation measurements and calibrations selected surveying devices. Furthermore, there is stated the processing of measurements and the calculations. In conclusion, the thesis evaluates the longitudinal and transverse displacements, which are shown in the annexes.

Klíčová slova

mostní konstrukce, železniční svršek, měření posunů, geodetické etapové měření, polární metoda, metoda protínání vpřed, kalibrace

Keywords

bridge structure, railway superstructure, measurements of deformation, geodetically phases measurement, polar method, forward intersection method, calibration

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Boleslav Staněk Měření přetvoření mostní konstrukce a železničního svršku. Brno, 2014. 43 s., 21 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce prof. Ing. Otakar Švábenský, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22. 5. 2014

.....
podpis autora
Bc. Boleslav Staněk

Poděkování:

Děkuji svému školiteli, prof. Ing. Otakar Švábenský, CSc. za cenné rady a připomínky při vypracovávání diplomové práce a za odbornou, technickou, materiální pomoc.

V Brně, dne 22. 5. 2014

.....

podpis autora

Bc. Boleslav Staněk

OBSAH

1. ÚVOD.....	9
2. LOKALITA.....	10
2.1 Historie.....	11
2.2 Rekonstrukce.....	11
3. MĚŘENÍ.....	14
3.1 Vztažné body.....	14
3.2 Orientační body.....	14
3.3 Pozorované body.....	14
4. MĚŘICKÉ POMŮCKY.....	16
4.1 Totální stanice.....	16
4.2 Speciální měřicí vozík.....	17
5. MĚŘICKÉ METODY.....	19
5.1 Polární metoda.....	19
5.2 Protínání vpřed.....	20
6. ETAPY.....	22
6.1 Etapa 0.....	22
6.2 Etapa 1.....	22
6.3 Etapa 2.....	23
6.4 Etapa 3.....	23
7. KALIBRACE.....	24
7.1 Úhlová kalibrace.....	24
7.2 Délková kalibrace.....	25
8. ZPRACOVÁNÍ MĚŘENÍ.....	27
8.1 Polární metoda.....	27
8.2 Protínání vpřed.....	29

9. VÝPOČET.....	30
9.1 Výpočet polární metody.....	30
9.2 Rozbor přesnosti polární metody.....	30
9.3 Výpočet protínání vpřed.....	32
9.4 Rozbor přesnosti protínání vpřed.....	33
9.5 Elipsy chyb.....	34
9.6 Rozbor přesnosti dvojic měření.....	34
10. VÝSLEDKY.....	36
11. GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ.....	39
12. SHRUTÍ.....	40
13. ZÁVĚR.....	41
14. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	42
15. SEZNAM PŘÍLOH.....	43

1. ÚVOD

Tématem této diplomové práce je měření přetvoření mostní konstrukce a železničního svršku. Tato práce je součástí komplexního projektu měření posunů pro Správu železniční dopravní cesty s.p. (dále jen SŽDC). Daná lokalita se nachází v Břeclavi. Jedná se o část železničního mostu přes řeku Dyji v km 82,467 a jeho přilehlé součásti. Předmětem této práce je zaměření a vyhodnocení podélných a příčných posunů kolejnicového pásu vhodnou klasickou geodetickou terestrickou metodou s důrazem na podélné posuny. Tato práce je součástí komplexnějšího monitoringu zadané mostní konstrukce. Na tomto monitoringu se podílí jak Ústav geodézie tak i například Ústav železničních konstrukcí a staveb Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně (dále jen VUT v Brně).

Dále tato práce také slouží jako podklad pro připravovanou národní přílohu normy ČSN EN 1991-2 Zatížení konstrukcí – část 2: Zatížení mostů a pro aktualizaci tabulky přípustných dilatačních délek předpisu SŽDC S3 „Železniční svršek, Díl XII“.

Dosud byly zaměřeny 4 etapy. Všechny byly zaměřeny v rámci této diplomové práce. Měření probíhá od června 2013.

2. LOKALITA

Most se nachází na jižním zhlaví železniční stanice Břeclav, v místě křížení tří železničních tratí s řekou Dyjí. Most má pět otvorů, kterými překleneje řeku Dyji, její inundační území a cyklostezku. Rozpětí nosných konstrukcí je 15,0 m + 15,0 m + 17,9 m + 17,9 m + 13,8 m. Šířka mostu v ose je 25,61 m a stavební výška konstrukce je 1,57 m. Osová vzdálenost všech pěti kolejí na mostě je 4,75 m, VMP 3,0. Jedná se v podstatě o tři mostní objekty na třech tratích. Most je založen v obtížném prostředí navážek, náplavových hlín, písků, štěrků a plastických jíílů. Koleje jsou v přímé s vodorovnou niveletou. Nosné konstrukce jsou ocelové s průběžným kolejovým ložem, mostní ložiska jsou hrncového typu. Mostní objekt tvoří celkem tři mostní konstrukce, každá jako spojitý nosník o pěti polích. Sledovaná kolej je levá kolej na mostním objektu a na nosné konstrukci ve směru na Břeclav. Celková délka nosné konstrukce je 80,3 m. Sledovaná kolej je tvořena soustavou železničního svršku 49 E1 na betonových pražcích B 91 S/2 s upevněním W 14. Staničení mostu stoupá od státní hranice směrem k Břeclavi. [1]



Obr. č. 2 – sledovaný most v červnu 2013

2.1 Historie

Tento most je součástí tratě Břeclav – Hrušovany nad Jevišovkou – Znojmo. Dnešní traťový úsek vznikl ze dvou odboček z hlavní trati c. a k. privilegované společnosti Státní dráhy Vídeň-Hrušovany n. J. - Střelice (Brno). Úsek Hrušovany nad Jevišovkou - Znojmo postavila jmenovaná společnost zároveň s hlavní dráhou v roce 1870, čímž bylo docíleno železničního spojení Znojma a Brna. Provoz na úseku Hrušovany n. J. - Břeclav byl zahájen až v roce 1872 úsilím c. a k. privilegované společnosti Dráhy Břeclav – Mikulov - Hrušovany n. J. Na tuto trať navazovala dnes již neexistující trať z Novosedel do Lávy nad Dyjí a dále až do Sigmundsherbergu na trati císaře Františka Josefa. Úsek z Novosedel do Lávy byl po vzniku Československa zrušen v roce 1930.

Trať měla velký strategický význam pro vznikající Československo. Bylo to jedním z argumentů pro připojení Valticka, jímž trať prochází. V době existence železné opony sloužila trať na většině úseku Boří les - Hrušovany nad Jevišovkou pro vymezení hraničního pásma. [2]



Obr. č. 2. 1 – sledovaný most před rekonstrukcí [1]

2.2 Rekonstrukce

V roce 2009 proběhla rekonstrukce mostu v rámci celkové rekonstrukce železničního uzlu Břeclav, 1. stavba. S ohledem na celkový stav mostu, nevyhovující přechodnost na UIC-D4/120, nemožnost rozvinutí zhlaví železniční stanice Břeclav a zvýšení rychlosti až na 120 km/hod bylo rozhodnuto o celkové přestavbě mostu. U

ocelového mostu s tvarem kolejnic UIC 60 je maximální přípustná dilatační délka při bezстыkové koleji 80 m. Za tohoto předpokladu by bylo nutné vytvořit pevné ložisko na některém z pilířů anebo upravit opěry s úložnými prahy tak, aby bylo možné provést ocelovou konstrukci na délku max. 80 m. Po statickém posouzení stávajících pilířů bylo rozhodnuto o úpravě opěry a tím i zkrácení délky přemostění.

Při projednávání bylo předloženo ekonomické zhodnocení variant pro zvýšení únosnosti základové půdy tak, aby vyhověla pro zatížení od vlaku UIC-71 nebo od vlaku ČSD-T. S ohledem na malý cenový rozdíl bylo rozhodnuto o zlepšení základové půdy na únosnost pro zatížení od vlaku ČSD-T. [1]

Po zvážení veškerých aspektů byla vybrána varianta spojitě ocelové konstrukce.



Obr. č. 2. 2 – sledovaný most v době rekonstrukce [1]

Po rekonstrukci tvoří nosnou mostní konstrukci 3 spojitě konstrukce o pěti polích s průběžným kolejovým ložem. Každá konstrukce byla navržena jako ocelová plnostěnná svařovaná konstrukce s horní mostovkou. Zvolená konstrukce umožnila rychlou výstavbu s minimálními výlukami. Celá nosná konstrukce byla vyrobena v mostárně a na stavbu se vozily již velké dílce o max. hmotnosti 64 t. Tyto dílce pak byly svařeny do jednoho celku a vysunuty do mostního otvoru. Při realizaci návrhu bylo nakonec použito velké množství oceli (cca 1450t). Jiná forma řešení nebyla možná vzhledem ke geologii, extrémně stlačené

stavební výšce, požadavku na minimalizaci výluk a dobu výstavby. Domnívám se, že se jedná o zdařilou konstrukci, která bude splňovat požadavky moderní železniční dopravy 21. století. [1]

3. MĚŘENÍ

3.1 Vztažné body

Vztažnou soustavu tvoří 2 body. Jsou to stanoviška pro použité totální stanice. Oba body se nachází na krajích mostní konstrukce v blízkosti sledované koleje. Body jsou označeny jako 100 a 200. Bod 100 je umístěn na severním kraji mostní konstrukce v betonové opěře. Bod 200 je umístěn na jižním kraji mostní konstrukce v betonové opěře. Oba body jsou stabilizovány nastřelovacími hřebíky. Přehledný náčrt měřických stanovišek je uveden v situaci v příloze č. 1.



Obr. 3. 2 – stanoviško 100

3.2 Orientační body

Při měření jednotlivých etap bylo provedeno měření orientačních směrů. Měření sloužilo jak pro kontrolu postavení přístroje v průběhu měření, tak i pro určování orientačních posunů mezi jednotlivými etapami. Jako orientační body byly zvoleny 3 trvale signalizované body na okolních stavbách. Vzdálenosti orientací byly do 300 m.

3.3 Pozorované body

Na sledovaném úseku bylo vyznačeno celkem 48 bodů. Na obou kolejnicových páslech bylo vyznačeno 20 měřících profilů. 20 bodů na pravém i levém kolejnicovém pásu. Tyto měřické profily byly očíslovány proti směru staničení od 1 až do 20. Pro sledování mostní konstrukce bylo vyznačeno 8 bodů. Byly očíslovány proti směru staničení M1 – M8. Body M1 a M8 byly umístěny na krajních podpěrách. Ostatní body byly umístěny na mostovce v místech mostních pilířů. Stabilizace všech pozorovaných

bodů byla provedena jemným důlkem o průměru 1 mm vyraženým důlčičkem. U měřených profilů na kolejnicových pásech byly důlky vyznačeny na vnější nepojížděné hraně hlav kolejnic a byly označeny barevným sprejem. Označeny byly oba kolejnicové pásy s intervalem staničení 5 – 12m podle rozpětí mostních polí. Body na mostní konstrukci byly vyznačeny železných konstrukcí na mostních pilířích a také byly označeny barevným sprejem.



Obr. 3. 4 – pozorovaný bod na koleji

4. MĚŘICKÉ POMŮCKY

Jako měřické pomůcky byly použity 2 přesné totální stanice firmy Topcon a speciální měřicí vozík. Dále byly použity kromě stativů také měřicí pomůcky pro měření teploty a tlaku a svinovací metr pro měření výšek přístrojů.

4.1 Totální stanice

Pro měření bylo použito dvou přesných totálních stanic od firmy Topcon a to Topcon GTS - 6A a Topcon GPT – 6001N. Tyto totální stanice byly použity pro měření na mostě. Totální stanice Topcon GPT – 6001N byla použita pro kalibraci. Hodnoty zjištěné kalibrací byly použity pro stanovení přesnosti a výpočtu elips chyb. Použité totální stanice jsou opatřeny dvojosým kompenzátorem sklonu vertikální osy. Naměřená data byla zaznamenávána na paměťové karty (PCMCIA karta).

Přesnosti uváděné výrobcem:

	délková přesnost	úhlová přesnost (směr)
Topcon GTS – 6A	3 mm + 2 ppm	0,3 mgon
Topcon GPT – 6001N	2 mm + 2 ppm	0,3 mgon

Tab. 4. 1 – přesnosti udávané výrobcem

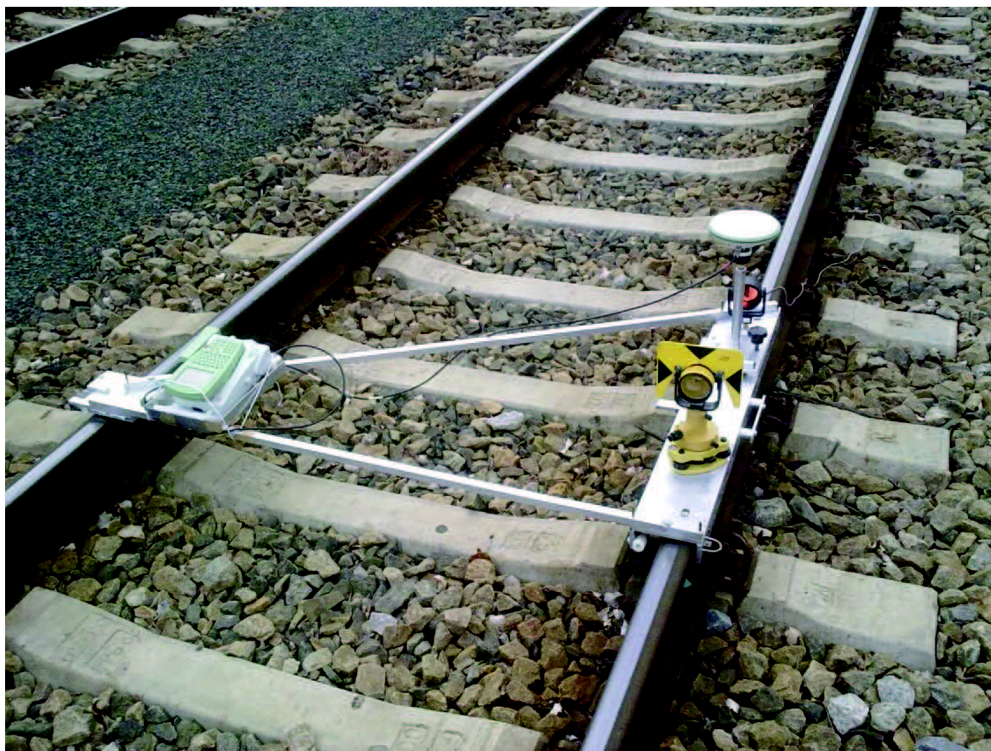


Obr. 4. 1 – totální stanice GPT – 6001N na stanovisku 200 sledovaného mostu

4.2 Speciální měřicí vozík

Speciální měřicí vozík byl použit pro měření bodů profilů na obou kolejnicových pásech najednou. Vozíček byl navržen a vyroben v dílně Ústavu geodézie Fakulty stavební VUT v Brně. Na návrhu a výrobě se rovněž podílela i Ústav železničních konstrukcí a staveb také z Fakulty stavební VUT v Brně. Je konstruován jako pravoúhlý trojúhelník. Kratší z odvěsen pojíždí po jednom kolejnicovém pásu. Na konci druhé odvěsny je umístěno pojezdové zařízení, které pojíždí po druhém kolejnicovém pásu. Jako stabilizační prvek byla použita přepona.

Jednotlivé konstrukční prvky a umístění měřících prvků je patrné z obrázku a z náčrtu. Na vozíku se nacházejí prvky k uchycení potřebné měřicí techniky. Na vozík je možno umístit hranoly od firmy Topcon na třínožce. Také je zde možno umístit hranol od firmy Leica a navíc se zde nachází destička, která nese anténu GPS. Tato destička je opatřena libelou, se kterou je možno destičku urovnat do vodorovné polohy v příčném směru. Toto uspořádání umožňuje trojí měření najednou. Vozík se umísťuje do zadané polohy pomocí rysky na jedné straně. Na druhé straně je umístěna ryska se stupnicí pro odečet podélné složky druhého kolejnicového pásu.



Obr. 4. 2 – speciální měřicí vozík

V rámci této diplomové práce byl speciální měřický vozík proměřen v laboratoři B150 Ústavu geodézie Fakulty stavební VUT v Brně. Pro proměření byla použita metoda protínání vpřed. Jako základna byly použity pilíře v laboratoři. Měření probíhalo za stabilních klimatických podmínek. Výsledné hodnoty byly vztaženy ke krajní hraně vozíku.

5. MĚŘICKÉ METODY

V této kapitole jsou popsány použité metody pro měření přetvoření železničního svršku a proměření speciálního měřicího vozíčku.

5.1 Polární metoda

Jedná se o způsob podrobného měření, při kterém se z daných bodů (stanovisek) určuje poloha podrobných bodů polárními souřadnicemi. [3] V současnosti se používá prostorová polární metoda nazývaná také 3D polární metoda. Měřením se získávají vodorovné a zenitové úhly a také šikmé vzdálenosti. Tuto metodu můžeme rozdělit na dvě složky a to vodorovnou a svislou složku. Vodorovnou složku určujeme pomocí rajónu. Výsledkem jsou souřadnice X a Y v námi zvoleném souřadnicovém systému. Svislou složku určíme pomocí trigonometrie. Pro tuto práci se výškové určování posunů neuvažuje a nebude zde dále řešeno.

Rajón je orientovaná a délkově zaměřená spojnice daného a určovaného bodu. [3] Pro výpočet souřadnic určovaného bodu je zapotřebí znát souřadnice daného bodu. Dále potom souřadnice orientačního bodu. V případě, že máme více orientací je nutno provést orientaci osnovy směrů a zjistit tak orientační posun. Měřenými veličinami jsou vodorovné směry a také šikmá délka na určovaný bod. Pro výpočet se používá vodorovná délka, kterou musíme vypočítat ze šikmé délky a zenitového úhlu pomocí vzorce:

$$s = s' \cdot \sin z \quad [5.1]$$

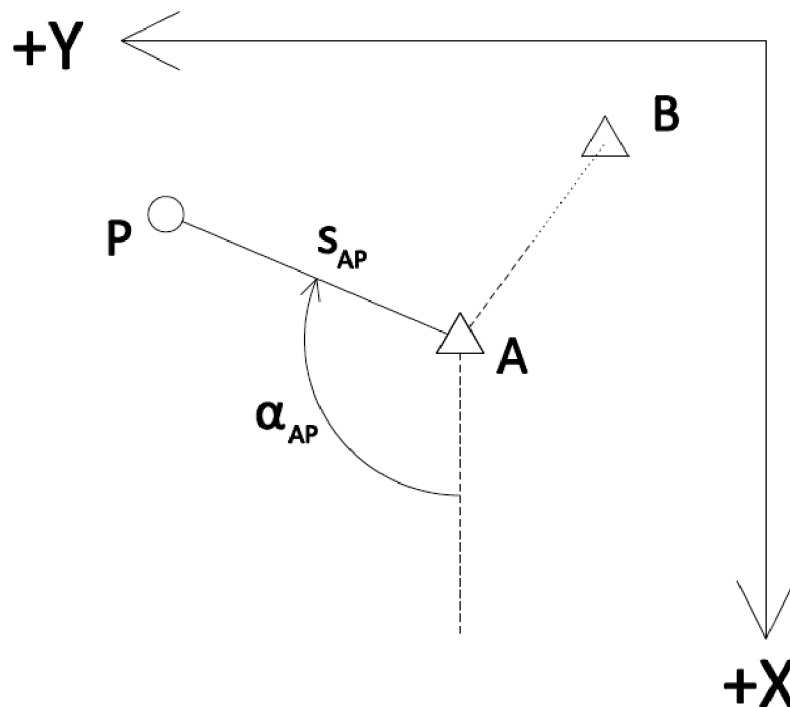
kde s' je šikmá délka a z je zenitový úhel. [4]

Výsledné souřadnice určovaného bodu spočítáme pomocí těchto vzorců:

$$X_P = X_A + s_{AP} \cdot \cos \alpha_{AP} \quad [5.2]$$

$$Y_P = Y_A + s_{AP} \cdot \sin \alpha_{AP} \quad [5.3]$$

Tento způsob určování polohy bodů byl použit při měření přímo na mostě. [4]



Obr. 5.1 – princip polární metody

5.2 Protínání vpřed

Jedná se o způsob určování polohy určovaného bodu ze směrů měřených na připojovacích bodech. [3] Pomocí tohoto postupu můžeme určit vodorovné souřadnice bodů v námi zvoleném souřadnicovém systému.

Pro výpočet souřadnic určovaného bodu je třeba znát souřadnice připojovacích bodů. Měřenými veličinami jsou zde vodorovné směry na jednotlivých připojovacích bodech, které nám tvoří vodorovné úhly. Dále je potřeba znát vodorovnou délku základny. Tuto vodorovnou délku vypočítáme ze šikmé délky a zenitového úhlu pomocí vzorce:

$$s = s' \cdot \sin z \quad [5.4]$$

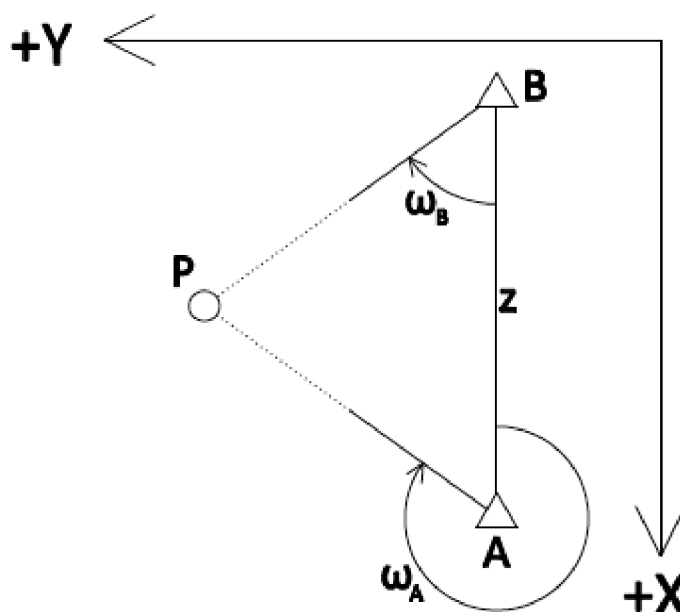
kde s' je šikmá délka a z je zenitový úhel. [4]

Výsledné souřadnice určovaného bodu spočítáme pomocí těchto vzorců: [5]

$$X_P = X_A + \frac{(X_B - X_A) \cdot \cotg \omega_A - (Y_B - Y_A)}{\cotg \omega_A + \cotg \omega_B} = X_A + \frac{(X_B - X_A) \cdot \cos \omega_A - (Y_B - Y_A) \cdot \sin \omega_A}{\sin(\omega_A + \omega_B)} * \sin \omega_B \quad [5.5]$$

$$Y_P = Y_A + \frac{(Y_B - Y_A) \cdot \cotg \omega_A + (X_B - X_A)}{\cotg \omega_A + \cotg \omega_B} = Y_A + \frac{(Y_B - Y_A) \cdot \cos \omega_A - (X_B - X_A) \cdot \sin \omega_A}{\sin(\omega_A + \omega_B)} * \sin \omega_B \quad [5.6]$$

Tento způsob určování polohy byl použit při proměření speciálního měřicího vozíčku.



Obr. 5. 2 – princip metody protínání vpřed

6. ETAPY

Po rekognoskaci v červnu 2013 se začalo s vlastním zaměřováním jednotlivých etap. Datum jednotlivých etap bylo voleno taky, aby se měřilo v co nejrozdílnějších teplotních podmínkách. Tato práce zpracovává měření z prvních čtyř etap, které probíhali od června 2013 do března 2014.

6.1 Etapa 0

Nultá etapa proběhla 12. 6. 2013. Průměrná teplota byla v rozmezí 26 – 27 °C a atmosférický tlak byl v rozmezí 990 – 999 hPa. Měření probíhalo od 13.00 do 16.30. Bylo jasno až polojasno. Foukal mírný vítr. V rámci této etapy proběhlo nejprve bližší seznámení s lokalitou a s podmínkami na ní panujícími. Dále bylo potřeba určit a stabilizovat jednotlivé body, jak vztažné body, tak i pozorované body. V rámci měření byla také zaznamenávána teplota i atmosférický tlak každou půlhodinu na obou stanoviskách. Body na koleji byly měřeny dvakrát, TAM a ZPĚT. Body na mostní konstrukci byly měřeny pouze jednou. Všechny pozorované body byly zaměřeny. Tato etapa je považována za vztažnou a všechny posuny zjištěné v následujících etapách jsou k ní vztaženy.

ČAS (hh:mm)	TEPLOTA (°C)	ATMOSFÉRICKÝ TLAK (hPa)
13:30	26,5	990,4
14:00	27,2	990,5
14:30	26,1	998,5
15:00	26,3	998,6
15:30	26,0	998,7
16:00	26,0	998,7
16:30	25,9	998,6

Tab. 6. 1 – atmosférický tlak a teploty vzduch ze dne 12. 6. 2013

6.2 Etapa 1

První etapa proběhla 7. 8. 2013. Průměrná teplota byla v rozmezí 34 – 36 °C a atmosférický tlak byl v rozmezí 992 – 994 hPa. Měření probíhalo od 11.30 do 14.00. Bylo jasno až polojasno. Foukal mírný vítr. V rámci této etapy byly všechny pozorované body měřeny pouze jednou. Dále v této etapě nebyly zaměřeny body M1 a M7. V rámci měření byla také zaznamenávána teplota i atmosférický tlak každou půlhodinu na obou stanoviskách.

ČAS (hh:mm)	TEPLOTA (°C)	ATMOSFÉRICKÝ TLAK (hPA)
12:00	35,3	993,8
12:30	34,5	993,5
13:00	34,3	992,9
13:30	35,1	992,6
14:00	36,3	992,6

Tab. 6. 2 – atmosférický tlak a teploty vzduch ze dne 7. 8. 2013

6.3 Etapa 2

Druhá etapa proběhla 29. 11. 2013. Průměrná teplota byla v rozmezí 6 – 8 °C a atmosférický tlak byl v rozmezí 1001 – 1003 hPa. Měření probíhalo od 11.00 do 13.30. Bylo jasno až polojasno. Foukal mírný vítr. V rámci měření byla také zaznamenávána teplota i atmosférický tlak každou půlhodinu na obou stanoviskách. Body na koleji byly měřeny dvakrát, TAM a ZPĚT. Body na mostní konstrukci byly měřeny pouze jednou.

ČAS (hh:mm)	TEPLOTA (°C)	ATMOSFÉRICKÝ TLAK (hPA)
11:30	7,4	1002,6
12:00	7,1	1002,3
12:30	7,3	1002,4
13:00	6,4	1001,6
13:30	6,4	1001,7

Tab. 6. 3 – atmosférický tlak a teploty vzduch ze dne 29. 11. 2013

6.4 Etapa 3

Třetí etapa proběhla 7. 3. 2014. Průměrná teplota byla v rozmezí 11 –14 °C a atmosférický tlak byl v rozmezí 1005 – 1006 hPa. Měření probíhalo od 10.30 do 13.00. Bylo jasno až polojasno. Foukal mírný vítr. V rámci měření byla také zaznamenávána teplota i atmosférický tlak každou půlhodinu na obou stanoviskách. Body na koleji byly měřeny dvakrát, TAM a ZPĚT. Body na mostní konstrukci byly měřeny pouze jednou.

ČAS (hh:mm)	TEPLOTA (°C)	ATMOSFÉRICKÝ TLAK (hPA)
11:00	11,3	1006,1
11:30	11,9	1006,0
12:00	12,8	1005,8
12:30	13,1	1005,8
13:00	13,8	1005,3

Tab. 6. 4 – atmosférický tlak a teploty vzduch ze dne 7. 3. 2014

7. KALIBRACE

Pro účely této práce byla provedena také kalibrace některých měřických pomůcek dle platných norem. Pro kalibraci byla použita totální stanice Topcon GPT – 6001N. Byla provedena úhlová a délková kalibrace. Výsledkem kalibrace bylo zjištění úhlové a délkové přesnosti dané totální stanice.

Totální stanice Topcon GTS – 6A nebyla v době kalibrace k dispozici a proto se ve výpočtech přesnosti a elips chyb uvažují parametry přesnosti dané výrobcem.

7.1 Úhlová kalibrace

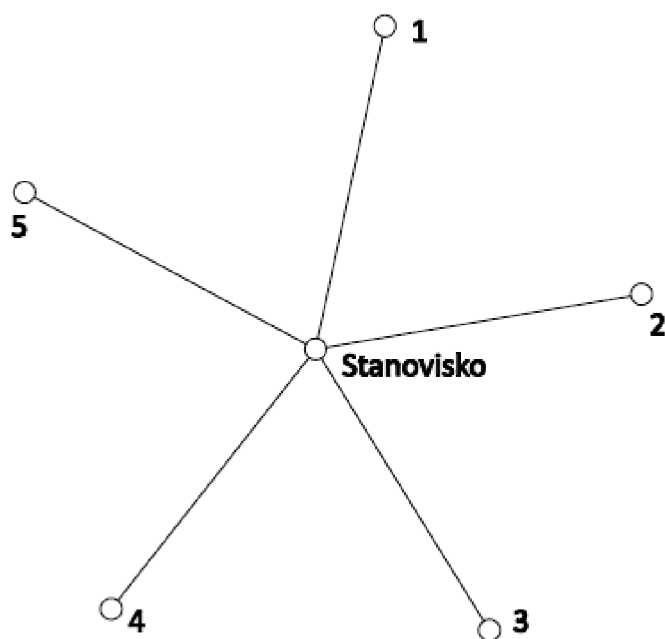
Úhlová kalibrace totální stanice Topcon GPT – 6001N probíhala podle normy ČSN ISO 17123 – 3 Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů – Část 3: Teodolity. V této normě jsou upraveny zkušební postupy pro zjišťování úhlové přesnosti pro jednotlivé přístroje. Tato norma upravuje postupy jak měřit horizontální i vertikální úhly. Pro účely této práce byly zjištěny kalibrační pouze přesnosti horizontálních úhlů. Pro kalibraci byl použit úplný postup měření a jeho výsledkem bylo určení střední chyby horizontálního směru ve dvou polohách. Zvolí se vhodná konfigurace testového pole. Body by měly být rovnoměrně rozmístěny přibližně v horizontu přístroje ve vzdálenosti cca 100 – 250 m. Vlastní zaměření probíhá potom ve třech sériích. V každé sérii je osnova směrů měřena třikrát. To nám poskytuje dostatek měření pro určení výsledné střední chyby a jejího následujícího statistického testování.

Statistické testy byly provedeny dva. Prvním testem je test střední chyby. Testem se ověřuje, že vypočtená střední chyba horizontálního směru určeného ve dvou polohách dalekohledu je menší než střední chyba udávaná výrobcem. Druhým testem je test poměru dvou středních chyb. Testem se ověřuje, zda se významně neliší střední chyby dvou souborů měření. [6]

Výsledná střední chyba horizontálního směru určeného ve dvou polohách dalekohledu je

$$s = 0,43 \text{ mgon}$$

Podrobný výpočet a statistické testy jsou uvedeny v příloze č. 8.



Obr. 7.1 – konfigurace testovacího pole

7.2 Délková kalibrace

Délková kalibrace totální stanice Topcon GPT – 6001N probíhala podle normy ČSN ISO 17123 – 4 Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů – Část 3: Elektrooptické dálkoměry. V této normě jsou upraveny zkušební postupy pro zjišťování délkové přesnosti pro jednotlivé přístroje. Pro kalibraci byl použit úplný testovací postup. Byla určena testovací základna o délce cca 105 m. Základna byla rozdělena na 6 úseků. Úseky byly rozděleny podle vzorců stanovených v normě. Měří se tedy 21 délek a hodnoty teplot a atmosférického tlaku pro výpočet příslušných korekcí. Naměřené hodnoty teplot a atmosférického tlaku byly zadány přímo do přístroje a proto se naměřené délky už o atmosférické korekce neopravovali. Byla použita nucená centrace přístroje i odrazného hranolu. Výpočet probíhal vyrovnáním za použití metody nejmenších čtverců. Vyrovnanými parametry je šest vzdáleností a součtová konstanta. Tyto hodnoty se dále neuvažovaly. Dále je výsledkem vyrovnání i určení střední chyby jednou určené délky a střední chyby určení součtové konstanty. Pro účely této práce byla dále použita jen střední chyba jednou určené délky.

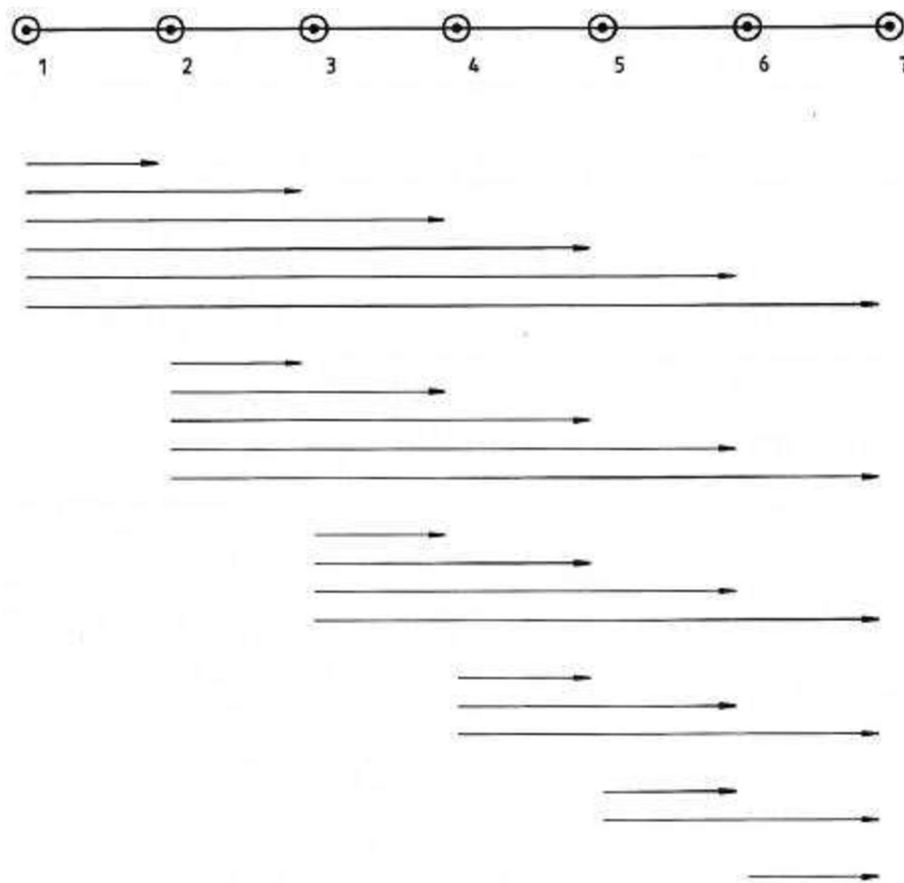
Dále bylo provedeno statistické testování daného souboru měření. Byly zvoleny tři statistické testy. Prvním testem bylo testování, zda vypočtená střední chyba byla menší než odpovídající hodnota udávaná výrobcem. Druhým testem byl test, zda dvě střední chyby

určené ze dvou různých vzorků měření náleží témuž souboru. Třetím testem byl test, zda součtová konstanta byla rovna nule nebo byla rovna součtové konstantě použitého hranolu.
[7]

Výsledná střední chyba jednou určené délky je

$$s = 1,4 \text{ mm}$$

Podrobný výpočet a statistické testy jsou uvedeny v příloze č. 8.



Obr. 7. 2 – schéma měření délek [7]

8. ZPRACOVÁNÍ MĚŘENÍ

V této kapitole bude popsán postup zpracování terestrického měření a jeho přípravy pro následný výpočet posunů a proměření vozičku. Terestrické měření zde reprezentuje polární metoda pro výpočet posunů na mostě a metoda protínání vpřed pro proměření speciálního měřicího vozičku.

8.1 Polární metoda

Pro výpočet souřadnic bodů byla zvolena místní souřadnicová soustava tak, že počátek byl v bodě 100. Kladná větev osy X směřuje do bodu 200. Z toho vyplývá, že osa X je rovnoběžná s osou koleje.

Naměřené délky musely být nejdříve opraveny o atmosférické korekce a o konstantu hranolu. Potom mohly být přepočítány na vodorovné délky podle vzorce [5.1].

Použité vzorce pro výpočet atmosférických korekcí a tabulka konstant použitých hranolů pro jednotlivé přístroje.

Pro Topcon GPT – 6001N

$$K_a = \left(279,66 - \frac{79,531 * P}{273,15 * t} \right) * 10^{-6} \quad [8.1]$$

Pro Topcon GTS – 6A

$$K_a = \left(279,6 - \frac{106,0 * P}{273,2 * t} \right) * 10^{-6} \quad [8.2]$$

, kde P je atmosférický tlak a t je teplota

Opravená šikmá délka byla spočítána podle vzorce:

$$s' = l * (1 + K_a) \quad [8.3]$$

kde l je přímo měřená délka

přístroj	hranol	konstanta
GTS – 6A	Sokkia	-0,0390 m
GTS – 6A	Topcon	-0,0285 m
GTS – 6A	Leica	-0,0330 m
GPT – 6001N	Sokkia	-0,0425 m
GPT – 6001N	Leica	-0,0365 m

Tab. 8. 1 – hodnoty konstant hranolů

Dále bylo třeba provést orientaci osnovy směrů. V každé etapě bylo použito třech vnějších orientačních směrů pro orientaci osnovy. Osnova směrů byla měřena na začátku a na konci měření a také po každém projetí vlaku. Z naměřených osnov byl následně určen průměrný orientační posun dle vzorce [8.5]. Následně byly všechny směry opraveny o tento průměrný orientační posun.

$$\psi_{1001} - \psi_{1001}^1 = o_1 \quad [8.4]$$

vzorec se použije i na další dvě orientace

$$\bar{o} = \frac{o_1 + o_2 + o_3}{3} \quad [8.5]$$

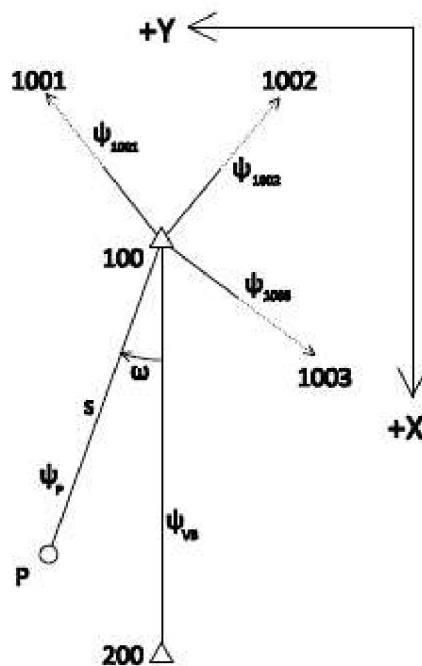
$$\psi_P = \psi_P^1 - \bar{o} \quad [8.6]$$

Dále byl z opravených směrů spočten úhel ω dle vzorce

$$\omega = \psi_P - \psi_{VB} \quad [8.7]$$

kde ψ_P je směr na pozorovaný bod a ψ_{VB} je směr na vztažný bod

U stanoviška 100 byl úhel ω zároveň směrníkem α na pozorovaný bod. U stanoviška 200 bylo nutno k úhlu ω připočíst 200^g , aby byl určen směrník α .

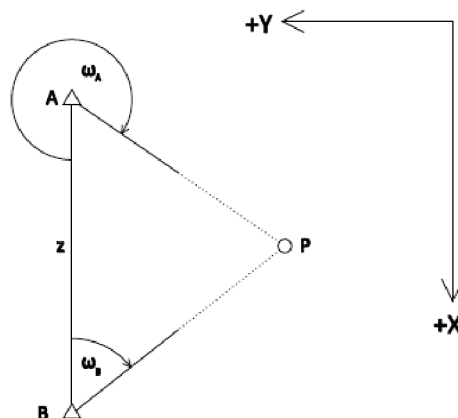


Obr. 8. 1 – schéma měřených veličin na stanovisku 100

8.2 Protínání vpřed

Pro výpočet souřadnic bodů byla zvolena místní souřadnicová soustava tak, že počátek byl umístěn do bodu A. Kladná větev osy X směřuje do bodu B. Proměřovaný vozíček se nacházel cca 4 m od základny. Úhel protnutí byl cca 100° .

Měřená délka základny byla přímo opravená o korekce, protože při měření byly měřeny atmosférický tlak i teplota a ty pak byly zavedeny přímo do přístroje. Hodnota součtové konstanty byla rovněž zavedena přímo do přístroje.



Obr. 8. 2 – schéma měřených veličin

9. VÝPOČET

9.1 Výpočet polární metody

Polární metoda byla použita při měření posunů na mostě. Po zpracování měření polární metody následoval vlastní výpočet souřadnic X, Y . Úhel ω a vodorovná délka s byla dosazena do vzorců [5.2] a [5.3] a vypočteny souřadnice pozorovaných bodů.

Dále byly vypočteny posuny dX a dY v této souřadnicové soustavě. Všechny tyto posuny byly vztaženy k nulté etapě a také k předcházející etapě. Jelikož byla souřadnicová soustava zvolena tak, že osa X je rovnoběžná s osou koleje. Z to ho plyne, že posun dX znázorňuje podélný posun a posun dY znázorňuje příčný posun.

$$ds = dX = X_i - X_0 \text{ nebo } X_i - X_{i-1} \quad [9.1]$$

$$dq = dY = Y_i - Y_0 \text{ nebo } Y_i - Y_{i-1} \quad [9.2]$$

V této práci bylo hlavním cílem vyhodnotit podélné posuny. Příčné posuny jsou zde také spočítány a vyhodnoceny.

9.2 Rozbor přesnosti polární metody

V tomto případě byly vztažné body považovány za bezchybné. Potom pro výpočet polohové přesnosti byly použity tyto vzorce:

Relativní střední chyby jednotlivých souřadnic:

$$m_x^2 = s^2 * \sin^2 \omega * m_\omega^2 + \cos^2 \omega * m_s^2 \quad [9.3]$$

$$m_y^2 = s^2 * \cos^2 \omega * m_\omega^2 + \sin^2 \omega * m_s^2 \quad [9.4]$$

Kovariance:

$$m_{xy} = -s^2 * \sin \omega * \cos \omega * m_\omega^2 + \sin \omega * \cos \omega * m_s^2 \quad [9.5]$$

kde s je měřená délka, ω je úhel (směrník),

m_s je střední chyba měřené délky a m_ω je střední chyba úhlu (směrníku). [8]

Před samotným výpočtem středních chyb jednotlivých souřadnic bylo nutné upravit střední chyby délky a úhlu (směrníku). Byly uvažovány i střední chyby v centraci přístroje a cíle.

Určení střední chyby délky m_s

Při uvážení přesnosti centrace přístroje a cíle byl pro výpočet použit tento vzorec:

$$m_s^2 = m_v^2 + \left(\frac{m_{e-p}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{m_{e-c}}{\sqrt{2}}\right)^2 \quad [9.6]$$

kde m_v je střední chyba délky daná výrobcem nebo zjištěná z kalibrace, m_{e-p} je střední chyba centrace přístroje a m_{e-c} je střední chyba v centraci cíle.

Když $m_{e-p} = m_{e-c} = m_e$, potom m_s můžeme určit dle vzorce:

$$m_s^2 = m_v^2 + m_e^2 \quad [9.7]$$

Určení střední chyby úhlu m_ω

Při výpočtu střední chyby úhlu uvažujeme, že $m_{e-p} = m_{e-c} = m_e$. Potom výslednou střední chybu spočteme podle vzorce:

$$m_\omega^2 = m_{\omega v}^2 + m_e^2 = m_{\omega v}^2 + \frac{m_e^2}{s^2} \left(4 * \sin^2 \frac{\omega}{2} + 2\right) \quad [9.8]$$

$$s = \frac{a+b}{2} \quad [9.9]$$

kde a je délka základny, b je délka na pozorovaný bod, $m_{\omega v}$ je střední chyba úhlu daná výrobcem nebo určená kalibrací a ω je úhel (směrník). [9]

Ve výpočtu rozboru přesnosti nebyly uvažovány systematické osově chyby. Během měření byla zapnuta funkce automatické kompenzace odklonu klopné osy. Chyba z nesvislosti alhidády je nulová při vodorovné záměře. Jelikož byla většina záměr téměř vodorovná, byla tato chyba zanedbána. Kolimační chyba byla po celou dobu přibližně konstantní a při výpočtu orientačních posunů byla vyloučena.

Pro výpočet jednotlivých středních chyb byly použity tyto hodnoty:

	Topcon GTS – 6A	Topcon GPT – 6001N
střední chyba měřeného směru m_r^{II}	0,3 mgon	0,43 mgon
střední chyba měřené délky m_v	3 mm + 2 ppm	1,4 mm
střední chyba centrace přístroje m_{e-p}	0,5 mm	
střední chyba centrace cíle m_{e-c}	0,5 mm	

Tab. 9. 2 – hodnoty pro výpočet jednotlivých středních chyb

Výpočet byl proveden pro obě stanoviška obdobným způsobem.

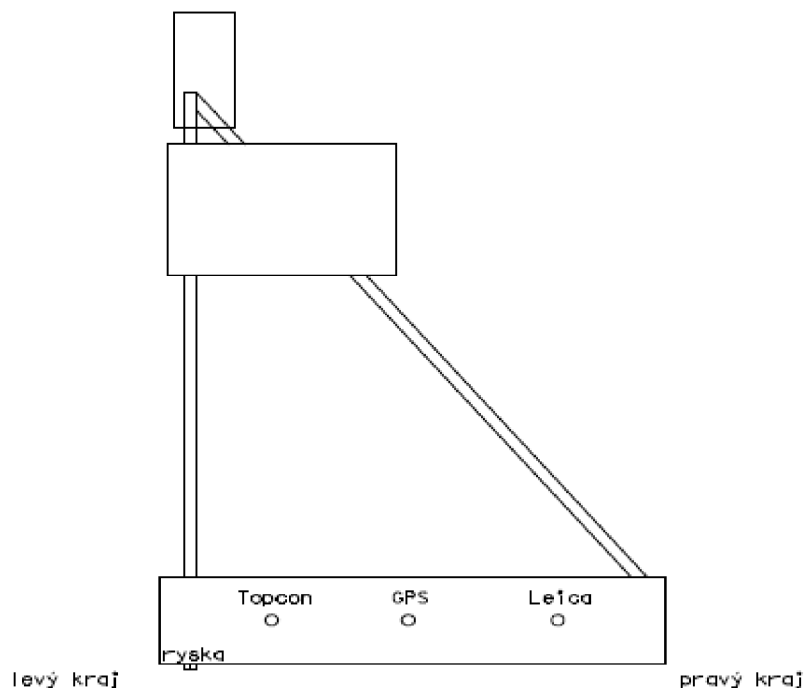
9.3 Výpočet protínání vpřed

Metoda protínání vpřed byla použita při proměřování speciálního měřicího vozíčku. Po zpracování měření následoval vlastní výpočet souřadnic X, Y . Úhly ω_A, ω_B a vodorovná délka základny s byly dosazeny do vzorců [5.5] a [5.6] a vypočteny souřadnice pozorovaných bodů.

Protože bylo potřeba zjistit vztahy mezi body přímo na vozíčku, byly z vypočtených souřadnic určeny ortogonální vytyčovací prvky pro přehlednou orientaci mezi body na vozíčku. Tyto vytyčovací prvky byly vztaženy ke kraji vozíčku.

Bod	Bod	Staničení (m)	Kolmice (m)
levý kraj	ryska	0,029	-0,004
	topcon	0,269	-0,075
	GPS	0,718	-0,073
	leica	0,874	-0,073
	pravý kraj	1,003	0,000

Tab. 9. 3 – Ortogonální vytyčovací prvky



Obr. 9. 3 – schématický náčrt speciálního měřicího vozíčku

9.4 Rozbor přesnosti protínání vpřed

V tomto případě byly vztažné body považovány za bezchybné. Potom pro výpočet polohové přesnosti byly použity tyto vzorce:

Relativní střední chyby jednotlivých souřadnic:

$$m_x^2 = \frac{s_A^2 \cdot \cos^2 \alpha_B + s_B^2 \cdot \cos^2 \alpha_A}{\sin^2(\alpha_A - \alpha_B)} * m_\omega^2 \quad [9.10]$$

$$m_y^2 = \frac{s_A^2 \cdot \sin^2 \alpha_B + s_B^2 \cdot \sin^2 \alpha_A}{\sin^2(\alpha_A - \alpha_B)} * m_\omega^2 \quad [9.11]$$

kovariance

$$m_{xy} = \frac{s_A^2 \cdot \sin \alpha_B \cdot \cos \alpha_B + s_B^2 \cdot \sin \alpha_A \cdot \cos \alpha_A}{\sin^2(\alpha_A - \alpha_B)} * m_\omega^2 \quad [9.12]$$

relativní střední souřadnicová chyba

$$m_{x,y}^2 = \frac{s_A^2 + s_B^2}{2 \cdot \sin^2(\alpha_A - \alpha_B)} \quad [9.13]$$

kde m_ω je střední chyba úhlu (směrníku). [8] Ostatní prvky jsou patrné z náčrtu v kapitole 8. 2.

9.5 Elipsy chyb

Zjištěné hodnoty středních chyb v jednotlivých souřadnicích m_x a m_y charakterizují dosaženou přesnost pouze ve směrech souřadnicových os. Tyto hodnoty neposkytují informaci o rozložení chyb také v jiných směrech. Komplexní informaci o rozložení chyb poskytuje střední elipsa chyb.

Parametry střeni elipsy chyb se spočítají podle vzorců:

$$m_{max}^2 = \frac{m_x^2 + m_y^2}{2} + \sqrt{\frac{(m_x^2 + m_y^2)^2}{4} + m_{xy}^2} \quad [9.14]$$

$$m_{min}^2 = \frac{m_x^2 + m_y^2}{2} - \sqrt{\frac{(m_x^2 + m_y^2)^2}{4} + m_{xy}^2} \quad [9.15]$$

$$\varphi = \frac{1}{2} * \arctg \frac{2 * m_{xy}}{m_x^2 - m_y^2} \quad [9.16]$$

kde m_{max} a m_{min} jsou velikosti poloos a úhel φ je úhel stočení směru hlavní poloosy m_{max} vzhledem k ose x dané souřadnicové soustavy. [8]

Vypočtené parametry středních elips chyb jsou sestaveny do přehledných tabulek a uvedeny v příloze č. 2. Grafické znázornění elips chyb vybraných bodů je zobrazeno v příloze č. 3.

9.6 Rozbor přesnosti dvojic měření

V geodetické praxi se často využívá opakovaných měření. Soustředíme se na případy, kdy obě měření jsou provedena za stejných podmínek a jsou tudíž stejně přesná. V tom případě ani přítomnost systematické chyby se v odhadech přesnosti neprojeví. Střední chyby budou vyjadřovat pouze vliv náhodných chyb.

Měření v rámci této diplomové práce probíhalo při jednotlivých etapách v režimu Tam a Zpět. Měření Tam a Zpět bylo měřeno za stejných podmínek v jeden den, a proto byl pro výsledné souřadnice použit aritmetický průměr z měření Tam a Zpět (za předpokladu, že rozdíl obou měření je v dovořených odchylkách).

Pro výpočet jednotlivých středních chyb byly použity tyto vzorce:

rozdíl měření:

$$d_i = X_i^T - X_i^Z \quad [9.17]$$

Střední chyba rozdílu:

$$m_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i * d_i)}{n}} \quad [9.18]$$

Střední chyba jednoho měření:

$$m = \frac{m_d}{\sqrt{2}} \quad [9.19]$$

Přesnost byla určena pro obě souřadnice. V následující tabulce jsou uvedeny střední chyby rozdílu měření m_d a střední chyby jednoho měření m pro každou etapu. [10]

	E0				E1				E2				E3			
	100		200		100		200		100		200		100		200	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
m_d (mm)	1,0	6,3	1,2	3,0	-	-	-	-	1,2	1,7	1,7	4,7	1,7	1,3	1,4	3,2
m (mm)	0,7	4,5	0,8	2,1	-	-	-	-	0,9	1,2	1,2	3,3	1,2	1,0	1,0	2,3

Tab. 9. 6 – střední chyby dvojic měření

10. VÝSLEDKY

Vypočtené hodnoty příčných i podélných posunů byly sestaveny do přehledných tabulek, které jsou uvedeny na konci této kapitoly. Kladné hodnoty podélných posunů ds jsou uvažovány ve směru staničení trati. Kladné hodnoty příčných posunů dq jsou uvažovány vpravo ve směru staničení. U všech posunů bylo stanoveno, zda posun nastal nebo nikoliv. Ke správnému rozhodnutí, zda posun nastal nebo ne byla použita tato kritéria:

$$ds < m_{\Delta ds} \quad \text{posun nenastal} \quad [10.1]$$

$$m_{\Delta ds} < ds < 2 * m_{\Delta ds} \quad \text{posun nebyl s danou přesností prokázán} \quad [10.2]$$

$$ds > 2 * m_{\Delta ds} \quad \text{posun nastal s rizikem omylu 5\%,} \quad [10.3]$$

kde ds je naměřený posun a $m_{\Delta ds}$ je střední chyba rozdílu měření dvou etap, která se vypočítá ze vzorce:

$$m_{\Delta ds} = \sqrt{m_{ds-0}^2 + m_{ds-i}^2} \text{ resp. } m_{\Delta ds} = \sqrt{m_{ds-i}^2 + m_{ds-i-1}^2} \quad [10.4]$$

kde m_{ds-i} je střední chyba ve směru koleje v jednotlivých etapách (0-3).

Vyhodnocení dle stejných kritérií platí i pro příčné posuny.

V následujících tabulkách 10.1 – 10.4 jsou uvedeny hodnoty podélných a příčných posunů zjištěné z obou stanovisek. Červeně jsou označeny hodnoty posunů, kde posun nastal. Žlutě jsou označeny hodnoty, kde posun nebyl prokázán. Tabulky výsledných hodnot jsou uvedeny v příloze č. 6.

Umístění všech bodů je popsáno v kapitole 3.4 a graficky znázorněno v příloze č. 1.

bod	E0 - E1		E0 - E2		E0 - E3		E1 - E2		E2 - E3		bod
	ds (mm)	dq (mm)	ds (mm)	dq (mm)	ds (mm)	dq (mm)	ds (mm)	dq (mm)	ds (mm)	dq (mm)	
1	-1,6	1,0	2,1	-1,1	4,0	0,5	3,7	-2,1	1,8	1,6	1
2	-0,9	-0,7	1,9	-0,3	0,6	0,3	2,9	0,4	-1,4	0,5	2
3	-3,4	-1,0	2,2	0,6	0,4	0,7	5,6	1,6	-1,8	0,1	3
4	-1,8	-0,8	1,2	1,2	-0,4	0,8	3,0	2,0	-1,7	-0,4	4
5	-1,6	0,0	2,9	1,7	0,6	1,1	4,5	1,8	-2,3	-0,6	5
6	-2,6	-1,0	2,2	2,4	-1,2	1,7	4,9	3,4	-3,4	-0,7	6
7	-5,0	-1,9	1,4	2,3	-0,3	1,4	6,4	4,2	-1,7	-0,8	7
8	-3,2	-1,4	2,8	3,0	2,4	2,2	6,0	4,4	-0,4	-0,8	8
9	-2,3	-0,3	4,5	3,9	2,1	2,3	6,8	4,1	-2,4	-1,6	9
10	-6,3	-0,4	4,8	3,4	2,6	1,9	11,0	3,8	-2,2	-1,4	10
11	-3,8	2,0	5,1	4,6	2,4	2,9	8,8	2,6	-2,6	-1,7	11
12	-4,7	2,8	4,2	7,6	2,5	2,0	8,9	4,8	-1,7	-5,6	12
13	-2,8	3,0	5,1	7,0	2,5	4,4	7,8	4,0	-2,5	-2,6	13
14	-3,3	2,4	4,1	7,5	0,6	4,6	7,4	5,1	-3,5	-3,0	14
15	-4,3	1,9	5,2	9,6	3,3	7,3	9,5	7,8	-1,9	-2,3	15
16	-4,0	2,7	6,0	9,8	5,0	6,8	10,0	7,1	-1,0	-3,1	16
17	-2,6	4,5	5,0	10,6	2,0	7,6	7,5	6,1	-2,9	-3,1	17
18	-4,1	4,6	6,0	11,1	2,3	7,8	10,1	6,5	-3,7	-3,3	18
19	-3,2	4,7	4,0	9,9	2,5	3,7	7,2	5,2	-1,5	-6,3	19
20	-2,9	3,8	5,2	13,6	4,4	8,1	8,1	9,8	-0,7	-5,5	20

Tab. 10.1 hodnoty podélných a příčných posunů bodů na koleji ze stanoviška 100

bod	E0 - E1		E0 - E2		E0 - E3		E1 - E2		E2 - E3		bod
	ds (mm)	dq (mm)	ds (mm)	dq (mm)	ds (mm)	dq (mm)	ds (mm)	dq (mm)	ds (mm)	dq (mm)	
M1	neporovnáno		4,7	-0,6	-0,6	0,6	neporovnáno		-4,1	0,1	M1
M2	1,5	-0,4	1,9	-0,5	-2,1	-0,4	0,5	-0,1	-4,1	-0,5	M2
M3	0,3	0,4	3,3	0,8	-0,8	0,3	3,0	0,4	-4,9	-2,9	M3
M4	-1,0	-0,2	8,7	1,0	3,8	-1,9	9,8	1,1	-4,9	-3,8	M4
M5	-3,6	-1,9	12,1	-0,1	7,1	-3,9	15,7	1,7	-4,0	-4,4	M5
M6	-5,9	-3,7	13,9	-1,3	9,9	-5,7	19,9	2,4	-6,0	-4,0	M6
M7	neporovnáno		17,9	-4,2	11,9	-8,3	neporovnáno		-2,0	-6,4	M7
M8	-2,1	-4,6	6,0	-0,1	4,0	-6,5	8,1	4,5	0,0	0,0	M8

Tab. 10.2 hodnoty podélných a příčných posunů bodů na mostní konstrukci ze stanoviška

bod	E0 - E1		E0 - E2		E0 - E3		E1 - E2		E2 - E3		bod
	ds (mm)	dq (mm)	ds (mm)	dq (mm)	ds (mm)	dq (mm)	ds (mm)	dq (mm)	ds (mm)	dq (mm)	
1	5,3	-1,5	10,2	4,2	5,9	0,2	4,9	5,8	-4,3	-4,0	1
2	1,1	0,9	0,9	4,0	0,9	4,8	-0,3	3,1	0,0	0,9	2
3	-0,8	-1,7	0,6	3,6	0,6	6,1	1,4	5,3	0,0	2,6	3
4	-0,8	0,6	-0,3	6,2	0,1	6,2	0,5	5,6	0,4	0,0	4
5	-0,3	1,4	0,4	5,4	0,3	7,7	0,8	4,0	-0,1	2,2	5
6	-1,8	-1,4	0,1	5,1	-0,9	5,7	1,8	6,5	-1,0	0,6	6
7	0,2	0,7	-0,7	5,5	1,3	7,9	-0,9	4,8	2,0	2,4	7
8	-2,8	2,1	0,0	5,6	1,1	5,9	2,9	3,5	1,1	0,3	8
9	-1,2	1,1	2,3	4,8	1,5	5,4	3,5	3,7	-0,8	0,6	9
10	-1,1	-1,2	2,1	5,2	2,0	6,5	3,2	6,5	-0,1	1,3	10
11	-2,3	0,4	1,9	4,0	0,9	5,8	4,2	3,6	-0,9	1,8	11
12	-1,8	-0,7	2,1	4,5	-0,5	5,0	3,9	5,3	-2,6	0,5	12
13	-0,9	2,6	2,0	5,4	0,9	4,9	3,0	2,8	-1,1	-0,5	13
14	-3,2	0,2	0,1	4,6	-0,1	5,7	3,3	4,4	-0,2	1,1	14
15	-1,0	-5,3	2,8	4,2	0,9	5,0	3,8	9,5	-1,9	0,8	15
16	-0,8	1,0	3,8	5,0	2,3	5,6	4,5	4,0	-1,5	0,5	16
17	-0,8	1,0	1,6	3,9	0,0	4,5	2,3	2,9	-1,5	0,6	17
18	-0,7	0,6	1,9	3,0	1,2	3,7	2,6	2,4	-0,7	0,6	18
19	-0,9	-5,1	2,5	0,6	1,8	0,0	3,4	5,7	-0,7	-0,7	19
20	0,1	-1,4	2,6	1,1	3,5	-0,7	2,5	2,5	0,9	-1,8	20

Tab. 10.3 hodnoty podélných a příčných posunů bodů na koleji ze stanoviška 200

bod	E0 - E1		E0 - E2		E0 - E3		E1 - E2		E2 - E3		bod
	ds (mm)	dq (mm)	ds (mm)	dq (mm)	ds (mm)	dq (mm)	ds (mm)	dq (mm)	ds (mm)	dq (mm)	
M1	neporovnáno		-7,0	4,8	-2,1	5,4	neporovnáno		3,0	5,6	M1
M2	2,1	2,7	-9,0	0,7	-6,0	6,3	-11,1	-2,0	3,0	2,7	M2
M3	-1,7	-0,4	-7,3	2,2	-4,3	5,0	-5,5	2,6	3,3	1,6	M3
M4	-0,7	-2,9	-2,3	1,3	1,0	2,8	-1,6	4,2	2,7	-0,1	M4
M5	-4,3	-0,7	0,4	1,8	3,1	1,7	4,7	2,5	1,8	-1,7	M5
M6	-6,4	0,9	2,8	3,5	4,6	1,8	9,2	2,7	0,3	0,0	M6
M7	neporovnáno		6,3	-1,0	6,6	-1,0	neporovnáno		4,4	0,0	M7
M8	-2,0	0,1	-4,7	1,4	-0,3	1,4	-2,7	1,3	0,0	0,0	M8

Tab. 10.4 hodnoty podélných a příčných posunů bodů na mostní konstrukci ze stanoviška

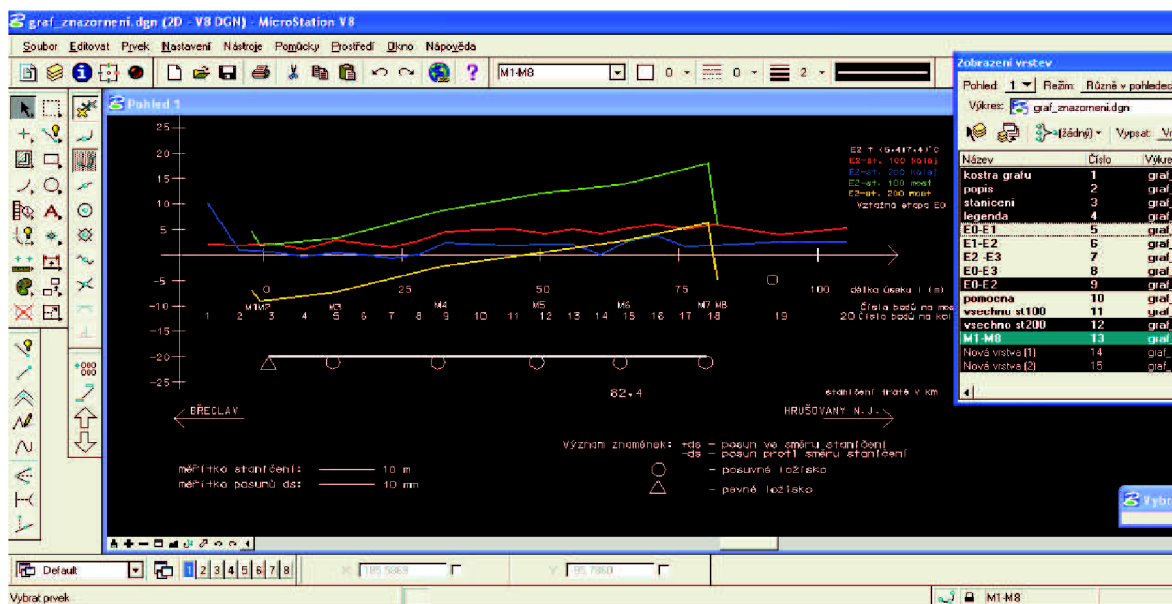
11. GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ

Protože bylo hlavním cílem vyhodnotit podélné posuny, byly tyto zjištěné hodnoty vyneseny do spojnicových grafů pro jednotlivé etapy. V těchto grafech jsou jak hodnoty posunů zjištěné na kolejnici, tak i hodnoty posunů zjištěné na mostní konstrukci. Na ose x se nachází polohy bodů dle jejich staničení. Na ose y jsou hodnoty podélných posunů uvedené v mm. Na každém grafu jsou barevně odlišeny hodnoty posunů měřené z jednotlivých stanovisek a také hodnoty posunů bodů na mostní konstrukci. Barevné rozlišení je uvedeno v legendách grafů. U názvů etap měření je uvedena teplota, při které bylo měřeno. V grafech je navíc schematicky znázorněno rozložení pevných a posuvných ložisek a staničení trati.

Dále byly graficky zobrazeny podélné i příčné posuny bodů M1 – M8 ze všech měřených etap. Tyto hodnoty byly opět zobrazeny z obou stanovisek.

Nakonec byly graficky zobrazeny hodnoty podélných i příčných posunů v celém sledovaném úseku. Tento grafický výstup byl zpracován pro obě stanoviska odděleně. V grafech bylo znázorněno rozložení pevných a posuvných ložisek a staničení trati.

Grafické znázornění všech podélných a příčných posunů bylo vyhotoveno v programu Bentley Microstation v. 8.



Obr. 11.1 – ukázka CAD programu Bentley Microstation v. 8

12. SHRNU TÍ

Ze zjištěných hodnot podélných i příčných posunů je patrné, že konstrukce se chová standardně v souladu s předpoklady o tepelné roztažnosti materiálů. S rostoucí délkou úseku roste prodloužení koleje i mostní konstrukce. Prodloužení se mění v závislosti na změně teploty. Z grafů je možné odečíst jistou lineární závislost uvedených veličin. Největší podélný posun na koleji nastal na bodě číslo 16. Tento posun nastal mezi etapami E1 a E2. Velikost tohoto posunu činila 11,0 mm. Důvodem mohla být teplotní změna mezi etapami, která činila $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tato hodnota byla změřena ze stanoviška 100. Ze stanoviška 200 byla velikost tohoto posunu 3,2 mm.

Největší příčný posun na koleji nastal na bodě číslo 20. Tento posun nastal mezi etapami E0 a E2. Velikost tohoto posunu je 13,6 mm. Důvodem posun mohla být opět velká změna teploty. V tomto případě šlo o $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tato hodnota byla změřena ze stanoviška 100. Ze stanoviška 200 činila velikost posunu 1,1 mm. Příčné posuny mohly vzniknout, protože se jedná o bezstykovou kolej bez dilatačního zařízení. A proto se mohla nejen délkově, ale i směrově posunout.

Největší podélný posun na mostní konstrukci nastal na bodě M6. Tento posun nastal mezi etapami E1 a E2. Velikost posunu činila 19,9 mm. Důvodem mohla být opět velká teplotní změna. Posun byl změřen ze stanoviška 100. Ze stanoviška 200 velikost posunu činila 9,2 mm.

Největší příčný posun na mostní konstrukci nastal na bodě M7 mezi etapami E0 a E3. Velikost posunu činila $-8,3\text{ mm}$. Teplotní změna mezi etapami činila $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$. Posun byl změřen ze stanoviška 100. Ze stanoviška 200 byla hodnota posunu $-1,0\text{ mm}$.

Rozdílné velikosti posunů mezi stanovisky v jednotlivých etapách mohly nastat z důvodu prodlužování samotné mostní konstrukce, na které byly stanoviska umístěny.

Polohu kolejnicových pásů, které jsou umístěny volně, mohly rovněž ovlivňovat průjezdy vlaků.

Z grafů je patrné, že průběh posunů je z obou stanovisek v podstatě stejný.

13. ZÁVĚR

Tato diplomová práce je souhrnem postupů a metodiky měření přetvoření mostní konstrukce a železničního svršku. Toto přetvoření bylo způsobeno z velké části teplotními změnami. Jako podklad k vyhodnocení posunů byly použity data z terestrických měření. Tyto měření se uskutečnily v rámci čtyř etap v období od června 2013 do března 2014. Sledovaným úsekem byl most přes řeku Dyji v Břeclavi. Měřeno bylo 28 bodů, z nich 8 bodů bylo umístěno na mostní konstrukci. Jako terestrická metoda pro měření posunů byla použita polární metoda.

Při zvyšující se teplotě se zvyšuje prodloužení mostní konstrukce a naopak. Největší posuny nastaly u pohyblivých mostních ložisek.

Dále je v této práci uvedena metodika kalibrace vybraných měřických pomůcek dle příslušných normativů. Zjištěné střední chyby byly použity při rozbořech přesnost.

Sledování mostu přes řeku Dyji v Břeclavi by mělo probíhat i nadále. Dlouhodobý monitoring by měl sloužit jako podklad pro připravovanou národní přílohu normy ČSN EN 1991-2 Zatížení konstrukcí – část 2: Zatížení mostů a pro aktualizaci tabulky přípustných dilatačních délek předpisu SŽDC S3 „Železniční svršek, Díl XII“.

14. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] www.silnice-zeleznice.cz [online]. 2010 [cit. 2014-05-20]. Rekonstrukce železničního uzlu Břeclav SO 01-19-21 Most v km 82,467. Dostupná z WWW: <<http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/rekonstrukce-zeleznicniho-uzlu-breclav-so-01-19-21-most-v-km-82-467>>
- [2] www.wikipedia.cz [online]. 2014 [cit. 2014-05-20]. Železniční trať Břeclav–Znojmo. Dostupná z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDelezni%C4%8Dn%C3%AD_tra%C5%A5_B%C5%99eclav%E2%80%93Znojmo>
- [3] www.vugtk.cz [online]. 2005 – 2014 [cit. 2014-05-20]. Terminologický slovník. Dostupný z WWW: <<https://www.vugtk.cz/slovník/hledej.php>>
- [4] NEVOSÁD, Z.; VITÁSEK, J.; BUREŠ, J. *Geodézie IV : Souřadnicové výpočty*. Brno: CERM, 2002. 157 s.
- [5] VOBŘILOVÁ, P.; SKOŘEPA, Z. *Geodézie 1, 2: Návodů na cvičení*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2005. 135 s.
- [6] ČSN ISO 17123 – 3 Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů – Část 3: Teodolity. Praha: Český normalizační institut, 2005. 24 s.
- [7] ČSN ISO 17123 – 4 Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů – Část 3: Elektrooptické dálkoměry. Praha: Český normalizační institut, 2005. 28 s.
- [8] ŠVÁBENSKÝ, O.; VITULA, A.; BUREŠ, J. *Inženýrská geodézie I, Modul 03: Návodů ke cvičením*. Brno: CERM, 2006. 161 s.
- [9] ŠVÁBENSKÝ, O.; VITULA, A.; BUREŠ, J. *Inženýrská geodézie I, Modul 01: Základy inženýrské geodézie*. Brno: CERM, 2006. 102 s.
- [10] HAMPACHER, M.; RADOUCH, V. *Teorie chyb a vyrovnávacího počtu 10*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2003. 159 s.

15. SEZNAM PŘÍLOH

1. Celková situace
2. Tabulky s vypočtenými parametry elips chyb
3. Grafické znázornění elips chyb vybraných bodů
4. Grafické znázornění podélných posunů
5. Grafické znázornění podélných a příčných posunů bodů M1 – M8
6. Tabulky výsledných hodnot posunů
7. Grafické znázornění podélných a příčných posunů
8. Záznam z měření kalibrace
9. Kalibrační listy