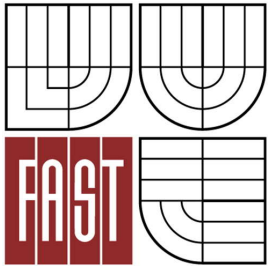


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

MĚŘENÍ POSUNŮ MOSTNÍ OPĚRY A KORUNY NÁSYPOVÉHO TĚLESA

DEFORMATION SURVEYING OF BRIDGE ABUTMENT AND TOP OF EARTH FILL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Matěj Malota

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. OTAKAR ŠVÁBENSKÝ, CSc.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646R003 Geodézie a kartografie
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Matěj Malota
Název	Měření posunů mostní opěry a koruny násypového tělesa
Vedoucí bakalářské práce	prof. Ing. Otakar Švábenský, CSc.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2012
Datum odevzdání bakalářské práce	24. 5. 2013
V Brně dne 30. 11. 2012	

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

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

Podklady a literatura

1. Valentová E.: Měření posunů mostní opěry. DP VUT Brno 2008
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

Vyhodnoťte posuny bodů osazených na mostní opěře a koruně násypového tělesa železniční trati v západním předpolí Ivančického viaduktu s využitím dat dosavadních měřených etap a alespoň jedné další vámi zaměřené etapy v termínu jaro 2013. Výsledky vyjádřete číselně a graficky.

Předepsané přílohy

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

Abstrakt

Předmětem mé bakalářské práce je sledování posunů mostní opěry a koruny násypového tělesa v západním předpolí Ivančického viaduktu, které je nestabilní z důvodu složitých hydrogeologických poměrů při zakládání opěry a přilehlého, až 23 m vysokého násypového tělesa. V práci se zabývám zpracováním předešlých etap GPS měření, které proběhly v letech 2000 až 2009 a také dvou vlastních etap měření na jaře 2012 a 2013.

Klíčová slova: GPS vyhodnocení posunů, statická metoda

Abstract

The subject of my bachelor's thesis is shift observation of abutment and the top of earth fill at western side of the Ivančice viaduct. It is unstable due to complicated hydrogeological conditions while merging the abutment and the adjacent, 23 metres high slope of embankment. In my thesis I am processing previous periods of GPS monitoring, which were measured since spring 2000 to autumn 2009, and also two of my own measured periods at spring 2012 and 2013.

Keywords: GPS evaluated shifts, static method

Bibliografická citace VŠKP

MALOTA, Matěj. *Měření posunů mostní opěry a koruny násypového tělesa*. Brno, 2013. 34 s., 12 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce prof. Ing. Otakar Švábenský, CSc.

Prohlášení:

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

V Brně dne

.....

podpis autora

Poděkování:

Děkuji prof. Ing. Otakaru Švábenskému, CSc., za odborné vedení, cenné rady, připomínky ke zpracování bakalářské práce a za trpělivost. Dále děkuji Michalu Budayovi za vzájemné konzultace a Marku Gablíkovi za pomoc při měření.

V Brně dne

Obsah

1. ÚVOD	9
2. TEORIE	11
2.1 Měření posunů a přetvoření	11
2.1.1 Základní terminologické pojmy.....	11
2.1.2 Hlavní příčiny posunů a přetvoření stavebních objektů	12
2.1.3 Projekt měření posunů a přetvoření	12
2.1.4 Metody měření posunů a přetvoření	13
2.1.5 Vliv prostředí na přesnost.....	14
2.1.6 Interpretace výsledků	15
2.2 Globální systém určování polohy	16
2.2.1 Složení systému GPS	16
2.2.2 Signál družic	17
2.2.3 Měření vzdáleností	18
2.2.4 Určení souřadnic družice	19
2.2.5 Metody určování polohy GPS.....	20
3. PRAKTICKÁ ČÁST	22
3.1 Popis lokality	22
3.1.1 Historie mostu	22
3.1.2 Konstrukce mostu	22
3.1.3 Předmět měření posunů	23
3.2 Popis programu LGO	24
3.3 Vlastní měření	26
3.4 Zpracování.....	27
4. ZÁVĚR	32
Seznam použité literatury	33
Seznam příloh	34

1. ÚVOD

Ve své práci se zabývám zpracováním GPS dat již zaměřených etap v termínech jaro 2000 až léto 2009 a dvou vlastnoručně zaměřených etap jaro 2012 a jaro 2013. Výsledkem je vyhodnocení posunů v předpolí západní opěry Ivančického viaduktu. Pro zpracování GPS měření jsem použil program Leica Geo Office a pro ostatní zpracování program Microsoft Office Excel. Výsledkem mé práce je číselné a grafické vyhodnocení posunů z devatenácti etap měření.

Ivančický železniční viadukt se nachází v km 130,187 železniční trati Hrušovany nad Jevišovkou – Brno, přibližně 20 km jihozápadně od Brna. Původní most postaven v letech 1868 – 1870 a měl celkovou délku 373,5m. V letech 1972 – 1976 byl postaven nový viadukt paralelně k původnímu mostu, posunutý o 15 m na jih s celkovou délkou 387m. Původní most byl později rozebrán až na jedno krajní pole na východní straně, které zůstalo jako chráněná technická památka.



Obrázek 1.1 Letecký snímek nového mostu a zachované části starého mostu.

Kvůli dlouhotrvajícím problémům s údržbou trati a složitým hydrogeologickým podmínkám při osazování mostní opěry, provázejí nový most problémy se stabilitou. Ústav geodézie VUT v Brně v roce 1999 začal etapové měření posunů bodů na západní opěře a předpolí mostu. Toto měření částečně navazuje na předchozí geodetické práce. Již bylo naměřeno více než dvacet etap v nepravidelných intervalech. Na východní straně původního mostu byl v opěře osazen bod V, který je díky skalnatému podloží stabilní. Celé měření bylo navázáno právě na tento bod. Monitoring posunů probíhal hlavně z bezpečnostních důvodů.

2. TEORIE

2.1 Měření posunů a přetvoření

Geodetické měření posunů má oproti ostatním fyzikálním metodám tu výhodu, že informuje o chování objektu ve všech směrech, v daném čase, v relativních a absolutních hodnotách. Chování staveb se sleduje hlavně z bezpečnostního hlediska a to jak při výstavbě tak po jejím dokončení. Pro vyhodnocení měření posunů a přetvoření je doporučována norma ČSN 73 0405 Měření posunů stavebních objektů. [3]

2.1.1 Základní terminologické pojmy

Posun - prostorová změna v poloze stavebního objektu nebo jeho částí oproti poloze v základní nebo předchozí (nebo i jiné) etapě měření. Dělí se na vodorovný, svislý, prostorový.

Přetvoření – změna tvaru konstrukce objektu oproti tvaru v základní nebo předchozí (nebo i jiné) etapě měření.

Sedání – svislá složka posunu směrem dolů. Ve stavebnictví má znaménko plus.

Zdvih – svislá složka posunu směrem nahoru. Ve stavebnictví má znaménko mínus.

Náklon – výchylka svislé osy objektu od svislice.

Pootočení - úhlová odchylka objektu od jeho původní polohy, osa otáčení je obecně umístěná.

Průhyb - přetvoření konstrukce objektu ve směru kolmém na převládající rozměr

Sesuv - jev vznikající účinkem zemské tíže při porušení stability svahů.

Absolutní posun - je vyjádřený v soustavě nezávislé na sledovaném objektu.

Relativní posun - posun vyjádřený vzhledem k relativní vztažné soustavě nebo vztažnému bodu. Udává vzájemné změny v poloze jednotlivých dílčích částí objektu.

Vztažný bod – polohově nebo (i) výškově určený bod, k němuž jsou vztaženy projektované parametry či posuny.

Pozorovaný bod – bod na objektu, pomocí něhož se určují posuny nebo přetvoření.

Připojovací bod – slouží k polohovému nebo výškovému připojení a volí se co nejbližší pozorovanému objektu.

Ověřovací bod - také zajišťovací, vztažný bod sloužící k ověření stálosti polohy jiných pevných bodů. [3]

2.1.2 Hlavní příčiny posunů a přetvoření stavebních objektů

Existuje mnoho faktorů, které ovlivňují stabilitu stavebních objektů a způsobují trvalé, nebo dočasné změny přetvoření konstrukce objektu, nebo posunů základů objektu. Jednou z hlavních příčin těchto jevů je značně různá stlačitelnost podloží. Například šterkopisky jsou téměř nestlačitelné a naopak hlína je značně stlačitelná, cca 10x více než šterkopisky. Při větším zatížení je základnová půda vytlačována do stran a může způsobovat zdvih okolních objektů.

Posuny a přetvoření jsou v zásadě způsobovány dvěma skupinami vlivů:

- a) Objektivními příčinami spojenými s inženýrsko – geologickými a hydrologickými podmínkami a fyzikálně – mechanickými vlastnostmi podloží. Mezi takové vlivy se řadí hmotnost stavby, velikost a tvar základů, hloubka a druh základové půdy, výška hladiny podzemní voda.
- b) Částečnými vlivy spojenými s nejistotou, popř. chybami v geologickém průzkumu, s poddolovaným územím, s promrzáním půdy, s účinkem nových staveb na stávající, s vibracemi. [3]

2.1.3 Projekt měření posunů a přetvoření

Projekt měření obvykle vyhotoví projektant ve spolupráci s geologem, geodetem investora, statikem a dalšími odborníky a to pro každý objekt, na kterém je třeba měřit posuny a přetvoření. Projekt měření obsahuje zejména:

- Účel, význam a druh měření.
- Důležité geologické a hydrologické údaje.
- Hodnoty očekávaných posunů a přetvoření.
- Požadovanou přesnost měření.
- Navržené metody měření a rozborů přesnosti.
- Stabilizaci a signalizaci vztažných a pozorovaných bodů a způsob jejich ochrany.
- Přístroje a pomůcky použité při měření.
- Harmonogram prací.
- Způsob zpracování výsledků.
- Lhůty dodání dosažených výsledků
- Rozpočet nákladů.

Zvláště důležitý je harmonogram prací, kvůli plynulému zachycení průběhu posunů a přetvoření a okolností, které je způsobily. [3]

2.1.4 Metody měření posunů a přetvoření

U mostních konstrukcí se měří jak krátkodobé zatěžovací zkoušky, tak dlouhodobé pozorování posunů a přetvoření po dobu provozu.

Svislé posuny

U mostních konstrukcí se pozoruje hlavně sedání základů podpěr, průhyby nosných konstrukcí. Geodetickými metodami získáme informace o chování objektu v relativních a absolutních hodnotách. [3]

Metody měření svislých posunů:

- **Geometrická nivelace** – Využívá se většinou přesná nivelace (PN), nebo velmi přesná nivelace (VPN). Dosáhnutí co nepřesnějších výsledků je podmíněno dodržováním technologických postupů při měření.
- **Hydrostatická nivelace** – Využívá principu spojených nádob. Je náročná na čas, ale lze s ní i v těžko přístupném terénu dosáhnout přesnosti 0,1mm.
- **Trigonometrické měření** – Posun se určuje na základě změny v zenitovém úhlu při etapovém měření a známé délce záměry. Touto metodou lze dosáhnout přesnosti cca 0,1mm na 20m délky.
- **GPS**
- **Pozemní fotogrammetrie**
- **Fyzikální metody**

Vodorovné posuny

U mostních konstrukcí se pozorují hlavně vodorovné posuny podpěr a hlavních nosných konstrukcí.

Existuje mnoho jevů, které způsobují vodorovné posuny stavebních objektů. Jedny z nejvýznamnějších z nich jsou venkovní síly (voda, vítr), tlaky způsobené sousedními objekty, porušení stabilizace základových vrstev. [3]

Metody měření vodorovných posunů:

- **Záměrná přímka** – Velmi rychlá a jednoduchá metoda. Určují se odchylky v kolmém směru na přímku danou dvěma body, u kterých lze ověřit stabilitu.
- **Polygonové pořady** – Nejčastěji se používá tam, kde nelze použít metodu záměrné přímky. Posun vychází ze změny vrcholových úhlů mezi etapami.
- **Trigonometrická metoda** – Posuny se určují směrovým protínáním. Zpravidla se určují relativní posuny vůči základní etapě.
- **Délkové protínání** – Díky rozvoje technologii se začala používat i tato metoda. Používají se vysoce přesné dálkoměry. Např. KernMe 5000 – Mekometr (později Wild Di 2002) se směrodatnou odchylkou $\sigma_d = 0,2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$.
- **Pozemní fotogrammetrie** – Používaná hlavně při sledování posunů na poddolovaných územích a erozivních účinků na svazích.
- **Fyzikální metody**
- **GPS** – Výhodou této metody je, že je nezávislá viditelnosti mezi body a počasí. Lze pozorovat vzájemný posun bodů na rozsáhlém území. Při dlouhých observacích (10 hodin) lze v jedné souřadnici dosáhnout přesnosti cca 3 – 5mm.

2.1.5 Vliv prostředí na přesnost

Zvýšení přesnosti geodetických přístrojů značně přispělo ke zvýšení vnitřní přesnosti měření. Čím vyšší je přesnost výsledků, tím více se uplatňují náhodné, ale zejména systematické chyby proměnlivého charakteru způsobené vnějším prostředím, především změnami atmosférických podmínek. Proto se často měří v noci, aby se tyto vlivy minimalizovaly.

Je nutno zaznamenávat nejen měření, ale také stavební, provozní a atmosférické podmínky, které mohou výrazně ovlivnit přesnost výsledků. Je velice vhodné volit etapové měření tak, aby byly pokud možno stejné podmínky ve všech etapách. Například stejné roční období, měřit v noci a bez provozu. [3]

2.1.6 Interpretace výsledků

Za předpokladu, že jsou měření zatížena jen náhodnými chybami se směrodatnou odchylkou σ , platí:

- I. $p < \sigma_p$: posun není prokazatelný,
- II. $\sigma_p < p < 2 \sigma_p$: bod je podezřelý z posunu,
- III. $p > 2 \sigma_p$: posun je prokázán s rizikem 5%.

Je možno použít jinou pravděpodobnost (obvykle ještě 1%).[3]

2.2 Globální systém určování polohy

Globální systém určování polohy zkráceně GPS (Global Positioning System) také nazývaný NAVSTAR (Navigation system using Time and Ranging) byl vyvíjen jako náhrada za družicový radiolokační systém TRANSIT, který už nevyhovoval tehdejšími vojenskými požadavkům. Budování začalo v roce 1973 pod vedením U.S. Air force ve spolupráci s U.S. Army Navy a MDA (Defense Mapping Agency). V roce 1978 se k budování připojilo také devět členských států NATO. [1]

2.2.1 Složení systému GPS

Systém NAVSTAR GPS se skládá ze tří podsystemů:

- Kosmický
- Řídící (kontrolní)
- Uživatelský

Kosmický podsystem je tvořen družicemi umístěnými na oběžné dráze ve vzdálenosti 20200 km od povrchu země a pohybujícími se rychlostí $11300 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Počet družic je proměnlivý, neboť jsou stále vypouštěny nové družice a staré stahovány. Minimální počet družic je čtyřicet. Tyto družice obíhají Zemi v šesti téměř kruhových drahách se sklonem 55° k rovině rovníku. Každá družice oběhne zemi za 11h 58m, tedy dvakrát denně a každý následující den je na stejné poloze o čtyři minuty dříve než v den předchozí. Družice sledují stav vlastních systémů, korigují svou dráhu pomocí raketových motorů a podávají o těchto skutečnostech zprávu do řídicího centra. Družice vysílají signály pro uživatele v podobě složitěho signálu, který je tvořen řadou koherentních kmitočtů. Za poslední léta prošly družice mnoha technickými vylepšeními. Asi nejdůležitější z nich je, že u poslední generace družic je čas měřen pomocí vodíkového maseru, takže je čas měřen o řád přesněji, než u jejich předchůdkyň. Povinnou výbavou družic je vysílač, přijímač, atomové hodiny, procesory a celá řada jiných přístrojů, které slouží nejen při navigaci, ale například pro detekci jaderných výbuchů a pro jiné vojenské účely. Každá družice také přijímá, zpracovává a uchovává informace předané pozemními anténami.

Řídící podsystem monitoruje funkce družic a získané údaje předává v navigační zprávě do paměti družic. Skládá se z pěti monitorovacích stanic, tří pozemních vysílačů, povělů a hlavního řídicího střediska. Rozmístění stanic umožní denně navázat tři spojení

mezi každou družicí a anténou. Monitorovací stanice jsou vybaveny cesiovými normály a přijímači P kódu. Neustále přijímají signály z družic, uchovávají je a předávají do hlavní stanice. Zde se pak zpracovávají telemetrické údaje a výsledky pozorování družic ze všech monitorovacích stanic. Počítají se zde efemeridy družic, parametry družicových hodin a také se zde uchovává časový systém GPS, čas GPST.

Uživatelský podsystém tvoří veškeré přijímače GPS signálu. Takovýto přijímač je tvořen anténou, mikroprocesorem, rádiofrekvenční jednotkou, komunikační jednotkou, pamětí a zdrojem napětí. Anténa je doplněna předzesilovačem, protože signály GPS jsou slabé. Anténa je buď oddělena, nebo je spojena s přijímačem. [1]

2.2.2 Signál družic

Každá družice je vybaveny přesnými atomovými hodinami, které řídí každou část vysílaného signálu. V současné době jsou družicemi NAVSTAR vysílány dvě základní nosné vlny L1 a L2. Tyto dvě vlny se používají pro přenášení tzv. navigační zprávy a také dvou kódů. Tyto pseudonáhodné tzv. PRN kódy slouží k modulaci nosné vlny. Tyto kódy jsou pro každou družici unikátní a zajišťují GPS přijímači jednoznačnou identifikaci vysílající družice. Z přijatého kódu je možno určit, která družice ho vysílala, její polohu, přibližnou polohu ostatních družic, stáří zprávy a další údaje.

Přehled frekvencí GPS signálu:

- Základní frekvence $f_0 = 10,23 \text{ MHz}$
- Nosná frekvence L1 $154 \cdot f_0 = 1575,42 \text{ MHz} = f_1$
- Nosná frekvence L2 $120 \cdot f_0 = 1227,60 \text{ MHz} = f_2$
- P kód $f_0 = 10,23 \text{ MHz}$
- C/A kód $f_0/10 = 1,023 \text{ MHz}$
- W kód $f_0/20 = 511,5 \text{ kHz}$
- Navigační zpráva $f_0/204600 = 50 \text{ Hz}$

Pseudonáhodný **C/A kód** (clear/access – volný přístup) se vysílá na nosné vlně L1 a není nijak šifrovaný. Horizontální přesnost C/A kódu se pohybuje v řádech metrů a je využíván pro navigaci s nižší přesností a pro časovou synchronizaci. Umí přečíst navigační

zprávu a je nezbytný pro rychlou navigaci v P kódu. C/A kód je 1023 bitů dlouhý a je vysílán frekvencí 1,023 MHz, takže je periodicky opakován každou tisícinu sekundy.

Pseudonáhodný **P kód** (protected – chráněný) je vysílán na obou nosných vlnách L1 a L2. P kód je přístupný pouze pro autorizované uživatele. Díky vysílání na dvou frekvencích lze odstranit troposférické a ionosférické refrakce a dosáhnout tak velmi přesného určení polohy. Geodetické přístroje pracují v řádech milimetrů. P kód je modulován podobně jako C/A kód, ale je vytvářen složitější kombinací bitových sekvencí dvou registrů s frekvencí 10,23 MHz, to odpovídá délce 29,3 m. Vzniká tak kód o délce $2,3547 \cdot 10^{14}$ bitů, což udává dobu opakování P kódu na přibližně 266,4 dní. Bylo vybráno 32 variant skupin bitů, jejichž vysílání trvá přesně 7 dní. Přímý přístup k P kódu mají ty přijímače, ve kterých ho lze realizovat a jehož souřadnice jsou známy s přesností 3-6 km.

Navigační zpráva je jedním z typů kódů vysílaného družicemi. Je vysílána frekvencí 50 Hz, její délka je 1500 bitů a je rozčleněna do pěti částí (subframů), každý po 300 bitech. Každý subfram se skládá s desíti třicetibitových slov. První slovo v každém subramu je TLM, nese synchronizační vzor a diagnostické zprávy. Druhé slovo je HOW (hand-overword), nese identifikační údaje subramu, nejrůznější indikátory a časovou hodnotu TOW (time of week). První subframe navigační zprávy obsahuje údaje o týdnu GPS, stavu družice a další parametry. Druhá a třetí část je vyhrazena pro efemeridy. Čtvrtý subframe je vyhrazen pro vojenské účely. Pátý subframe nese méně přesné informace o poloze ostatních družic, tzv. almanach. [2]

2.2.3 Měření vzdáleností

Kódové měření využívá tzv. jednosměrného dálkoměru. Pro určení vzdálenosti přijímače od družice je nutno zjistit čas, za který signál urazí tuto vzdálenost. Signál vysílaný z družice obsahuje elementy PRN kódu (C/A kód a P kód). Každý element je nositelem přesné časové v časovém systému GPST. V přijímači se vytváří stejný nosný kmitočet. Na tento se moduluje kopie PRN kódu. [1] Družice kódy periodicky opakuje a čas vysílání každého kódu je znám. Přijímač v těchto časech generuje vlastní repliku kódu. Tedy vygeneruje kód ve stejný čas, jako ho družice vyšle. Po přijetí kódu z družice jsou tyto signály porovnány. Pomocí zařízení zvaného smyčka s fázovou synchronizací je zjištěn rozdíl, o jaký čas přišel později kód z družice. C/A kód se opakuje každou milisekundu jeho délka je tedy 300 km. Protože přesnost pseudovzdálenosti se pohybuje kolem 1% délky mezi dvěma údaji kódu a C/A kód obsahuje přes milion těchto údajů v

jedné vteřině. Je přesnost C/A kódu asi 3 m. P kód se opakuje jednou za týden a obsahuje přes deset miliónů jedniček a nul v jedné vteřině. Přesnost pseudovzdálenosti určené P kódem je tedy 0,3 m. [2]

Při **fázovém měření** se podobně jako u fázových dálkoměrů měří, tzv. fázové doměrky přímo na nosných vlnách signálu GPS. Za předpokladu že jsme schopni změřit až jednu setinu nosné vlny, pak při vlnové délce $\lambda_1 \approx 19$ cm a $\lambda_2 \approx 24$ cm jsme schopni určit pseudovzdálenosti pomocí fázového měření s milimetrovou přesností. Proto se tento způsob využívá především u geodetických aplikací. Pokud jsme tedy schopni určit v jaké fázi k nám vlna dorazila, musíme ještě určit kolik celých vln (tzv. ambiguity) dorazilo na celé vzdálenosti družice před touto měřenou vlnou. Existuje celá řada technik, jak tyto ambiguity určit. [2]

2.3.4 Určení souřadnic družice

Systém WGS84 je geocentrickým systémem, který vyjadřuje polohy družic a i polohy určovaných bodů, popřípadě jejich rozdíly. Systém WGS84 je definován rotačním elipsoidem, s těmito parametry:

- $a = 6378137$ m délka hlavní poloosy
- $GM = (3986005 \pm 0,6) \cdot 10^8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$ geocentrická gravitační konstanta
- $\omega = 7292115 \cdot 10^{-11} \text{ rad/s}$ úhlová rychlost rotace země
- $J_2^{(0)} = 1082630 \cdot 10^{-9}$ zonální Stokesův koeficient druhého stupně

Popis polohy družice v systému WGS84 se uskutečňuje pomocí šesti tzv. Keplerových elementů. Pomocí těchto elementů a jejich změn v čase je předána informace o poloze družice.

$$r(t) = r(a, e, i, \Omega, \omega, v(t))$$

Dráhové elementy:

- a, e určují tvar dráhy
- i, Ω určují polohu dráhy v prostoru v inerciálním systému
- ω orientuje elipsu v rovině dráhy
- $v(t)$ časová orientace družice vzhledem k perigeu

Předpověď družicové dráhy je tvořena oskulačními elementy, které jsou předávány v navigační zprávě pro časový okamžik t_{0e} .

Udává se:

- a velká poloosa
- e excentricita
- i_0 sklon dráhy
- ω_0 argument perigea v čase t_{0e}
- Ω_0 rektascenze výstupního uzlu v čase t_{0e}
- M_0 střední anomálie v čase t_{0e}
- di/dt časová (sekulární) změna i_0
- $d\Omega/dt$ časová (sekulární) změna Ω_0

V navigační zprávě jsou také uvedeny amplitudy kosinusových (sinusových) členů:

- C_{uc}, C_{us} korekční členy argumentu deklinace
- C_{ic}, C_{is} korekční členy pro sklon dráhy
- C_{rc}, C_{rs} korekční členy vzdálenosti družice

Z těchto elementů se určí souřadnice družice v rovině dráhy a potom se transformují do souřadnic systému WGS84 pevně spojeného se Zemí. [2]

2.2.5 Metody určování polohy GPS

Při určování polohy s využitím GPS systému lze použít dvě metody. **Absolutní určení polohy** kdy jsou souřadnice určeny v geocentrickém souřadnicovém systému WGS84. Lze využít pouze jednu aparaturu. Souřadnice jsou určeny v reálném čase a vzdálenost mezi družicí a přijímačem se určí pomocí pseudovzdálenosti. Touto metodou lze dosáhnout metrové přesnosti, proto je spíše využívána při navigaci než pro účely geodézie. [1] V geodézii se pro určování polohy bodů využívá fázových pozorování a **relativního způsobu určování polohy** při kterém měří zároveň minimálně dva přijímače a výsledkem je jejich relativní poloha. Poloha bodu se určuje vzhledem k referenčnímu bodu, jeho geocentrické souřadnice jsou známy a délku vektoru mezi nimi lze určit s milimetrovou přesností. Obě tyto metody lze využít pro statické i kinematické určení polohy. Při statickém určení polohy je přijímač vůči zemskému povrchu stabilní. Při kinematickém určení polohy se přijímač vůči zemskému povrchu pohybuje. Podle účelu a požadované přesnosti lze využít tyto metody. [2]

Statická metoda spočívá v kontinuální observaci minimálně dvou aparatur po dobu několika hodin až dní. Je to časově nejnáročnější metoda, která poskytuje nepřesnější výsledky ($m_p = 3 - 5$ mm). Používá se pro práce s maximální požadovanou přesností jako např. budování geodetických základů, sledování regionální geodynamiky a sledování

posunů a přetvoření. Při dlouhých základnách vykazuje statická metoda mnohem vyšší přesnost než jiné metody. U kontinentálních měření, čili proměřování velmi dlouhých základen je nutné modelovat mnoho faktorů, které se na krátkých základnách neprojeví. Pro získání nejpřesnějších výsledků je nutné měření plánovat. Je nutné věnovat velkou pozornost volbě metody a délce observace.

Rychlá statická metoda je velice podobná statické metodě, akorát vyžaduje mnohem kratší dobu observace. Díky technologii rychlého určování ambiguit je doba observace zkrácena na několik minut. Metoda vyžaduje dvoufrekvenční přijímač s p kódem a výhodnou konfiguraci družic. Dosažená přesnost rychlou statickou metodou je $5 - 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$. Využívá se pro zhušťování podrobných a základních bodových polí a pro budování prostorových sítí nižší přesnosti.

Metoda Stop and Go patří k nejrychlejším metodám měření, kterými jde určit souřadnice podrobných bodů s přesností $10 - 20 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$. Je obdobná rychlé statické metodě s tím rozdílem, že přijímač nesetrvává na jednom bodě, ale pohybuje se. Musí však na prvním bodě zůstat dostatečně dlouho, aby vyřešil ambiguitu. Pro vyřešení ambiguit se využívá dvou způsobů. Buď se využije měření v kinematickém režimu na koncových bodech známé základny, jejichž souřadnicové rozdíly jsou známy s přesností 5 cm. Nebo se využije výměny antén mezi dvěma blízkými přijímači. Metoda Stop and Go se využívá pro určování souřadnic podrobných bodů.

Kinematická metoda rozlišuje dvě technologie. Kinematická metoda s inicializací je podobná metodě Stop and Go a kinematická metoda bez inicializace, která se pokouší odstranit nutnost opětovné inicializace po ztrátě signálu. Určuje ambiguitu na základě přesných kódových měření za pohybu přijímače. Přesnost kinematické metody je $20 - 30 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}$.

Real time kinematic (RTK) je v podstatě kinematická metoda v reálném čase. Využívá rádiového přenosu korekcí fázového měření od referenčního přijímače k pohybujícímu se přijímači. Je to nejnovější metoda, která dosahuje přesnosti $30 - 50 \text{ mm}$ a nachází uplatnění v určování souřadnic bodů podrobných bodových polí a podrobných bodů, zejména při vytyčování. [2]

3. PRAKTICKÁ ČÁST

3.1 Popis lokality

Měření proběhlo v okolí Ivančického viaduktu, jehož název se v průběhu let měnil. V době stavby byl most označován Iglawa – viadukt, podle řeky kterou překlenul. Později začali převládat názvy podle okolních měst jako Koutnický nebo Branický viadukt. Až ve dvacátých letech minulého století se název ustálil na Ivančický viadukt. Most se nachází v 130,187 km trati Hrušovany nad Jevišovkou – Střelice. [4]

3.1.1 Historie mostu

Historie mostu sahá až k roku 1854, kdy stát prodal své tratě do soukromých rukou. Tím vznikla Rakouská společnost státní dráhy (StEG). Projekt celokovového mostu předložil v roce 1868 stavební ředitel StEG Karl von Ruppert, jež se inspiroval podobnými mosty dříve postavenými ve Francii. Podle tohoto projektu stavbu provedla v letech 1868 – 1870 francouzská firma Cail&comp. Po dokončení 20. srpna 1870 most úspěšně absolvoval zátěžovou zkoušku a byla uspořádána týdenní hostina. Roku 1879 se objevily první problémy v podobě až několika centimetrů dlouhých trhlin na litinových částech pilířů. Počáteční řešení bylo praskliny zajistit ocelovými prstenci a snížit rychlost průjezdů vlaků po mostě. Roku 1892 byly poškozené pilíře vyměněny za nové. Největším problémem však byl nestabilní svah na hrušovanské straně, umocněný značným množstvím vody v podloží. Minimálně od léta 1876, kdy byl naměřen první pokles, je most neustále v pohybu. Roku 1879 odborná komise prohlásila, že je most bezpečný, ale most nepřestal být sledován. Tyto problémy provázejí i nový most, který byl postaven v polovině sedmdesátých let. Stavbu nového mostu si vyžádal technický stav starého mostu a nárůst provozního zatížení, pro které starý most již nevyhovoval. Roku 1965 brněnský SUDOP dokončil stavbu nového mostu, který dostal název Nový ivančický viadukt. Pravidelný provoz na novém mostě byl zahájen 1978. V té době byl také definitivně rozebrán starý most až na jedno krajní pole na východní straně, které se stalo technickou památkou. [4]

3.1.2 Konstrukce mostu

Ve prospěch výstavby celoželezného mostu mluvila hlavně kratší doba výstavby železných pilířů oproti zděným. Délka celé spojitě 373,5 m dlouhé konstrukce byla

rozdělena na šest polí po 60 m, podepřených pěti pilíři ze čtyř litinových trub o vnějším průměru 50 cm vyplněných betonem. Pilíře byli usazeny na masivních základech z kamenných kvádrů a na každé straně mostu byla zbudována kamenná podpěra. Niveleta koleje je vodorovná ve výšce 42 m nad střední hladinou protékající řeky Jihlavy. Celou výstavbu provedlo 30 dělníků za pouhých 154 dní a náklady byl 755000 zlatých.



Obrázek 3.1 starý most z roku 1910.

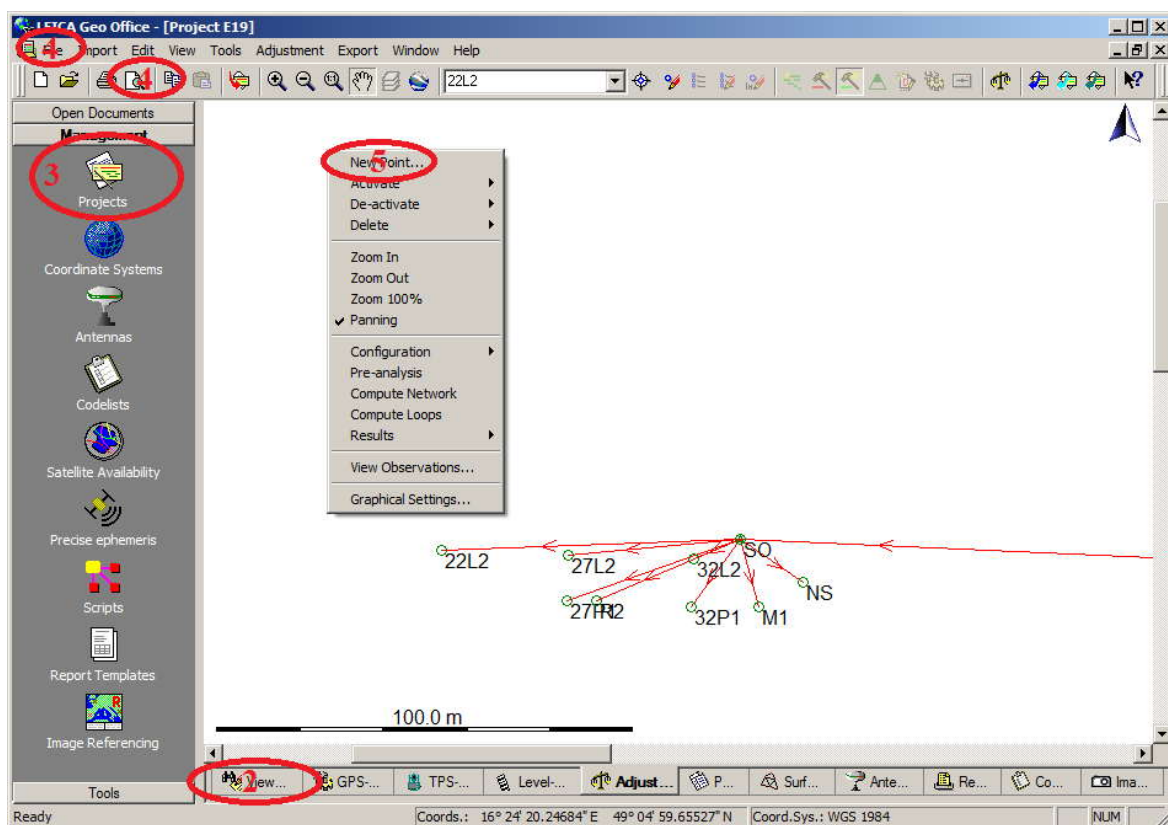
Konstrukci Nového ivančického viaduktu tvoří spojitý nosník komorového průřezu o výšce 4,5 m a délce 387 m. pět pilířů tvoří plnostěnné ocelové rámové konstrukce, které dělí most na šest polí s největším rozpětím 79,2 m. Celý most váží 2560 tun.[4]

3.1.3 Předmět měření posunů

Předmětem měření posunů jsou posuny bodů osazených na západní opěře a přilehlém předpolí Ivančického viaduktu. Body jsou stabilizovány nastřelovacími hřeby, nebo roxory s dírkou. Cílem je vyhodnotit posuny bodů NS, NJ, R1, R2, M1, F3, 22L2, 27L2, 32L2, 22P1, 27P1, 32P1 v průběhu devatenácti etap měřených od roku 2000.

3.2 Popis programu LGO

Program Leica Geo Office (LGO) je kompletním balíkem programů, které umožňují zpracování dat po měření (Post Processing), podporu měření v reálném čase (Real – Time Surveying) a také správu těchto dat a plánování měření. Program je uživatelsky velmi příjemný, přehledný a velmi snadno pochopitelný a ovladatelný. Komponenty mezi sebou bez problémů komunikují a zajišťují tak plynulý chod programu. Celé uživatelské rozhraní software je koncipováno tak, aby bylo jeho ovládání co nejjednodušší a nejintuitivnější.



***1** Menu ***2** Tabbled Views ***3** Listbar ***4** Toolbar ***5** Context-menu

Obrázek 2.1 Náhled prostředí programu Leica Geo Office

Samozřejmostí je, že si každý uživatel může nastavit vlastní vzhled nástrojů. Program umožňuje vkládání a vedení dat, import zpracování a export dat, dále umožňuje transformace, vyrovnání sítě. Nejprve je nutno založit projekt a vložit, nebo importovat data. Pro výpočet vektoru je nutné znát absolutní polohu výchozího bodu s přesností do 10

m, nebo je spočítat metodou SPP (Single Point Processing). Před samotným výpočtem se už jen označí reference a rovery a nastaví parametry výpočtu jako ionosférický a troposférický model, elevační masku, frekvenci a další. Výpočet probíhá v souřadnicovém systému WGS84, ale v nastavbě Datum/Map lze vytvořit transformační klíč a výsledky transformovat do vlastního souřadnicového systému. Také lze po výpočtu data analyzovat a zjistit tak, pro které družice a v jakém čase bylo měření nekvalitní a tyto části měření lze vyloučit. [6]

3.3 Vlastní měření

K proměření sítě bylo použito technologie GPS a klasických geodetických metod. Z klasických metod byly použity pro vertikální složku přesná nivelace a pro horizontální složku trigonometrická metoda. Posuny bodů umístěných na opěrách nového i starého mostu jsou měřeny statickou metodou GPS a pro zjišťování okamžitých deformací je využita metoda Stop and Go. Měření probíhá za plného provozu tratě.[5]

Ve své práci se zabývám zpracováním a vyhodnocením GPS měření. Toto měření je navázáno na bod V stabilizovaný 400 m daleko na západní opěře mostu, který je stabilní díky skalnatému podloží. Pro zaměření pozorovaných bodů byla použita místní referenční stanice na bodě SO, který je stabilizovaný na nefunkční západní opěře starého mostu. Stanice byla postavena na speciálním malém stativu, aby se minimalizovala chyba z centrace.



Obrázek 3.2 Místní referenční stanice na bodě SO.

V průběhu let se při měření používaly různé aparatury. Na bodě V a SO se ze začátku používaly stanice Leica SR399, později střídavě se stanicí Leica SR520, vybavenou anténou LEIAT502, nebo LEIAT504 a v posledních etapách AX1202GG. Na

pozorovaných bodech se používaly stanice Leica SR299/399 a Leica SR520/530 vybavenou anténou LEIAT502. V roce 2007 byl zničen bod 22P1 a byl znovu stabilizován jako bod 22P1N. [5]

3.4 Zpracování

Zpracování a výpočet GPS dat jsem provedl v programu Leica Geo Office, k následnému vyhodnocení posunů jsem použil program Microsoft Office Excel. Do programu Leica Geo Office jsem nejprve neimportoval surová data, která mi poskytl vedoucí práce a roztřídil jsem je podle jednotlivých etap. Také jsem vyloučil data, která neměla referenční stanici, nebo jejich délka observace byla kratší než patnáct minut.

Výpočet jsem provedl pro každou etapu zvlášť, tedy založil jsem pro každou etapu vlastní projekt a importoval příslušná data. Překontroloval jsem výšky antén a přiřadil správný typ každé antény. Souřadnice místní referenční stanice SO jsem určil pomocí referenčního bodu V, jehož přibližné souřadnice jsem vypočetl metodou Single Point Processing v první etapě a použil pro všechny zbylé etapy.

Souřadnice bodu V v systému WGS84:

$$B = 49^{\circ} 04' 56.21595''$$

$$L = 16^{\circ} 24' 43.33100''$$

$$h = 283.7970 \text{ m}$$

Poté jsem provedl druhý výpočet, ve kterém jsem jako referenci zvolil SO a jako rovery všechny body zaměřené v dané etapě. Díky tomuto výpočtu jsem získal souřadnicové rozdíly pozorovaných bodů vůči bodu SO v systému WGS84. Všechny výpočty jsem provedl při nastavení parametrů:

- Elevační maska - 10°
- Frekvence - L1/E1 + L2, pro aparatury SR299 pouze L1/E1
- Troposférický model - Hopfield
- Ionosférický model - Standard
- Samplingrate – Use all

Souřadnicové rozdíly jsem převedl do programu Microsoft Office Excel a pomocí matice rotace jsem je transformoval do lokálního topocentrického systému. (*Vtah 3.1*)

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

Vztah 3.1 Transformace do lokálního topocentrického systému

Pro určení posunů každého bodu jsem porovnal každou etapu, ve které byl bod zaměřen, s etapou, ve které byl příslušný bod zaměřen poprvé. Vyhodnocení je číselně uvedeno v tabulkách 3.1–3.6 a v podobě grafů v příloze 1. Bod 22P1 byl mezi etapou E12 a E13 zničen a poté znovu stabilizován jako 22P1N. Z vyhodnocení jsem vyloučil bod F3, protože byl zaměřen pouze ve dvou etapách. Pro vyhodnocení jsem použil přesnosti určení polohy a součinitele konfidence $t=2$ na jejichž základě jsem rozhodl, zda posun nastal, nebo nenastal.

	NS						NJ					
	dn [mm]	Mdn [mm]	de [mm]	Mde [mm]	dv [mm]	Mdv [mm]	dn [mm]	Mdn [mm]	de [mm]	Mde [mm]	dv [mm]	Mdv [mm]
E2-E1	-1,7	8,2	-3,6	4,0	3,1	8,9	-8,0	4,9	4,9	3,4	-5,9	5,6
E3-E1	3,8	2,7	-11,9	2,0	5,6	2,9	-8,2	5,8	5,6	3,9	-10,1	6,5
E4-E1	-0,1	3,1	-4,6	1,7	5,2	3,4	/	/	/	/	/	/
E5-E1	-2,3	3,5	-3,7	2,1	-1,8	3,8	/	/	/	/	/	/
E6-E1	2,0	1,2	-1,5	0,8	6,6	1,4	-3,5	3,4	3,0	2,1	-3,6	4,4
E7-E1	-9,7	1,0	-4,1	0,7	8,4	1,3	/	/	/	/	/	/
E8-E1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
E9-E1	-8,8	2,0	-21,4	1,3	-2,3	2,2	/	/	/	/	/	/
E10-E1	-4,7	1,7	-9,0	1,0	2,2	1,9	/	/	/	/	/	/
E11-E1	-6,0	1,2	-7,2	0,9	4,9	1,5	/	/	/	/	/	/
E12-E1	-4,5	10,6	-11,8	3,2	-24,4	11,3	/	/	/	/	/	/
E13-E1	-4,4	2,6	-7,8	1,6	0,1	2,8	/	/	/	/	/	/
E14-E1	-7,1	0,8	-9,3	0,7	1,4	1,2	/	/	/	/	/	/
E15-E1	-6,5	1,3	-9,2	1,0	2,8	1,5	/	/	/	/	/	/
E16-E1	-5,6	1,9	-8,7	1,2	5,7	2,1	/	/	/	/	/	/
E17-E1	-7,2	1,9	-6,7	1,3	-6,2	2,2	/	/	/	/	/	/
E18-E1	-7,1	1,7	-7,8	1,2	10,5	2,0	/	/	/	/	/	/
E19-E1	-4,6	3,0	-11,4	1,8	8,8	3,2	/	/	/	/	/	/

Tabulka 3.1 Vyhodnocení posunů bodů NS a NJ

U bodu NS, který byl zaměřen téměř ve všech etapách a je stabilizován v opěře mostu, lze pozorovat posun mezi etapami E6 a E7 o 9,7 mm na jih. V následujících etapách již bod nejeví velkou tendenci se ve směru zeměpisné šířky pohybovat (*graf 1.1*). Ve směru zeměpisné délky je zjevný posun směrem na západ, který dosahuje nejvyšších hodnot v etapě E9 a to 21,4 mm (*graf 1.2*). Bod tedy jeví mírnou tendenci sunout se na jihozápad. Bod NJ byl zaměřen pouze ve třech etapách, tudíž se o posunech dá pouze spekulovat. Měřením nebyl posun bodu NJ prokázán.

	R1						R2					
	dn [mm]	Mdn [mm]	de [mm]	Mde [mm]	dv [mm]	Mdv [mm]	dn [mm]	Mdn [mm]	de [mm]	Mde [mm]	dv [mm]	Mdv [mm]
E2-E1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
E3-E1	0,6	4,2	8,2	2,9	3,4	4,6	/	/	/	/	/	/
E4-E1	1,2	2,9	-1,9	1,8	-3,5	3,3	-5,4	3,9	3,9	2,3	-18,5	4,4
E5-E1	-0,2	2,9	-2,3	1,9	-5,0	3,4	-8,7	3,9	8,7	2,3	-33,1	4,5
E6-E1	/	/	/	/	/	/	-19,5	2,8	2,0	2,1	-29,4	3,3
E7-E1	/	/	/	/	/	/	-19,5	1,3	11,7	1,0	-31,5	2,1
E8-E1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
E9-E1	-1,1	2,5	-8,8	1,7	-4,6	2,9	-15,3	1,6	15,1	1,1	-45,0	2,3
E10-E1	-2,6	1,7	-8,6	1,2	-24,5	2,3	-17,8	1,5	17,8	1,0	-53,1	2,3
E11-E1	-9,6	1,5	-5,6	1,2	-16,7	2,2	-23,1	1,3	23,6	1,0	-66,3	2,1
E12-E1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
E13-E1	-3,0	1,8	-8,6	1,4	-20,7	2,4	/	/	/	/	/	/
E14-E1	-1,4	1,4	-8,4	1,1	-20,9	2,1	-23,8	1,2	21,6	0,9	-68,5	2,0
E15-E1	-1,8	1,7	-9,2	1,3	-13,0	2,4	-19,6	1,7	22,7	1,2	-66,3	2,4
E16-E1	/	/	/	/	/	/	-15,9	2,5	24,5	1,4	-75,1	3,1
E17-E1	2,6	1,9	-8,4	1,4	-17,5	2,6	-11,7	2,8	22,4	1,7	-77,2	3,4
E18-E1	/	/	/	/	/	/	-20,1	2,3	30,4	1,5	-96,1	2,9
E19-E1	/	/	/	/	/	/	-20,7	5,0	24,5	3,0	-103,9	5,5

Tabulka 3.2 vyhodnocení posunů bodů R1 a R2

Bod R1 je ve směru zeměpisné šířky celkem stabilní, až na etapu E11, ve které je prokazatelný posun bodu R1 o 9,6 mm na jih (*graf 1.5*). Ve směru zeměpisné délky se bod posunul v etapě E3 o 8,2 mm na východ a v etapě E9 o 8,8 mm na západ (*graf 1.6*). Bod R2 jeví v průběhu etap pozvolný posun jihovýchodním směrem, který dosahuje maximálních hodnot 23,1 mm na jih a 30,4 mm na východ.

	M1						22L2					
	dn [mm]	Mdn [mm]	de [mm]	Mde [mm]	dv [mm]	Mdv [mm]	dn [mm]	Mdn [mm]	de [mm]	Mde [mm]	dv [mm]	Mdv [mm]
E10-E9	-3,5	4,3	5,0	2,6	-3,4	4,4	/	/	/	/	/	/
E11-E9	-3,5	4,0	11,6	2,4	-12,7	4,0	-3,2	1,9	5,2	1,1	-14,2	2,0
E12-E9	0,5	14,0	9,0	9,0	-12,4	14,1	/	/	/	/	/	/
E13-E9	/	/	/	/	/	/	-3,1	2,8	2,4	1,7	-5,5	2,9
E14-E9	/	/	/	/	/	/	-4,3	1,6	1,8	0,9	-18,7	1,7
E15-E9	-8,1	4,3	9,5	2,6	-34,5	4,3	-2,7	1,7	0,2	1,0	-1,4	1,8
E16-E9	-5,2	4,2	12,5	2,5	-45,3	4,2	-3,7	2,3	-2,7	1,5	-0,8	2,4
E17-E9	-10,7	4,8	12,8	2,7	-54,2	4,9	-5,6	2,5	0,0	1,5	-17,8	2,6
E18-E9	-9,8	4,8	15,1	2,9	-56,5	4,9	0,8	2,8	-2,3	1,7	-11,7	2,9
E19-E9	-15,2	6,2	15,4	3,5	-56,9	6,2	-3,0	2,6	-7,3	1,7	-0,5	2,8

Tabulka 3.3 vyhodnocení bodů M1 a 22L2

Body M1 a 22L2 byly poprvé zaměřeny až v etapě E9. U bodu M1 je prokazatelný posun od etapy E17 o maximální hodnotu 15,2 mm směrem na jih a pozvolný posun v průběhu etap východ. Bod 22L2 je ve směru zeměpisné šířky celkem stabilní. Ve směru zeměpisné délky je prokazatelný posun v etapě E11 o 5,2 mm na východ a v etapě E19 o 7,3 mm na západ. (grafy 1.9-1.12)

	27L2						32L2					
	dn [mm]	Mdn [mm]	de [mm]	Mde [mm]	dv [mm]	Mdv [mm]	dn [mm]	Mdn [mm]	de [mm]	Mde [mm]	dv [mm]	Mdv [mm]
E10-E9	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
E11-E9	20,3	2,2	-1,8	1,3	-9,7	2,4	14,0	2,1	-5,9	1,3	-7,9	2,1
E12-E9	/	/	/	/	/	/	17,1	10,5	-9,3	6,3	0,1	10,9
E13-E9	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
E14-E9	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
E15-E9	36,6	2,1	-4,5	1,4	-5,6	2,2	/	/	/	/	/	/
E16-E9	42,7	3,2	-2,3	2,0	-7,3	3,3	/	/	/	/	/	/
E17-E9	48,0	2,5	-2,7	1,5	-16,7	2,6	/	/	/	/	/	/
E18-E9	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
E19-E9	56,3	2,7	-12,8	1,7	-46,6	2,9	14,9	4,0	-12,4	2,3	-50,5	4,0

Tabulka 3.4 vyhodnocení bodů 27L2 a 32L2

Bod 22L2 se jeví velice nestabilní ve směru zeměpisné šířky. V etapě E11 je prokazatelný posun 20,3 mm směrem na sever, který se stále zvětšuje až do poslední etapy E19 kde nabývá maximální hodnoty 56,3 mm. Ve směru zeměpisné délky vykazuje bod v etapě E19 posun o 12,8 mm na západ. Bod 32L2 vykazuje posun na severozápad, ale bohužel byl zaměřen pouze ve třech etapách, tudíž o jeho posunu nemůžeme získat širší informace.

	22P1						27P1					
	dn [mm]	Mdn [mm]	de [mm]	Mde [mm]	dv [mm]	Mdv [mm]	dn [mm]	Mdn [mm]	de [mm]	Mde [mm]	dv [mm]	Mdv [mm]
E9-E8	5,8	2,4	-1,9	1,6	16,6	2,4	8,0	2,6	2,6	1,6	14,1	2,7
E10-E8	4,0	2,5	-2,6	1,5	17,6	2,6	/	/	/	/	/	/
E11-E8	-3,8	1,4	0,9	0,9	-2,5	1,5	2,3	2,4	2,4	1,5	-9,0	2,5
E12-E8	0,9	16,9	-2,3	7,5	14,7	18,5	/	/	/	/	/	/
E13-E8	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
E14-E8	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
E15-E8	/	/	/	/	/	/	-1,4	2,7	2,7	1,8	-3,2	2,8
E16-E8	/	/	/	/	/	/	0,1	3,0	3,0	1,9	-8,7	3,2
E17-E8	/	/	/	/	/	/	-0,2	3,2	3,2	1,9	-15,9	3,3

Tabulka 3.5 vyhodnocení bodů 22P1 a 27P1

Bod 22P1 byl mezi etapami E12 a E13 zničen a znovu stabilizován jako bod 22P1N (viz. Tabulka 3.6). Bod 22P1 vykazuje pouze mírné posuny ve směru zeměpisné šířky. U bodu 27P1 je prokazatelný jediný posun, a to ve směru zeměpisné šířky o 8 mm směrem na sever.

	32P1						22P1N					
	dn [mm]	Mdn [mm]	de [mm]	Mde [mm]	dv [mm]	Mdv [mm]	dn [mm]	Mdn [mm]	de [mm]	Mde [mm]	dv [mm]	Mdv [mm]
E9-E8	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
E10-E8	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
E11-E8	-5,3	2,2	1,9	1,4	-17,8	2,2	/	/	/	/	/	/
E12-E8	0,1	6,3	-3,1	3,5	-5,0	6,9	/	/	/	/	/	/
E13-E8	-1,9	1,8	0,2	1,3	-12,3	1,9	/	/	/	/	/	/
E14-E8	/	/	/	/	/	/	0,0	0,6	0,0	0,3	0,0	0,7
E15-E8	/	/	/	/	/	/	3,2	1,9	0,4	1,7	2,1	2,0
E16-E8	-0,8	2,2	1,0	1,5	-32,1	2,3	4,2	2,5	-2,1	1,5	2,6	2,6
E17-E8	-1,2	2,7	0,0	1,5	-49,1	2,7	4,9	2,3	1,4	1,3	-13,6	2,4
E18-E8	-18,6	2,4	5,1	1,5	-66,1	2,4	/	/	/	/	/	/
E19-E8	-22,2	3,5	3,5	2,1	-73,2	3,7	/	/	/	/	/	/

Tabulka 3.6 vyhodnocení bodů 32P1 a 22P1N

U nově stabilizovaného bodu 22P1N lze prokázat pouze malý posun ve směru zeměpisné šířky v etapě E17. Ve směru zeměpisné délky je bod stabilní. Bod 32P1 vykazuje posuny na jih a to až 22,2 mm. Jediný prokazatelný posun ve směru zeměpisné délky je v etapě E18 o 5,1 mm.

4. ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce je vyhodnotit posuny bodů mostní opěry a přilehlého násypového tělesa Ivančického viaduktu. Měření proběhlo v devatenácti etapách od roku 2000. Použitá metoda měření byla statická metoda GPS a zpracování jsem provedl v programu Leica Geo Office a Microsoft Office Excel. Program Leica Geo Office mi připadal velice přehledný, jednoduchý pro použití a velice uživatelsky přívětivý a celkově ho hodnotím velice kladně.

Měření a následné vyhodnocení proběhlo na dvanácti bodech osazených v opěře mostu a železničním svršku přilehlého násypového tělesa. Při vyhodnocení jsem prokázal největší posun ve směru zeměpisné šířky u bodu 27L2 a to o celých 56,3 mm směrem na sever a ve směru zeměpisné délky u bodu R2 o 30,4 mm. Celkový pohled na situaci ukazuje, že body stabilizované v severní části železničního svršku mají tendenci sunout se směrem na severozápad a body stabilizované na jižní části železničního svršku, mají tendenci se sunout na jihovýchod. Bohužel nebyly v každé etapě zaměřeny všechny body, můžu tedy jen konstatovat, že kdyby tomu tak bylo, výsledky by byly přívětivější.

Pozorování neprokázalo žádné dramatické posuny, které by ohrožovaly stabilitu a konstrukci Ivančického viaduktu.

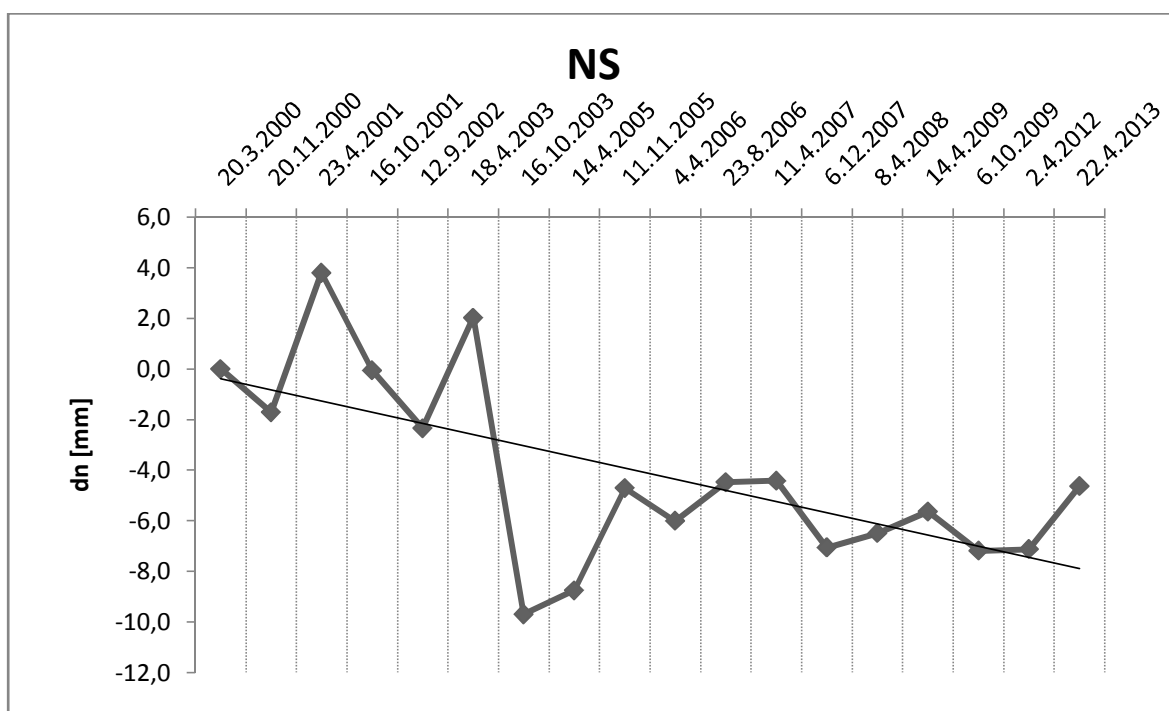
Seznam použité literatury

- [1] ŠVÁBENSKÝ, Otakar, Jan FIXEL a Josef WEIGEL. *Základy GPS a jeho praktické aplikace*. 1. vyd. Brno: CERM, 1995, 123 s. ISBN 80-214-0620-8.
- [2] ČÁBELKA, Miroslav. *Úvod do GPS* [online]. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze. [cit. 2013-05-24].
- [3] PROCHÁZKA, Jaromír. *Sylabus 11. Přednášky z inženýrské geodézie* [online]. 2012 [cit. 2013-05-24].
- [4] NOHEL, Petr. Ivančický viadukt. [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://spz.logout.cz/infra/ivandu.html>
- [5] ŠVÁBENSKÝ, Otakar, Alexej VITULA a Jiří BUREŠ. *Inženýrská geodézie II: Geodézie ve stavebních oborech*.
- [6] GEFOS. *Leica Geo Office: Návod pro rychlý start* [online]. 2007 [cit. 2013-05-24].
- [7] VALENTOVÁ, Eva. *Měření posunů mostní opěry*. 2008. DP VUT Brno.

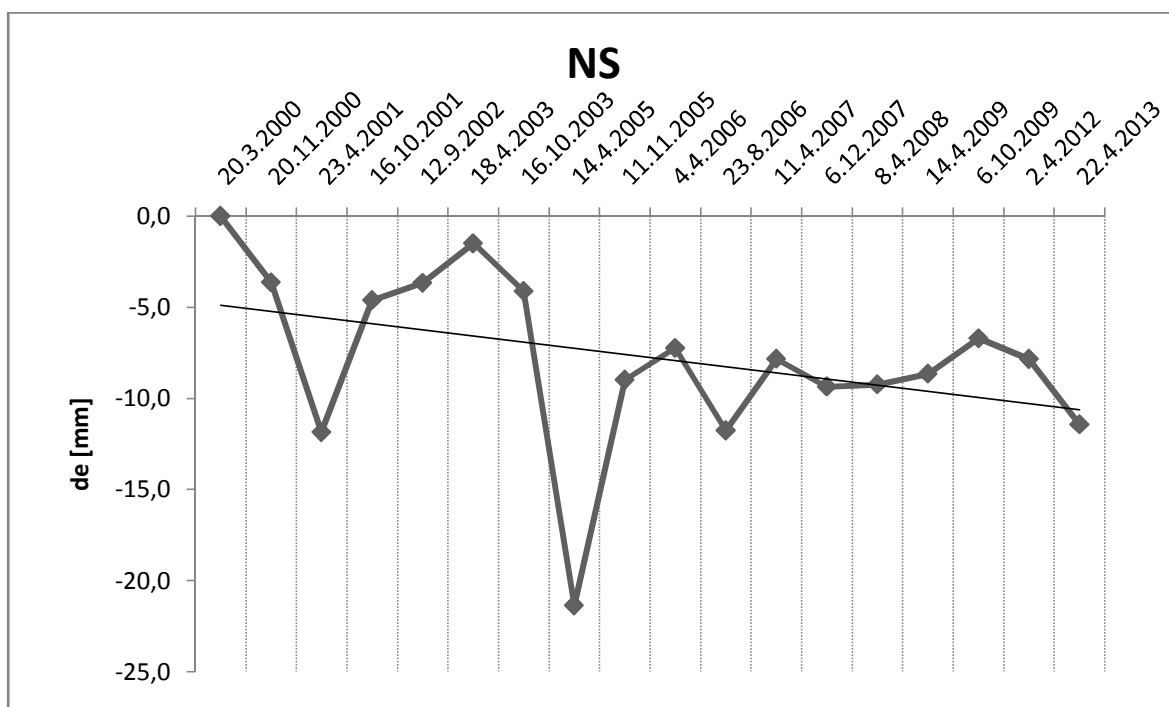
Seznam příloh

Příloha č.1: Grafy posunů bodů ve směru zeměpisné šířky a zeměpisné délky.

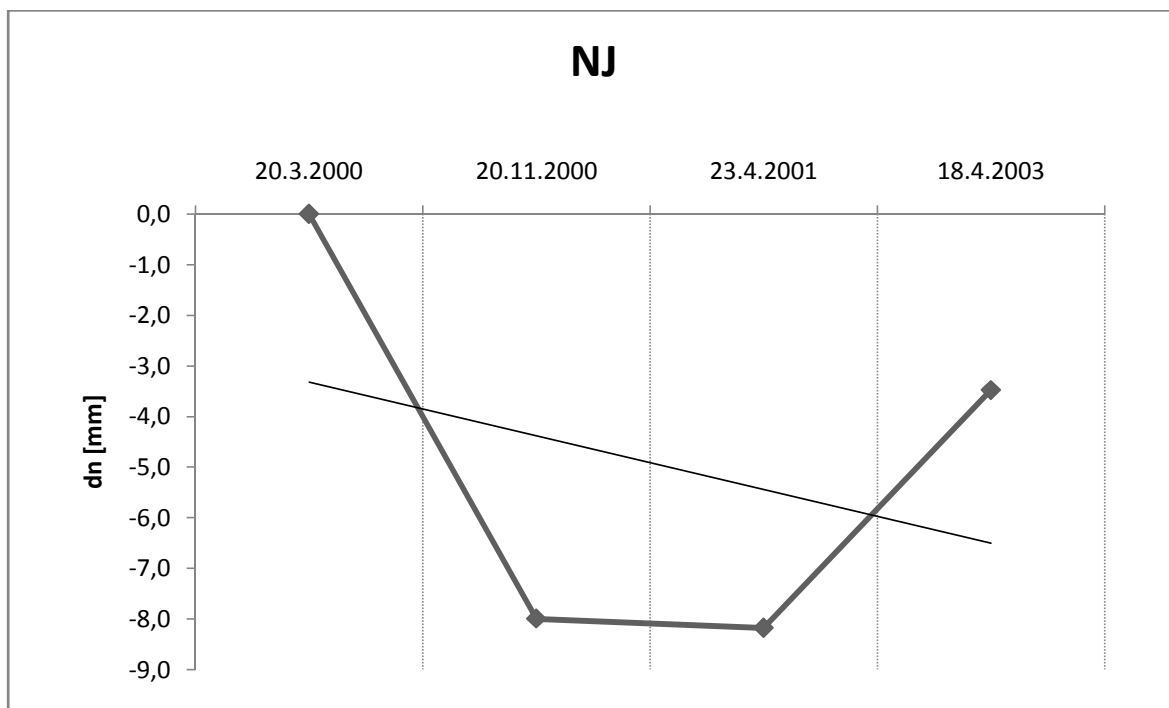
Příloha č.1: Grafy posunů bodů ve směru zeměpisné šířky a zeměpisné délky.



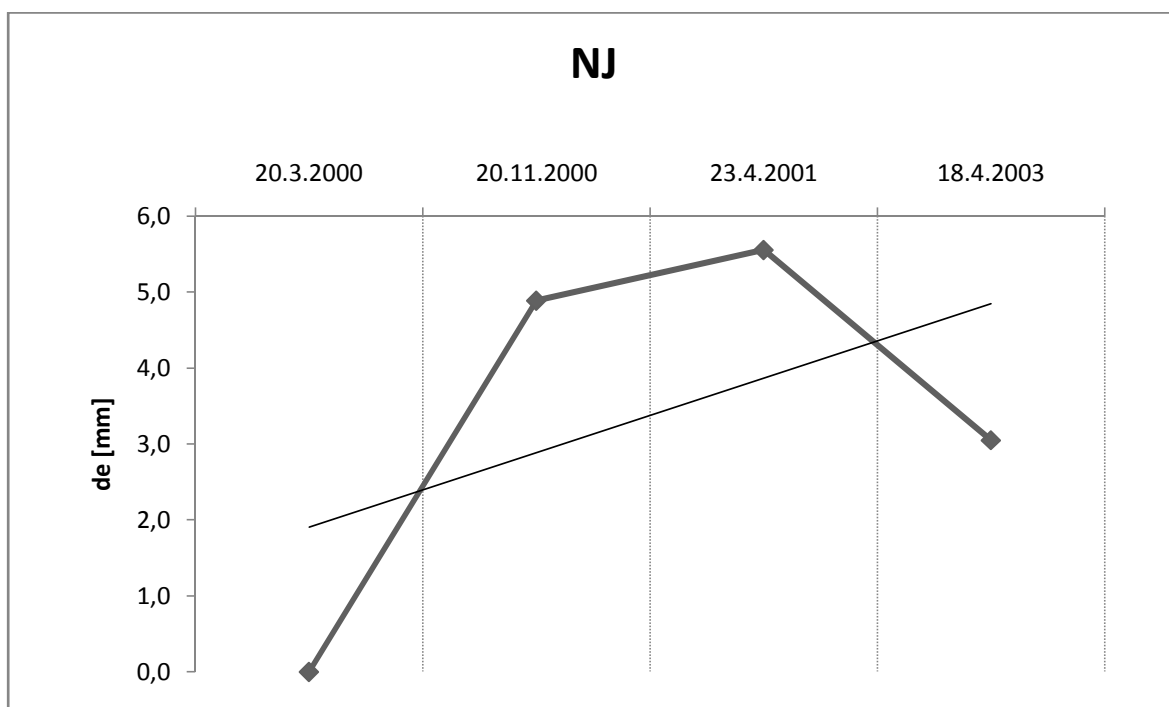
Graf 1.1 Posun bodu NS vůči bodu SO ve směru zeměpisné šířky.



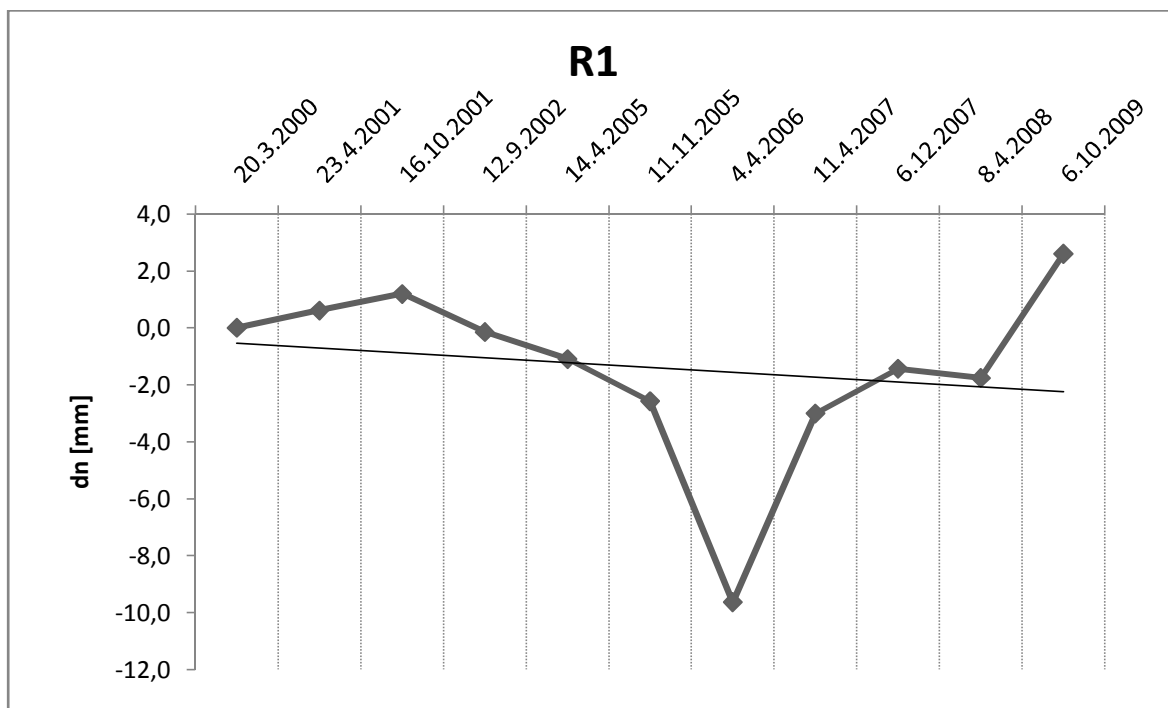
Graf 1.2 Posun bodu NS vůči bodu SO ve směru zeměpisné délky.



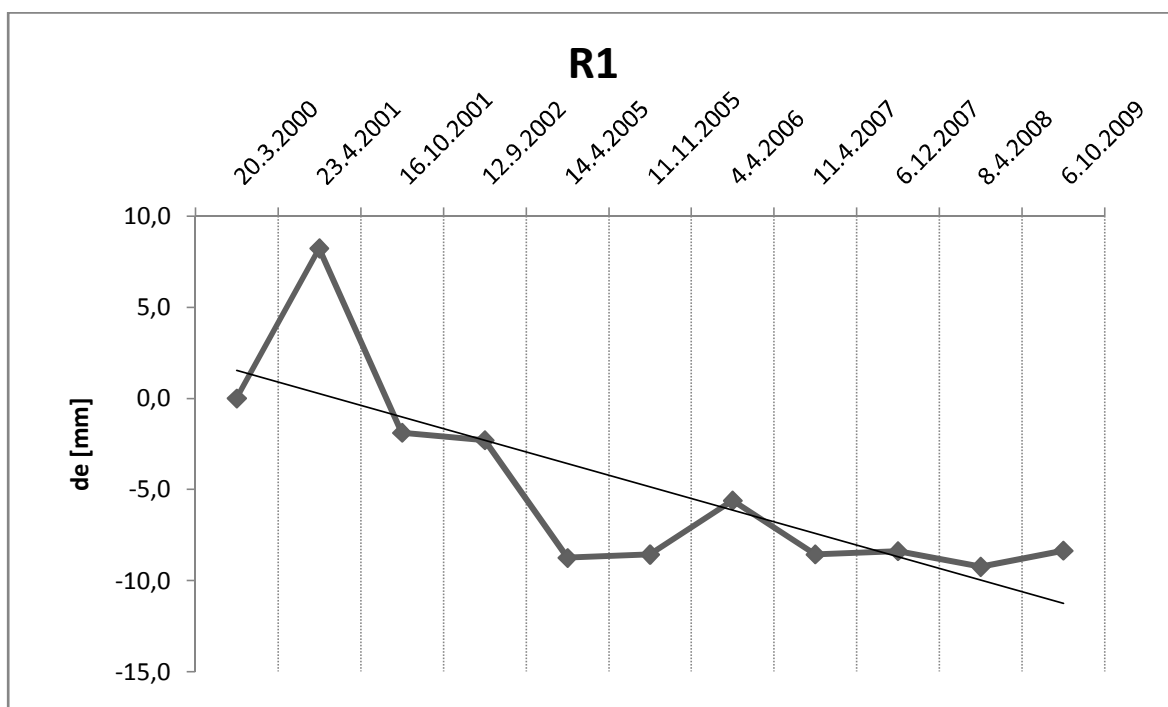
Graf 1.3 Posun bodu NJ vůči bodu SO ve směru zeměpisné šířky.



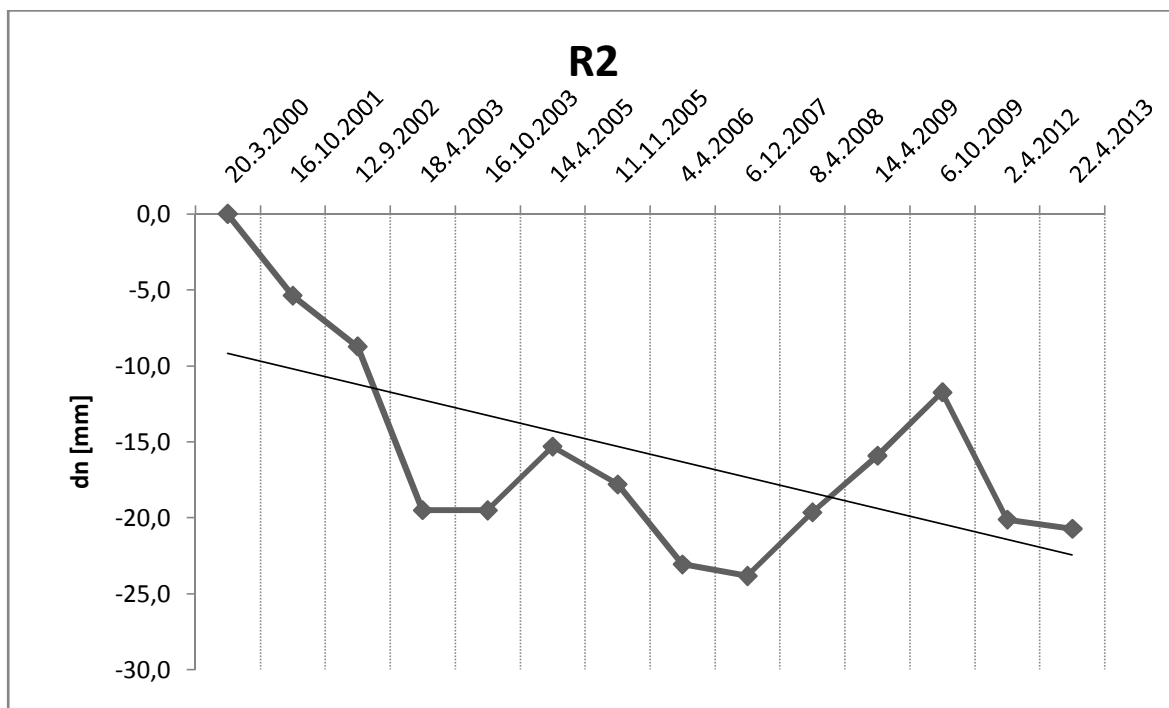
Graf 1.4 Posun bodu NJ vůči bodu SO ve směru zeměpisné délky.



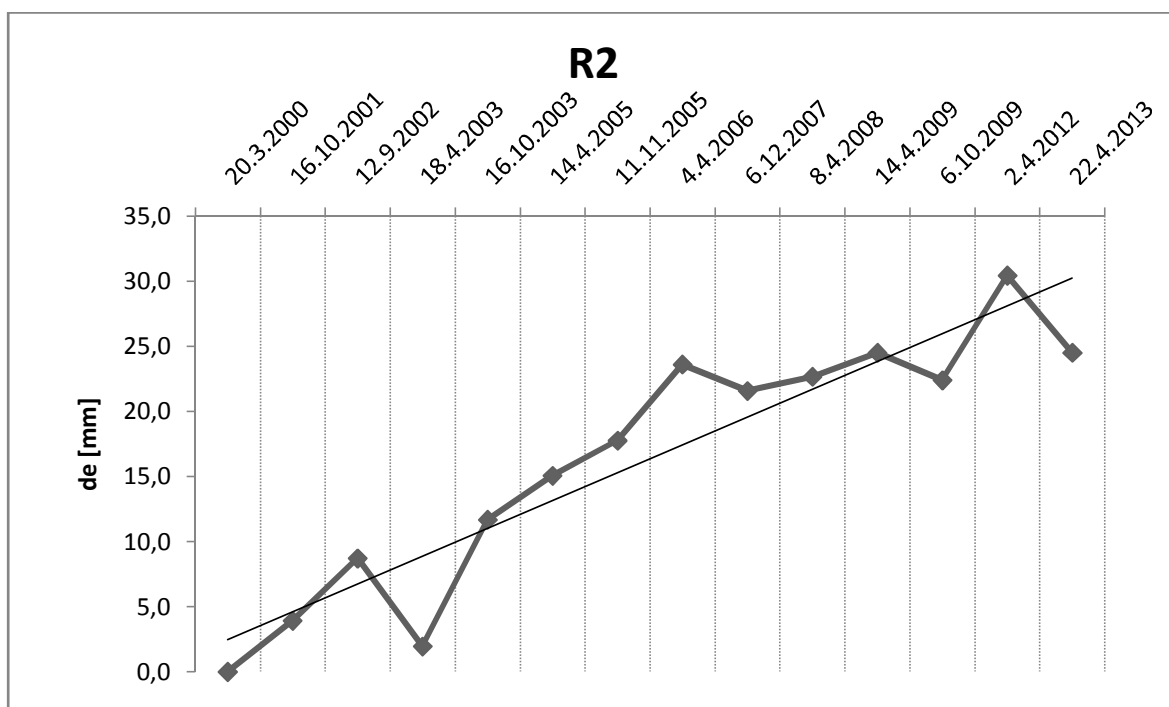
Graf 1.5 Posun bodu R1 vůči bodu SO ve směru zeměpisné šířky.



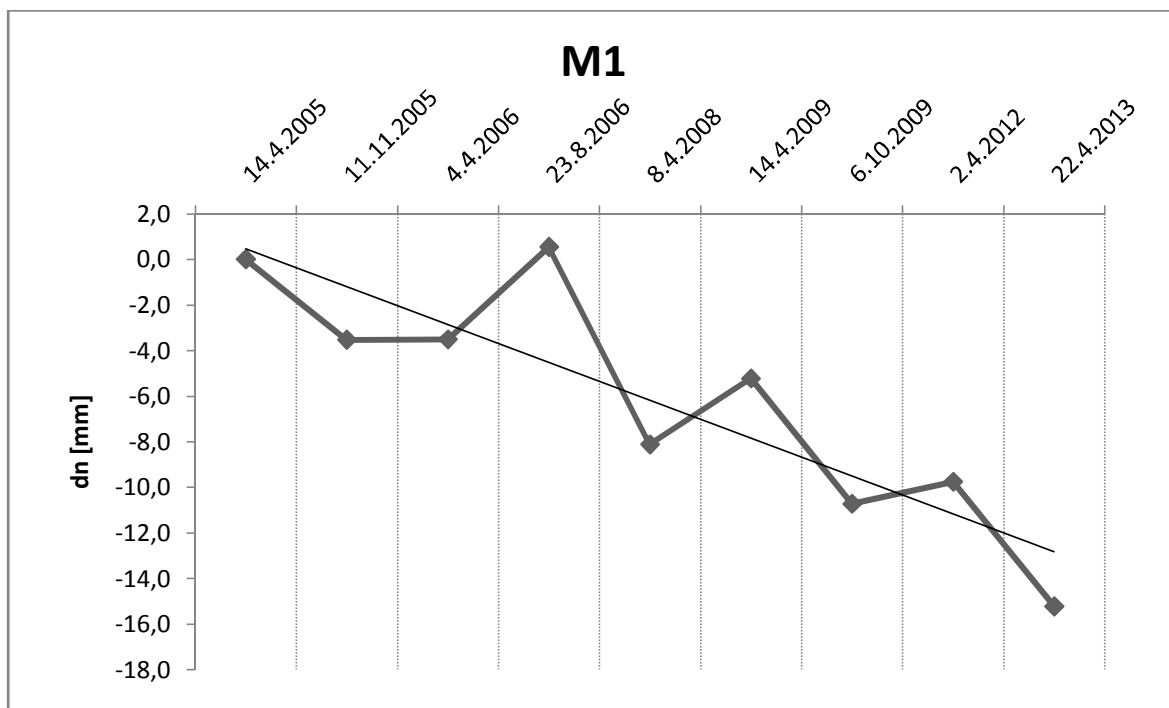
Graf 1.6 Posun bodu R1 vůči bodu SO ve směru zeměpisné délky.



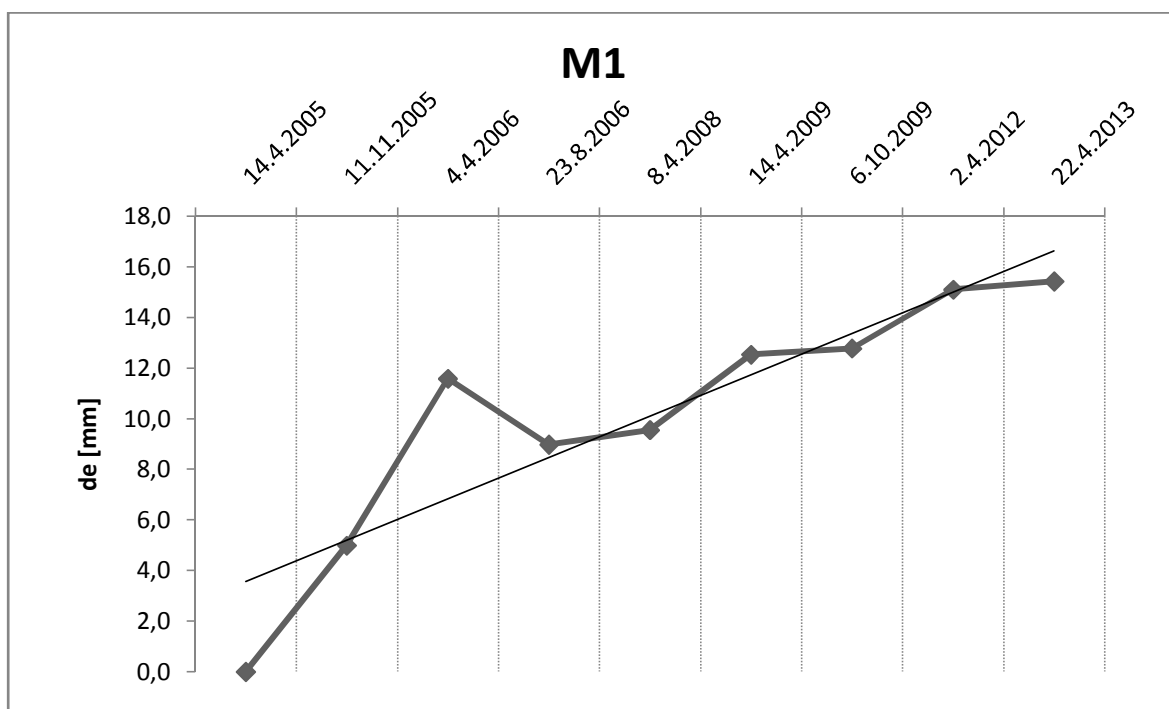
Graf 1.7 Posun bodu R2 vůči bodu SO ve směru zeměpisné šířky.



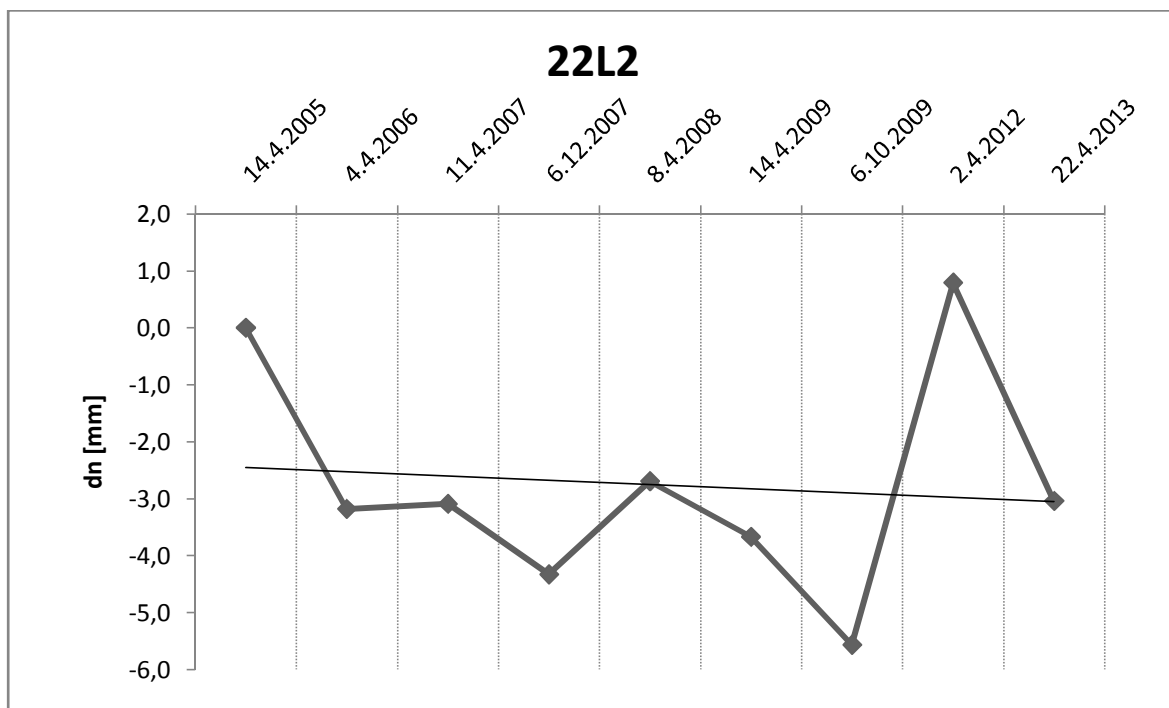
Graf 1.8 Posun bodu R2 vůči bodu SO ve směru zeměpisné délky.



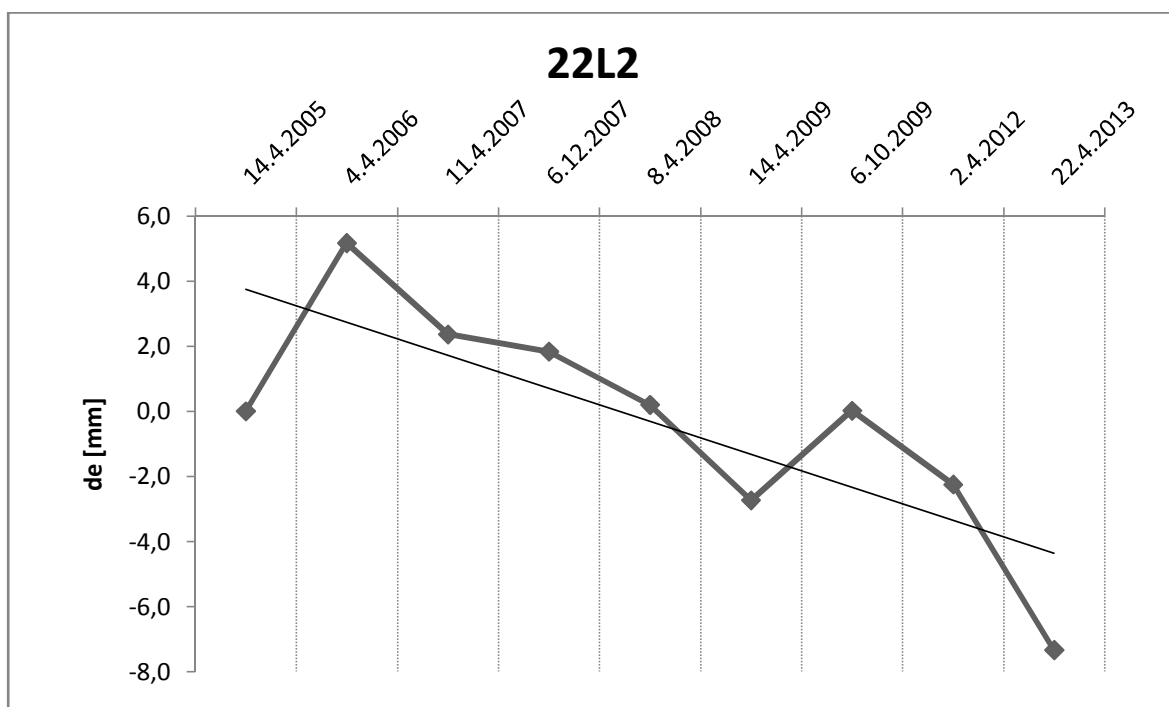
Graf 1.9 Posun bodu M1 vůči bodu SO ve směru zeměpisné šířky.



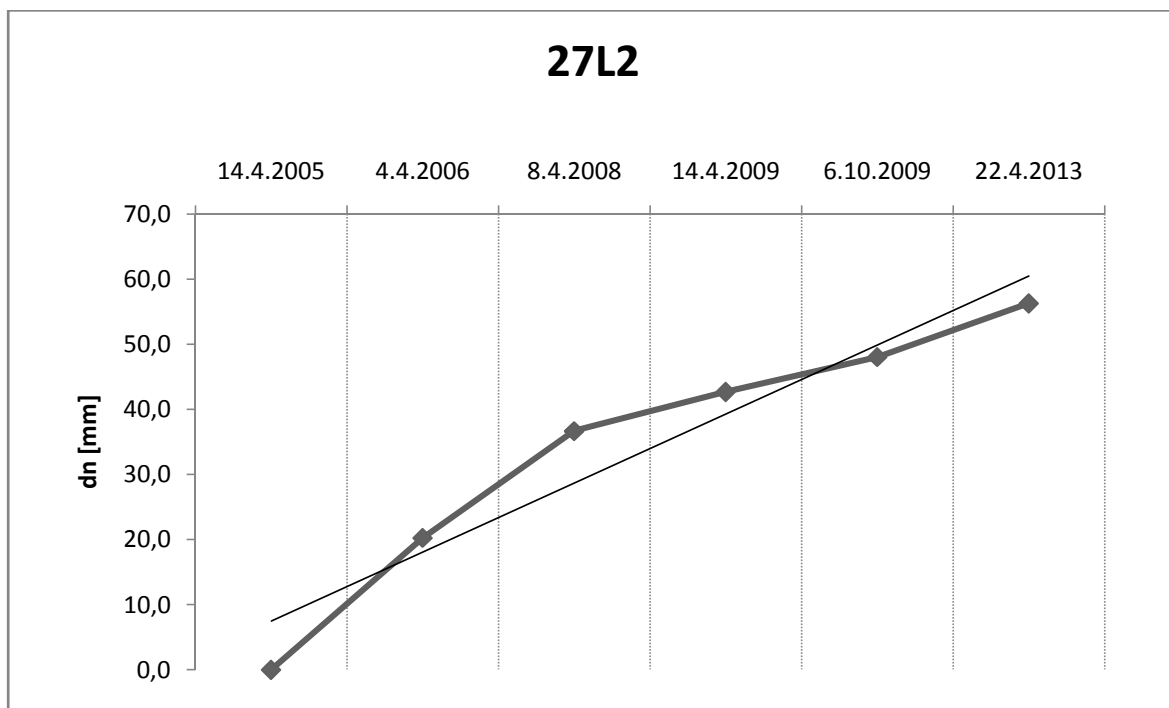
Graf 1.10 Posun bodu M1 vůči bodu SO ve směru zeměpisné délky.



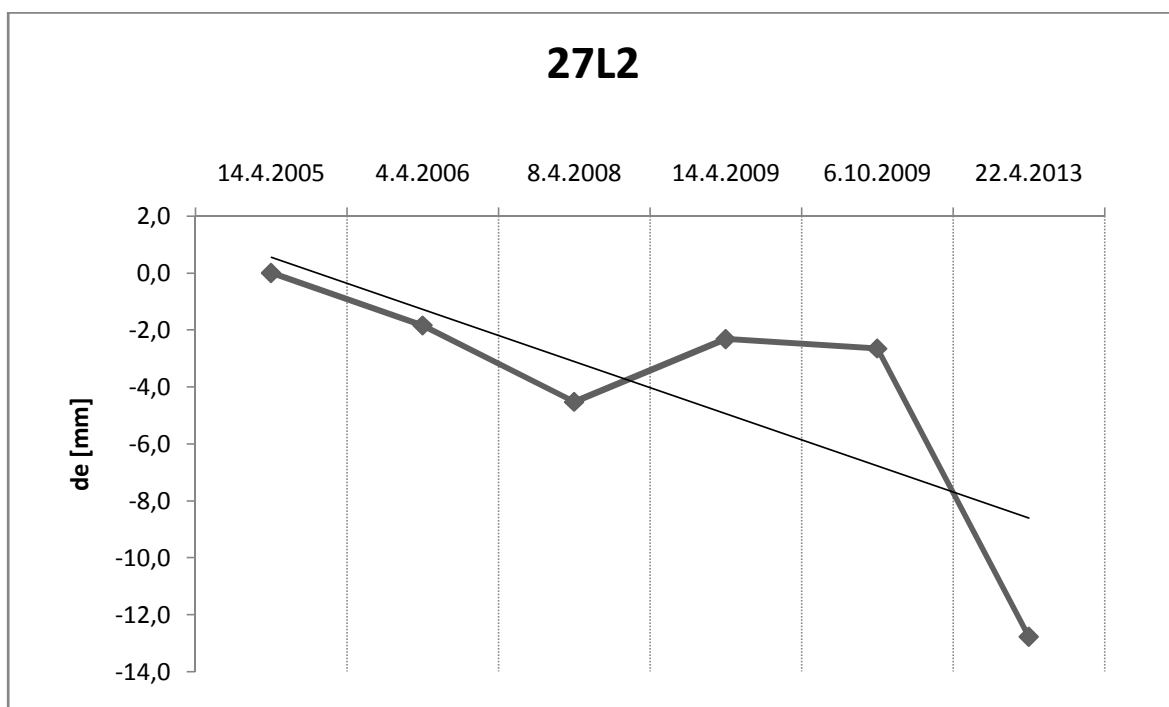
Graf 1.11 Posun bodu 22L2 vůči bodu SO ve směru zeměpisné šířky.



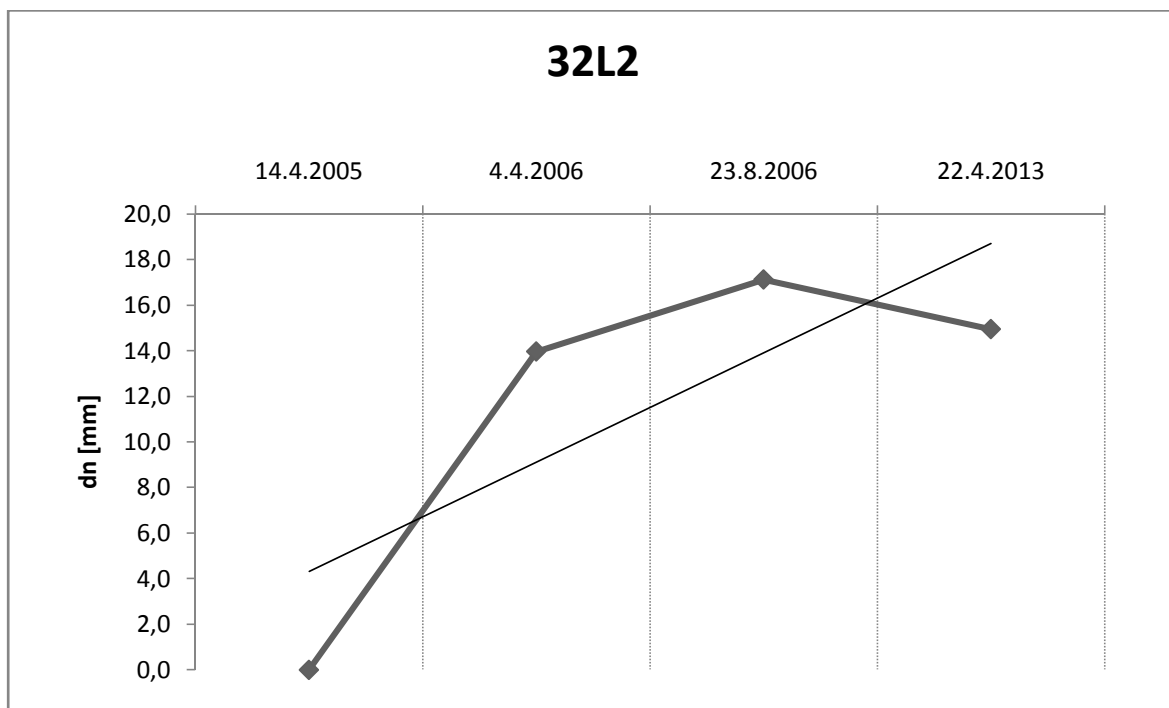
Graf 1.12 Posun bodu 22L2 vůči bodu SO ve směru zeměpisné délky.



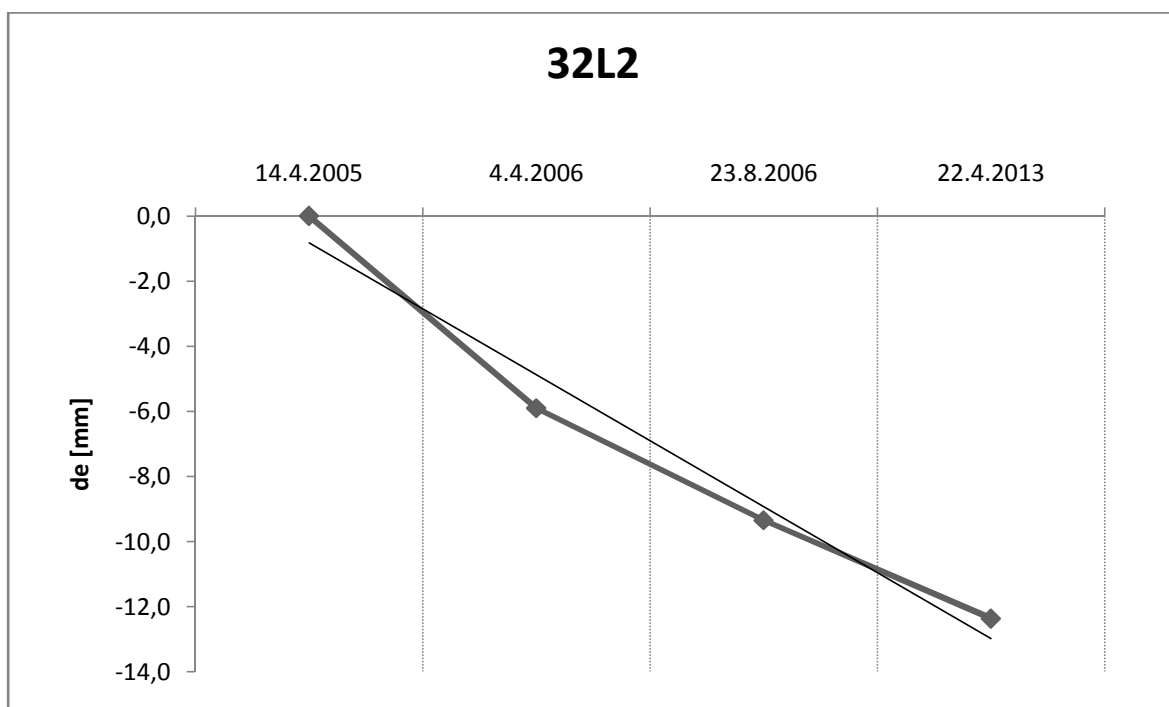
Graf 1.13 Posun bodu 27L2 vůči bodu SO ve směru zeměpisné šířky.



Graf 1.14 Posun bodu 27L2 vůči bodu SO ve směru zeměpisné délky.



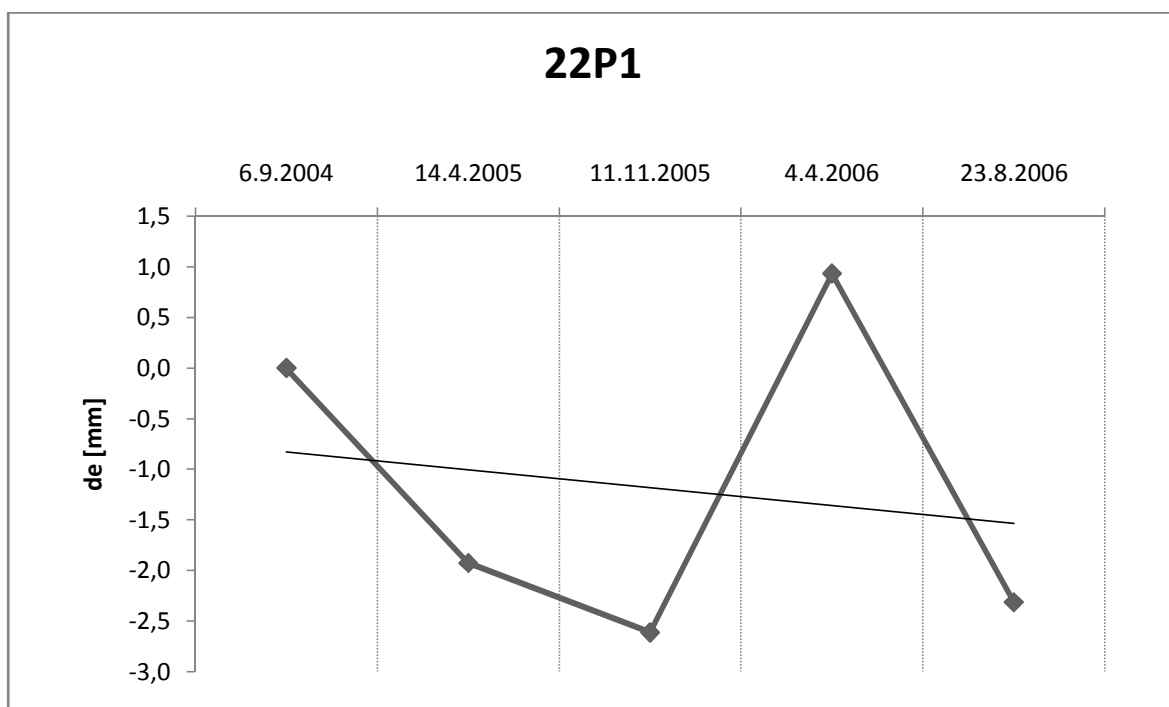
Graf 1.15 Posun bodu 32L2 vůči bodu SO ve směru zeměpisné šířky.



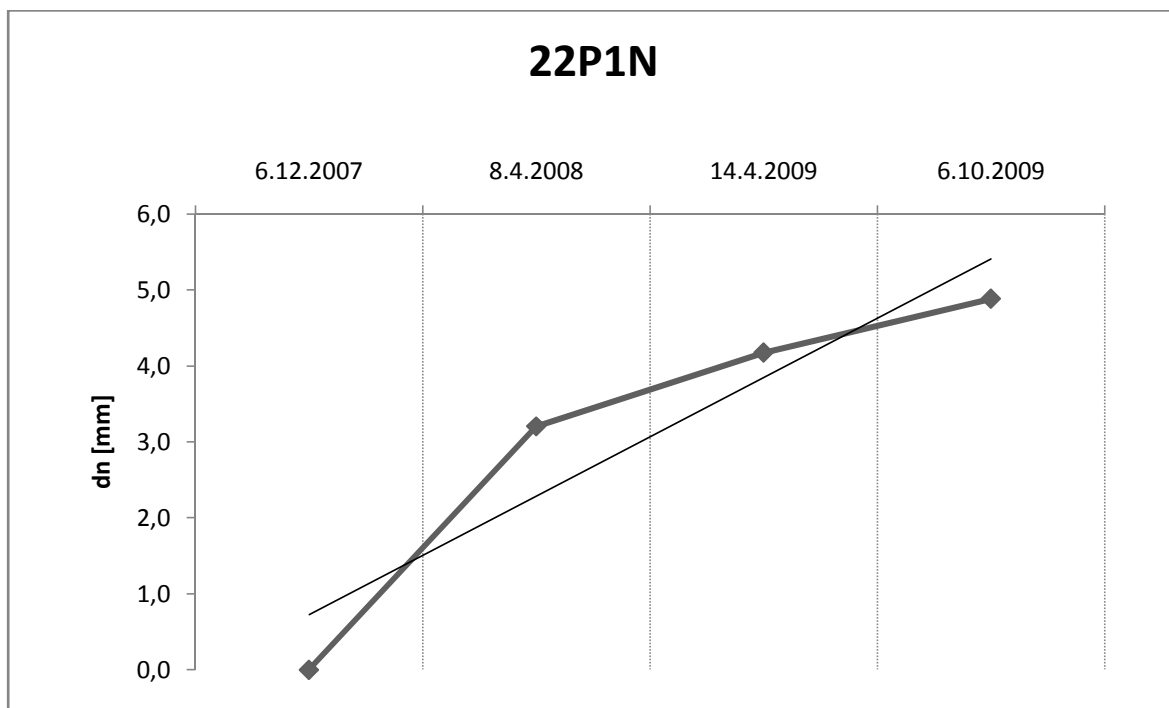
Graf 1.16 Posun bodu 32L2 vůči bodu SO ve směru zeměpisné délky.



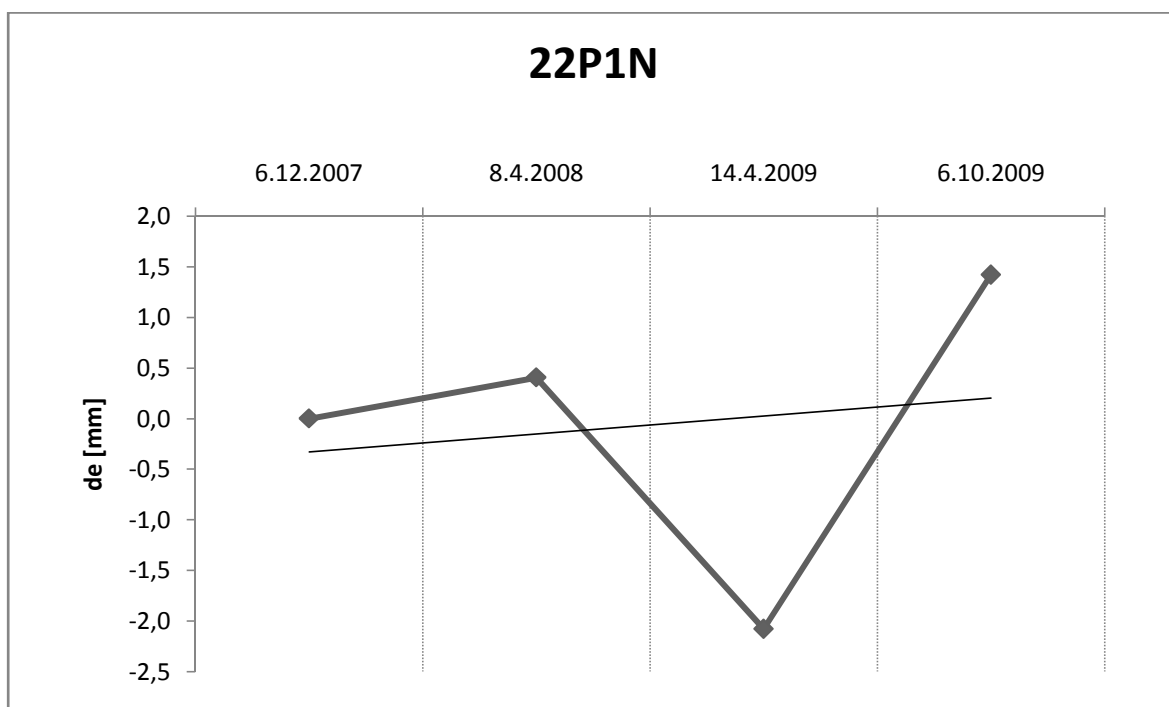
Graf 1.17 Posun bodu 22P1 vůči bodu SO ve směru zeměpisné šířky.



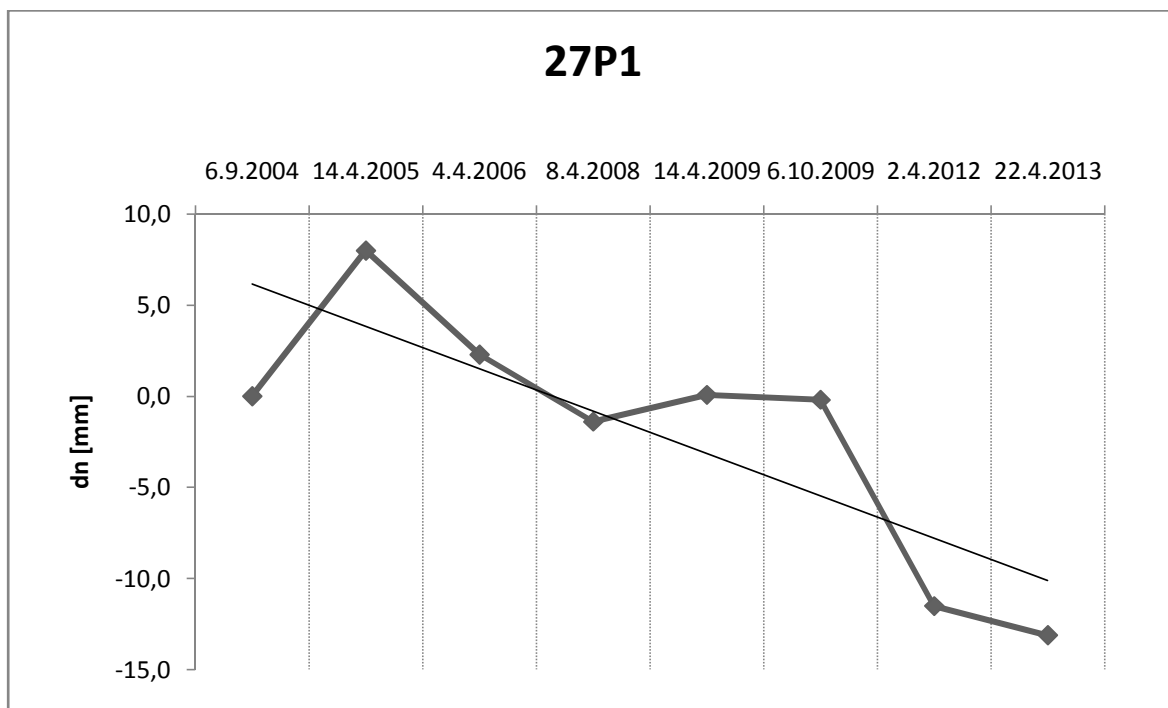
Graf 1.18 Posun bodu 22P1 vůči bodu SO ve směru zeměpisné délky.



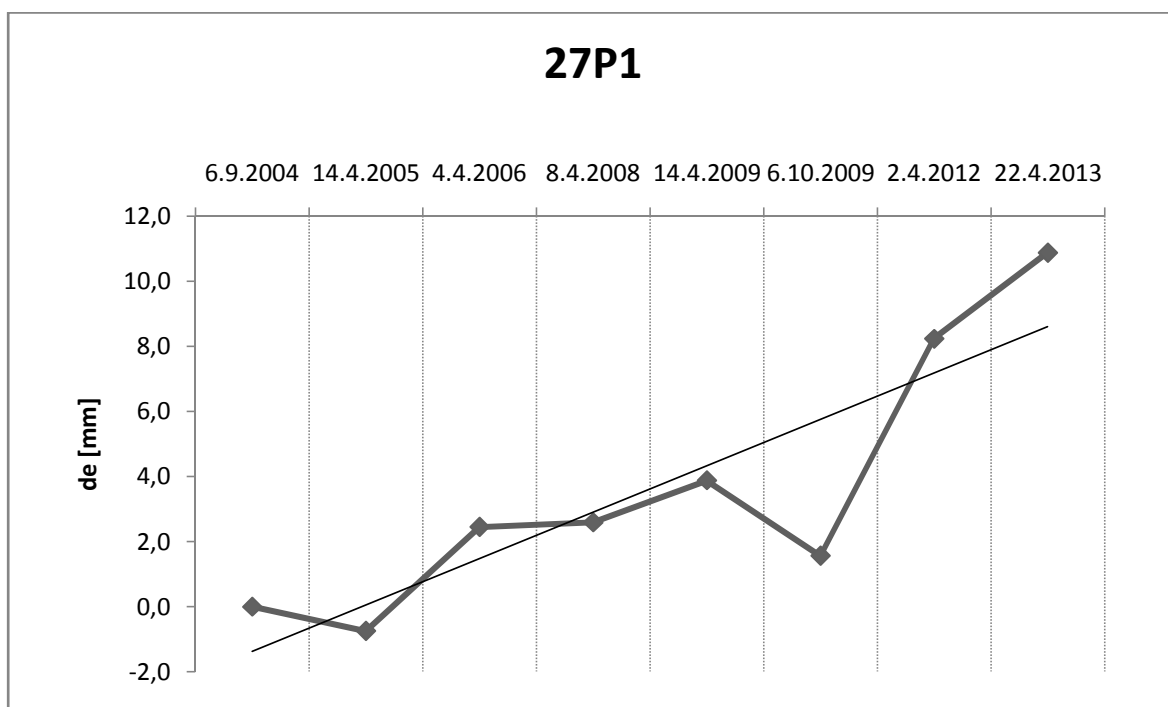
Graf 1.19 Posun bodu 22P1N vůči bodu SO ve směru zeměpisné šířky.



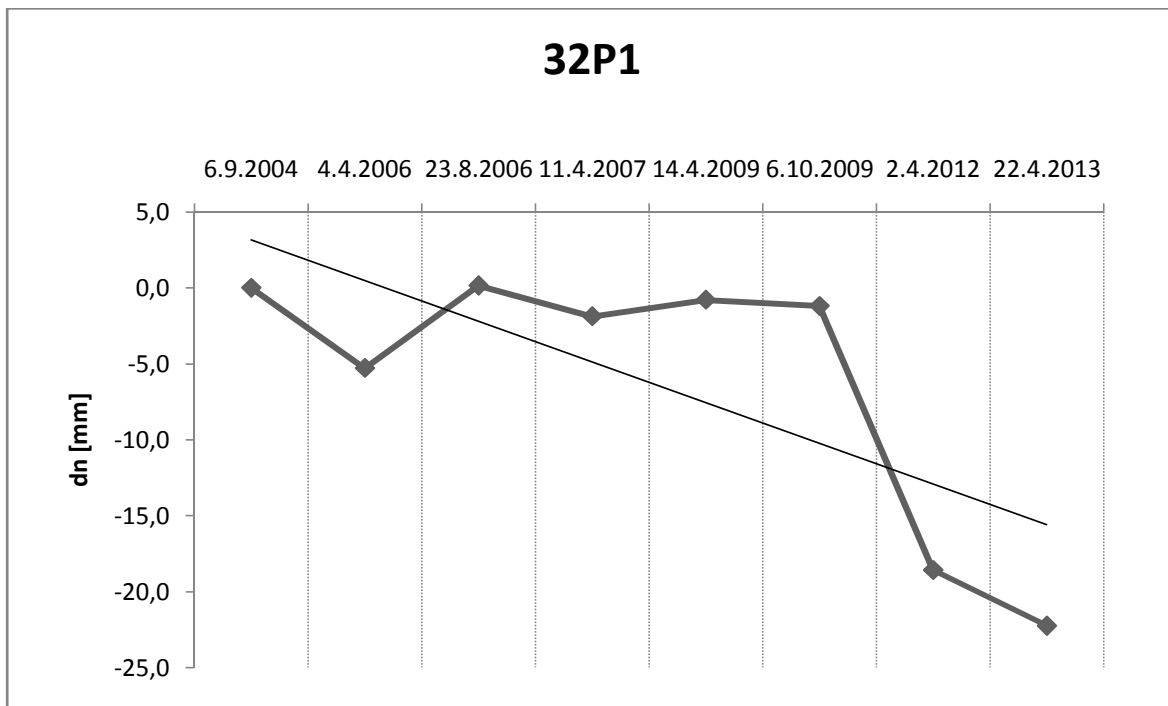
Graf 1.20 Posun bodu 22P1N vůči bodu SO ve směru zeměpisné délky.



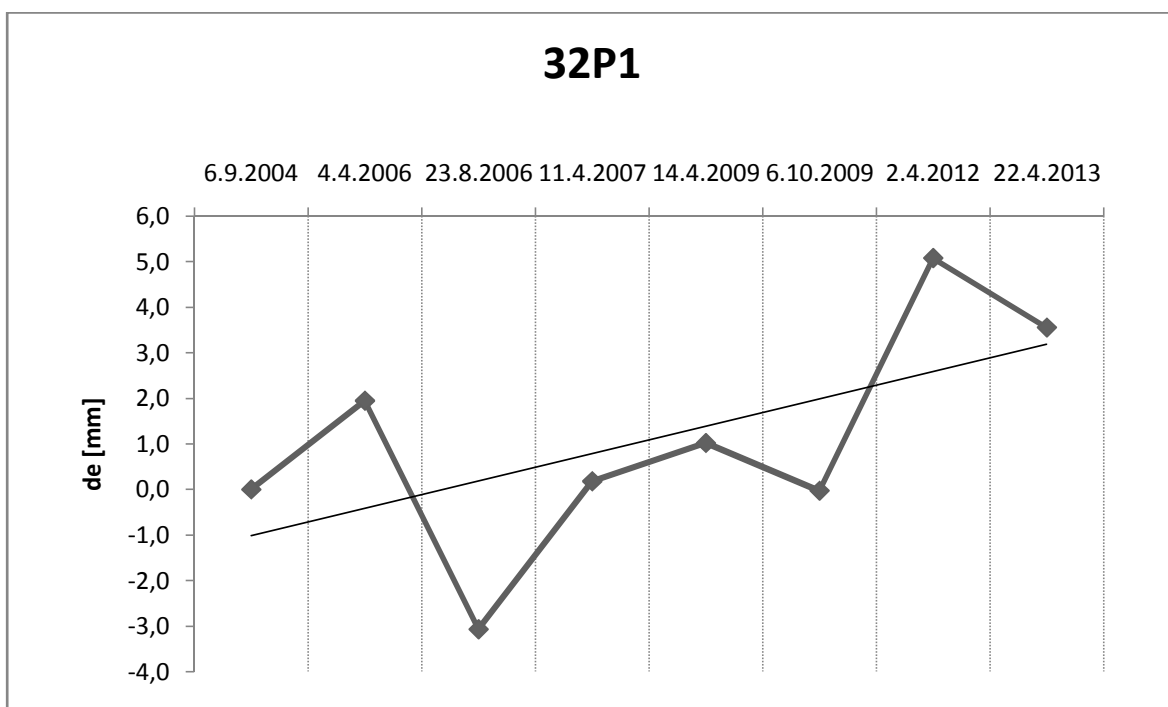
Graf 1.21 Posun bodu 27P1 vůči bodu SO ve směru zeměpisné šířky.



Graf 1.22 Posun bodu 27P1 vůči bodu SO ve směru zeměpisné délky.



Graf 1.23 Posun bodu 32P1 vůči bodu SO ve směru zeměpisné šířky.



Graf 1.24 Posun bodu 32P1 vůči bodu SO ve směru zeměpisné délky.