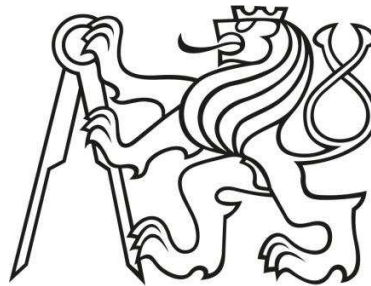


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vyhodnocení opakovaných nivelačních měření na
mostních pilířích

Studijní program: Geodézie a kartografie

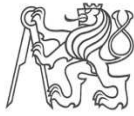
Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika

Vedoucí práce: Ing. Michal Seidl, Ph.D.

Katedra speciální geodézie

únor 2018

Dennis DVOŘÁK



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební



Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE


Příjmení: Dvořák	Jméno: Dennis	Osobní číslo: 423982
Zadávající katedra: Speciální geodézie (K154)		
Studijní program: Geodézie a kartografie		
Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Vyhodnocení opakovaných nivelačních měření na mostních pilířích	
Název bakalářské práce anglicky: Evaluation of repeated levelling measurements of viaduct pillars	
Pokyny pro vypracování: Zpracování opakovaných nivelačních měření, včetně vyrovnání všech etap. Testování naměřeného posunu nivelačních bodů osazených na pilíř mostu, včetně zhotovení potřebného software (Python, C, C++). Testování použitého nivelačního přístroje, popis použité nivelační metody a rozbor přesnosti. Zhodnocení závěrečných posunů nivelačních bodů a porovnání s mezními posuny.	
Seznam doporučené literatury: BŮHM, Josef, Miroslav HAMPACHER a Vladimír RADOUCH. Teorie chyb a vyrovnávací počet: vysokoškolská učebnice pro studenty stavebních fakult. 2., upravené vyd. Praha: Geodetický a kartografický podnik, 1990. ISBN 80-7011-056-2	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Michal Seidl, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 13.10.2017	Termín odevzdání bakalářské práce: 14.1.2018
<i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>	
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

<u>13.10.2017</u> Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)
--	--

ABSTRAKT

Bakalářská práce předkládá vyhodnocení opakovaných nivelačních měření na pilířích mostní konstrukce a vyrovnání všech měřených etap s uvážením středních chyb. Testuje přesnost použitého nivelačního přístroje. Dále testuje naměřené poklesy nivelačních bodů pomocí softwaru v programu Python. Výstupem práce jsou vypočtené posuny, mezní hodnota a grafické znázornění poklesu bodů v čase.

KLÍČOVÁ SLOVA

nivelační měření

zhodnocení přesnosti

testování nivelačních posunů

testování nivelačního přístroje

Python

ABSTRACT

The bachelor thesis presents the evaluation of repeated leveling measurements on the pillars of the bridge structure and the equalization of all measured stages with the consideration of medium errors. It tests the accuracy of the used leveling device. It tests the measured drops of leveling points using Python software too. The outputs of the thesis are the calculated decrease, the limit value and the graphical representation of the drop of points over time.

KEYWORDS

leveling measurements

evaluation of precision

examines of leveling decreases

examines of leveling device

Python



PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité prameny a literaturu.

V Praze dne

.....
(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Ing. Michalovi Seidlovi, Ph.D., za jeho odborné vedení, cenné rady a trpělivost. Dále bych velice rád poděkoval Geotechnické firmě, která mi téma ke zpracování nabídla, za zapůjčení geodetických přístrojů, odborné konzultace a podporu. Moje poděkování patří také kolegovi Ing. Davidu Hofmanovi, který mi ochotně poskytoval konzultace stran výpočtů, programování a struktury této práce.

Obsah

Úvod	9
1 Zakázka.....	10
1.1 Informace o zakázce.....	10
1.2 Popis budované stavby.....	12
1.3 Mikrosíť dálnice	15
2 Použité přístroje a postup měření.....	18
2.1 Postup měření	18
2.2 Použitý přístroj.....	20
2.3 Použitý datový typ.....	20
3 Postup zpracování dat.....	21
3.1 Test přesnosti přístroje a určení parametrů funkce.....	21
3.2 Příprava dat z DAT a XLS do GNU Gama XML	24
3.3 Vyrovnání etap v programu GNU Gama.....	26
3.4 Výpočet rozdílu výšek a jejich testování	27
4 Software pro zpracování dat	29
4.1 Python	29
4.2 Octave	30
4.3 GNU Gama.....	30
4.4 Skript pro převod DAT na XML.....	31
4.5 Skript pro převod XML do databáze	32

4.6	Skript pro výpočet a test vertikálních posunů	34
5	Výsledky a vyhodnocení dat.....	36
5.1	Tabulka s výsledky z jednotlivých etap	37
5.2	Grafy vývoje profilů	39
5.3	Hodnocení výsledků	45
	Závěr.....	47
	Použité zdroje	49
	Seznam obrázků	51
	Seznam grafů	52
	Seznam tabulek.....	53
	Seznam příloh.....	54

Úvod

Cílem bakalářské práce bylo zpracování opakovaných nivelačních měření s použitím středních chyb na pilířích mostní konstrukce při realizaci zakázky Měření konstrukce estakády v Prackovicích nad Labem. Monitoring byl zajišťován firmou, která se zabývá statikou objektů. Měření probíhala od září roku 2012 do prosince roku 2017; jsou výhledově plánována až do dokončení všech prací na stavbě. V zakázce bylo provedeno nivelační měření na spodní straně pilířů, pouze jako součást komplexního měření celkového stavu mostu.

Součástí práce bylo též zhodnocení přesnosti měření určené dle experimentálního určení přesnosti jedné nivelační záměry.

Všechny etapy byly spočteny vyrovnáním metodou nejmenších čtverců v programu GNU Gama. V průběhu této práce se projevilo jako nezbytnost vytvoření vhodného programu v programovacím jazyku Python, který by načel veškerá data z jednotlivých etap měření a následně je převedl do vstupního formátu programu GNU Gama. Poté byl vytvořen program, jenž zpracovává výstupní data z programu GNU Gama a poté je uloží do databáze. Třetí vytvořený program provádí závěrečné výpočty vertikálních posunů a vypočítává mezní hodnotu jejich posunů vzhledem k měřené první etapě.

Poslední částí bakalářské práce bylo vytvoření přehledných grafů vertikálních posunů jednotlivých sledovaných bodů v závislosti na čase, zhodnocení a porovnání naměřených vertikálních posunů v rámci komplexního měření celkového stavu mostu.



1 Zakázka

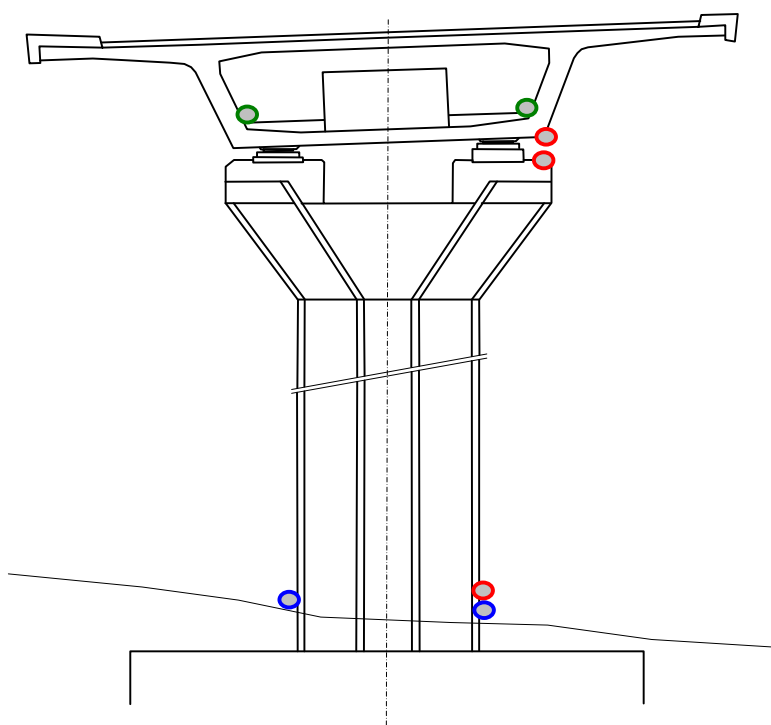
1.1 Informace o zakázce

Zakázka Měření konstrukce estakády v Prackovicích nad Labem sestávala v komplexním monitoringu a měření na levém mostě této estakády. Firma zajistila sledování chování konstrukce mostu.

Pro monitoring mostu bylo navrženo několik metod měření:

- a) pasportizace, stavebně technický průzkum, vizuální průzkum stavu mostu a zaznamenání digitálním fotoaparátem,
- b) geodetické sledování totální stanicí pro 3D sledování spodní stavby a hlavní nosné konstrukce,
- c) geometrická nivelace uvnitř komůrky mostu pro sledování vertikálních posunů uvnitř hlavní nosné konstrukce,
- d) geometrická nivelace pro sledování vertikálních posunů pilířů mostu,
- e) měření teplotních polí a poměrných přetvoření na hlavní nosné konstrukci měřené tenzometry v reálném čase,
- f) měření náklonů usazených na spodní straně pilířů,
- g) kontrola stavu trhlin v nadpodporových příčnicích pomocí tenzometrů,
- h) sledování stability tvaru nadpodporových příčníků pomocí metody s invarovou strunou.

Bakalářská práce zohledňuje pouze metodu měření a zpracování geometrické nivelace při měření spodní hrany pilířů mostu (tedy výše uvedený bod d).



Obrázek 1.1: Schéma příčného řezu a umístění jednotlivých měřících bodů – geodetické měření: modře – nivelace spodní stavby, zeleně – nivelace uvnitř komůrky, červeně – 3D sledování spodní stavby a hlavní nosné konstrukce. (Zdroj: Technická zpráva)



Obrázek 1.2: Fotografie jednotlivých měřících bodů: žlutá – nivelační čepy, modrá – odrazné zrcátko pro měření totální stanicí, červená – plocha pro nasazení náklonoměru (Zdroj: Technická zpráva)

1.2 Popis budované stavby

Prackovická estakáda je součástí stavby 0805 Lovosice–Řehlovice. Tento úsek dálnice spojil dálnici D8 z Prahy do Drážďan. Samotný most je tvořen dvěma paralelními mosty. Levý most, který je monitorován (silniční směr od Ústí do Prahy), má celkem devět pilířů a začíná opěrou 1L (tzv. pražská opěra, staničení km 57,453) a končí opěrou 11L (tzv. ústecká opěra). (D8, 2016)



Obrázek 1.3: Prackovická estakáda. Pohled z jihu.
(Zdroj: https://img.cncenter.cz/img/11/normal690/3175096_d8-dalnice-otevreni-ustecky-v0.jpg?v=0)

Problémem této stavby je místní podloží. Samotný svah se nachází pod lomem Dobkovičky (tzv. lom Prackovice) a z hlediska geotechniky způsobují nestabilitu svahu zvětralé bazalty, které se přetransformovaly na jílovité deluviální hlíny. Tyto zvětralé zbytky horniny tvoří smykovou část svahu, přičemž celkový pokles je dán nejen historicky – gradientem svahu, ale je navíc znásoben těžební činností bývalých dolů, které se nacházejí nad stavbou na vrcholu svahu a z nichž se do smykové části svahu dostala voda umocňující tento posun. Výrazný pokles části svahu také způsobuje objemový nárůst svrchní zeminy například ve vytvořených násypech.

Hydrogeologické poměry jsou jednoduché a nevyskytují se zde žádné zvodně. Geotechnický průzkum tady nebyl proveden v dostatečné hustotě vrtů, přestože z hlediska geologie aktivního podloží existoval předpoklad mnoha svahových nestabilit.(D8, 2016; Databáze svahových nestabilit České geologické služby, 2017)



Obrázek 1.4: Svahové nestability u estakády Prackovice: červená – aktivní zlomy, modrá – neaktivní zlomy (Zdroj: https://mapy.geology.cz/svahove_nestability/)



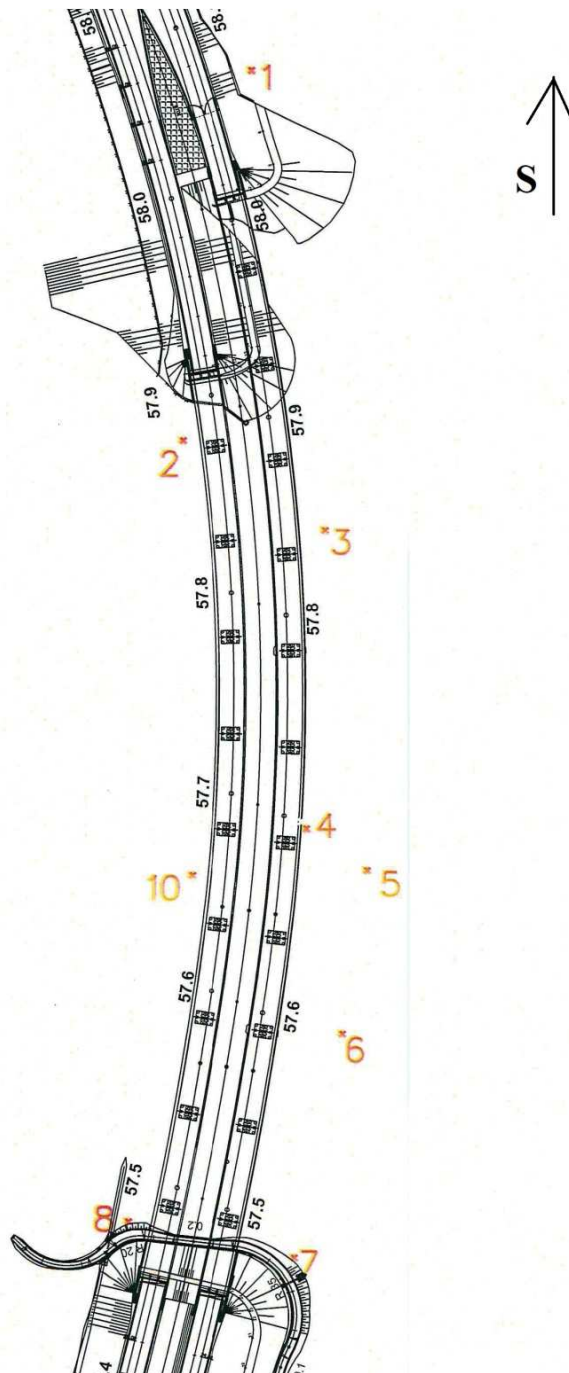
1.3 Mikrosít' dálnice

Pro účely geodetického sledování a monitoringu byla u estakády vybudována mikrosít' o devíti bodech, které jsou rovnoměrně rozmístěné podél obou mostů a nacházejí se na vybetonovaných pilotech, které sahají do hloubky až 6 metrů. Tyto betonové bloky končí přibližně metr nad zemí a na jejich povrchu je zabetonovaná nucená centrace. Po straně betonových sloupků jsou přibližně 0,2 metru nad zemí zabetonované nivelační čepy.

Přesto nejsou železobetonové sloupky mikrosítě stabilní a neodolají posunu svahu, proto jsou každé tři měsíce přeměřovány. Polohové měření bodů se provádí trigonometrickou metodou pomocí totální stanice. Měření vykonává firma HRDLIČKA spol. s r. o. Souřadnice bodů určuje s přesností určenou střední souřadnicovou chybou $m_{xy} = 2,0 \text{ mm}$. Výškové měření firma provádí digitálním nivelačním přístrojem Trimble DiNi21 a soupravou invarových latí metodou přesné nivelace. Přesnost nivelačního měření splňuje podmínku přesnosti obousměrné nivelace $4 * \sqrt{L}$, kde L je délka pořadu v kilometrech. V tabulce 1.1 jsou uvedeny použité body mikrosítě při měření monitoringu pilířů mostů a jejich výšky v jednotlivých etapách.

	MS 02	MS 08	MS 10
25. 09. 2012	300.6020	291.3755	286.5160
10. 04. 2013	300.6020	291.3755	286.5160
20. 06. 2013	300.6025	291.3750	286.5160
15. 10. 2013	300.6025	291.3750	286.5160
06. 11. 2014	300.6025	291.3750	286.5159
25. 02. 2015	300.6078	291.3780	286.5159
27. 05. 2015	300.5985	291.3750	286.5129
03. 09. 2015	300.5985	291.3735	286.5128
01. 12. 2015	300.5985	291.3735	286.5128
11. 03. 2016	300.5985	291.3735	286.5128
19. 08. 2016	300.5985	291.3735	286.5128
02. 08. 2017	300.5985	ZRUŠEN	286.5073
25. 10. 2017	300.5985	ZRUŠEN	286.5073
13. 12. 2017	300.5985	ZRUŠEN	286.5025

Tabulka 1.1: Přehled výšek bodů mikrosítě v rámci měřených etap (Zdroj: Hrdlička spol. s. r. o.)



Obrázek 1.5: Přehledka bodů mikrosítě (Zdroj: Hrdlička spol. s. r. o.)



2 Použité přístroje a postup měření

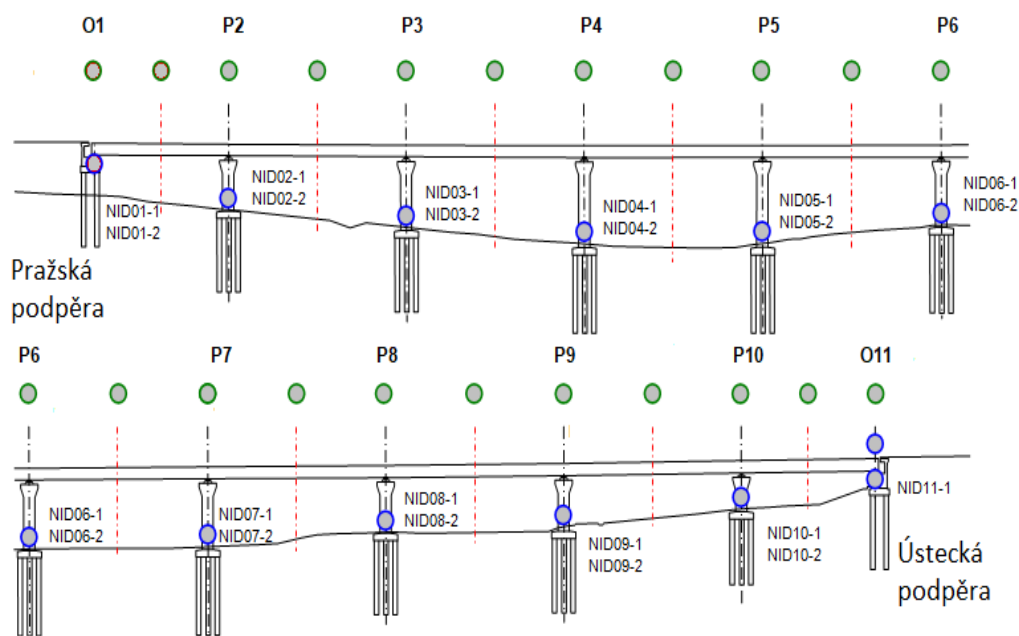
Kapitola *Použité přístroje a postup měření* obsahuje způsob měření, číslování jednotlivých sledovaných bodů, použitý přístroj a popis výstupních dat z použitého stroje.

2.1 Postup měření

Všechny etapy byly měřeny metodou geometrické nivelace ze středu. Tato metoda určuje výšky sledovaných bodů. Pro měření byl použit nivelační přístroj Trimble DiNi22, kódovaná lať a nivelační podložka.

V každé etapě bylo měřeno z bodů mikrosítě. Pro měření byly použity body MS02, MS08 a MS10 (v přehledce značené 2,8 a 10). Bod MS08 byl na konci roku 2016 zničen výkopovými pracemi, a proto z něj nebyly měřeny další etapy. Nivelační pořad byl v některých případech uzavřen na stejný bod a občas byl vetknutý mezi dva známé body mikrosítě. Výška sledovaných bodů byla vždy určována boční záměrou a byla měřena na dvoumetrovou nivelační lať. V rámci zásad přesného sledování bodů se nivelační pořad měřil stejným postupem a s přibližně stejnými záměrami. Tento proces byl však ovlivněn nejen vyšším počtem měřičů, kteří se na nivelaci podíleli, ale také překážkami na stavbě. V příloze této bakalářské práce je pro lepší orientaci a přehlednost schéma poslední měřené etapy z 13. 12. 2017. Při měření byly voleny veškeré záměry do 30 metrů.

Nultá etapa byla měřena 25. 9. 2012. Poslední etapa byla měřena 13. 12. 2017. Celkově bylo změřeno 14 etap. Souběžně s provedeným geodetickým měřením konstrukce mostu bylo provedeno kontrolní měření mikrosítě přeměřením výchozí sítě měřičských bodů, ze které vlastní měření pilířů vychází. Číslování bodů bylo určeno zadavatelem; pro body nivelace spodní strany pilířů byl zadán kód bodu NID, za kód se vložilo číslo profilu (viz obrázek 2.1). Body byly pojmenovány NID01-1 až NID11-1, číslo za spojovníkem udává číslo bodu v profilu. Na všech pilířích se nacházejí dva nivelační čepy, kromě tzv. ústecké opěry (bod NID11-1), u které nebyl předpoklad výrazného posunu. Při dvou nivelačních bodech bylo možné zjistit nejen vertikální pokles pilíře, ale také jeho přibližný náklon. Body NID01-1, NID01-2 a NID11-1 se nacházejí na podpěrách mostu.



Obrázek 2.1: Přehledka sledovaných bodů (Zdroj: Technická zpráva)

2.2 Použitý přístroj

Použitý nivelační stroj Trimble DiNi22 je digitální nivelační přístroj. U přístroje je předpokládaná kilometrová směrodatná odchylka obousměrné nivelace $\sigma_{km} = 0,3 \text{ mm}$. Přesnost kompenzátoru je $\pm 0,2''$ a rozsah vzdálenosti měření na lati je od 1,5 metru až do 100 metrů. Nejmenší možný dílek, který stroj přečte, je jedna setina milimetru. Čtení na lati probíhá elektrooptickým způsobem. Při měření je také zaznamenána délka s rozlišením 1 mm. Použitý přístroj má výrobní číslo 707373. (Trimble DiNi, 2017)

Pro měření byla použita kódová hliníková třímetrová a dvoumetrová lať Trimble s invarovým páskem s výrobním číslem 58584 pro dvoumetrovou lať a číslem 57489 pro lať třímetrovou.

2.3 Použitý datový typ

Pro další zpracování naměřených hodnot je potřeba popsat i výstupní formát použitého přístroje. Měření ve stroji Trimble probíhá v rámci námi nastavené zakázky v uživatelském rozhraní přístroje. Pokud tuto zakázku chceme exportovat do počítače pro podrobnější výpočty, je nutno k přístroji připojit kabel a pomocí oficiálního programu Data Transfer exportovat zakázku. Přenesený soubor je textový datový typ s příponou DAT. Tento textový soubor má několik náležitostí a je možno ho otevřít v jakémkoliv textovém editoru.

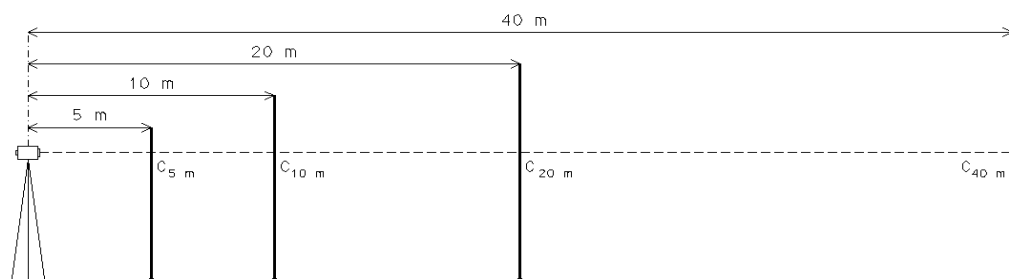


3 Postup zpracování dat

Tato kapitola se zabývá postupem zpracování naměřených dat. Popisuje především použité výpočty a také se věnuje experimentálnímu měření pro určení přesnosti záměry. Vypočtené koeficienty kvadratické rovnice z funkce přesnosti záměry v závislosti na délce záměry zavádí do následných výpočtů. Samotný popis zpracování měření pomocí vytvořených programů obsahuje další kapitola.

3.1 Test přesnosti přístroje a určení parametrů funkce

Pro zjištění přesnosti záměry je třeba provést experimentální měření pro určení přesnosti přístroje. Tato přesnost je v tomto případě zaváděna kvůli specifickým podmínkám během měření na staveništi, kde byly jednotlivé délky kratší, než odpovídá pořadové nivelaci. Je vhodnější pro různé délky záměr zavádět směrodatnou odchylku zjištěnou testem než použít přesnost $\sigma_{0,km}$, kterou udává výrobce. Experiment byl proveden dle článku *Experimentální určení přesnosti při nivelaci*, v němž jsou popsány tři metody ke zjištění této přesnosti. Je zde také porovnáno několik nivelačních přístrojů. V článku je uvedeno, že pro digitální nivelační přístroje platí, že přesnost měření při délce záměr do 30 metrů je vyšší, než jakou uvádí výrobce. Proto je zřejmé, že pro vyrovnání pořadů, kde se nachází větší množství bočních záměr a měření je opakováno v několika etapách, je lepší zavádět směrodatnou odchylku zjištěnou při experimentu než kilometrovou směrodatnou odchylku danou výrobcem stroje. Pro následující účel byla vybrána metoda opakovaného cílení; je měřeno jednosměrně. (Braun, 2012).



Obrázek 3.1: Schéma měřické základny experimentu opakovaného cílení (Zdroj: Braun, 2012)

Pro nejlepší vystižení průběhu funkce, která určuje přesnost při krátkých záměrech, byly vybrány záměry 5 metrů, 10 metrů, 20 metrů a 40 metrů. Experiment byl realizován 27. 11. 2017 v Lucemburské ulici v Praze. Byly zde rozměřeny pásmem základny 5 metrů, 10 metrů, 20 metrů a 40 metrů. Do chodníku byly vtlačeny měřící nivelační hřeby a na ně byla postavena lať. Lať byla držena dobrovolníkem, aby se experiment více přiblížil situaci, která panuje na stavbě při samotném měření, ačkoliv dle článku je vhodné tento způsob měřit v laboratorních podmínkách. Vždy bylo měřeno jako první na základnu 5 metrů a poté se dobrovolník přesouval na vzdálenější body až na základnu o vzdálenosti 40 metrů. Během měření nebyl změněn horizont přístroje. Počet opakování byl stanoven dle článku na 51. (Braun, 2012).

Z naměřených čtení na lati byly v programu Octave vypočteny výběrové směrodatné odchylky záměry pro jednotlivé vzdálenosti. Následovala kontrola měřených dat, kdy se porovnávaly trojnásobky výběrových směrodatných odchylek s největšími odlehlostmi od průměrů souboru měření. Všechny hodnoty experimentu kritérium splnily. Dále byly vypočtené směrodatné odchylky záměr přepočteny na kilometr a byly

porovnány s kilometrovou směrodatnou odchylkou danou výrobcem. Jelikož bylo veškeré měření prováděno pouze jednosměrně, jedná se o hodnotu (Hofman, 2017):

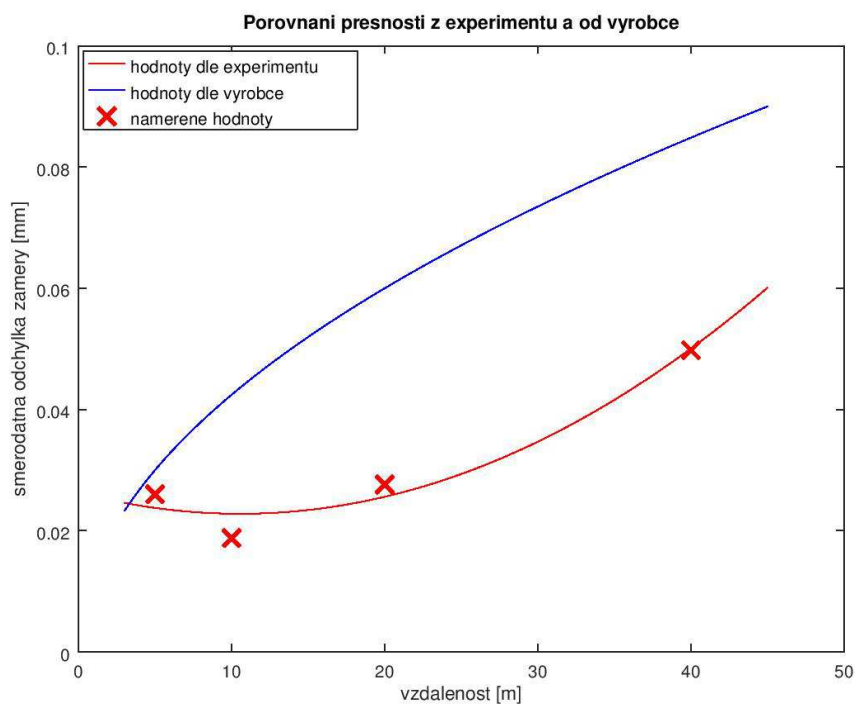
$$\sigma_{km} = \sigma_{0_{km}} \cdot \sqrt{2} = 0.3 \cdot \sqrt{2} \cong 0.42 \text{ mm.} \quad (1)$$

Při porovnání hodnot z experimentu s hodnotami danými výrobcem bylo zjištěno, že pro záměry 10 metrů, 20 metrů a 40 metrů jsou výsledky lepší, než jaké garantuje výrobce přístroje. Pro záměr 5 metrů je hodnota směrodatné odchylky přepočtené na kilometr vyšší než hodnota určená výrobcem. Pravděpodobně je to způsobeno extrémně krátkou vzdáleností záměry. Experimentálně bylo zjištěno, že největší přesnost stroje je při záměře přibližně 10 metrů.

	délky záměr [m]			
	5	10	20	40
σ [mm]	0.52	0.26	0.27	0.35

Tabulka 3.1: Směrodatné odchylky zjištěné při experimentu přepočtené na 1 kilometr

Výslednými hodnotami výběrových směrodatných odchylek byla proložena kvadratická funkce pomocí funkce polyfit v programu Octave v závislosti směrodatné odchylky na délce záměry. Pomocí koeficientů byly vypočítány směrodatné odchylky jednotlivých záměr. Vypočtené směrodatné odchylky byly nahrazeny délkou při výpočtu vyrovnání metodou nejmenších čtverců. Veškeré výpočty experimentálního určení směrodatné odchylky byly vypočteny v programu Octave.



Graf 3.1: Porovnání přesnosti z experimentu a od výrobce

3.2 Příprava dat z DAT a XLS do GNU Gama XML

Jako první bylo třeba zpracovat samotný elektronický zápisník z měření. Jak je uvedeno v kapitole 2.3 *Použitý datový typ*, výstupem z přístroje je textový soubor s koncovkou DAT. Tento typ souboru je možné otevřít v jakémkoliv textovém editoru, ale pro pozdější zpracování je typ souboru nevhodný. Pokud chceme samotné měření vyrovnat, máme dvě možnosti. První možností je vyrovnání nivelačního pořadu ve stroji pomocí funkce vyrovnání pořadu. (Trimble DiNi, 2017)



Tímto způsobem firma v rámci všech zakázek vyrovnává všechna měření. Přesto tento způsob vyrovnání není vhodný, protože nás omezuje pouze na vyrovnání mezi dva známé body. V této bakalářské práci byl zvolen druhý způsob zpracování a vyrovnání měření, a to vyrovnání pomocí metody nejmenších čtverců v programu GNU Gama s uvažováním středních chyb. Vstupním formátem do programu je formát XML (Extensible Markup Language).

Při převodu do vstupního formátu GNU Gama bylo nutno spočítat směrodatné odchyly záměry. Při výpočtu byly zavedeny koeficienty kvadratické funkce vypočtené z experimentálního měření pro určení přesnosti přístroje (Hofman, 2017):

$$\sigma_c = k_2 \cdot d^2 + k_1 \cdot d + k_0, \quad (2)$$

kde σ_c je směrodatná odchylna čtení na lati,

d je měřená vodorovná vzdálenost

a koeficienty k jsou koeficienty kvadratické funkce.

Vypočtené koeficienty kvadratické funkce jsou:

$$k_2 = 3.145 \cdot 10^{-5}$$

$$k_1 = -6.638 \cdot 10^{-4}$$

$$k_0 = 2.630 \cdot 10^{-2}.$$

Dalším závažným problémem byl stav naměřených dat. První etapa byla změřena v roce 2012. Data do roku 2014 byla uchovávána ve formátu Microsoft Excel v souborech XLS, tudíž bylo nutno tato data ručně zkopírovat do textového editoru a vytvořit z nich formát DAT.



Při přípravě dat bylo také potřeba vyřešit, jak vhodně a jednoznačně značit přestavové body a stanoviška stroje. Bylo tedy potřeba přejmenovat veškeré body v nivelačním pořadu, kromě bočně zaměřených sledovaných bodů. Sledované body byly značeny dle zadaných parametrů investora stavby.

Přestavové body byly pojmenovány ve všech etapách znaky "PR_‘pořadí_přestavy‘_". Samotná jednotlivá stanoviška stroje byla indexována vždy znakem "S_‘pořadí_stanoviska‘_". Tyto náležitosti určovaly jednoznačné pojmenování stanovisek a přestavových bodů.

Bylo nutno také zjistit, jak rozpoznat, o jakou záměru se jedná. V tomto případě se v datovém formátu DAT nacházejí znaky Rb, Rz a Rf, takže lze rozlišit záměru zpět (Rb), záměru vpřed (Rf) a záměru bokem (Rz). Všechny tyto náležitosti byly důsledně dodržovány a zahrnutý při zpracování XLS souborů.

3.3 Vyrovnání etap v programu GNU Gama

Po převedení všech dat ze všech etap do formátu XML se v programu GNU Gama vyrovnají všechny etapy měření.

Program GNU Gama vyrovná měření metodou nejmenších čtverců. V našem případě, kdy se měří jednosměrný nivelační pořad, se však pracuje pouze s jedním nadbytečným měřením, tudíž se v tomto případě jedná o primitivní vyrovnání nivelační sítě. Před samotným vyrovnáním je fixně zadána jednotková apriorní směrodatná odchylka a tato směrodatná odchylka vstupuje do váhové matice:

$$p_i = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_{h_i}^2} = \frac{1}{\sigma_{h_i}^2}. \quad (3)$$

3.4 Výpočet rozdílu výšek a jejich testování

Poslední částí výpočtu je výpočet prokazatelnosti vertikálních posunů. Tento statistický test byl vypočten pro každý bod v každé etapě. Prokazatelnost vertikálního posunu byla počítána oproti nulté etapě a byla vypočtena dle vzorce: (Procházka, 2015)

$$p_n = H_n - H_0, \quad (4)$$

kde H_n je výška v n-té etapě
a H_0 je výška v nulté etapě.

Po aplikaci zákona hromadění středních chyb je potřeba nahradit diferenciály skutečnými chybami měřených výšek. Následně byl získán tento vzorec pro skutečnou chybu posunu: (Procházka, 2015)

$$\varepsilon_{p_n} = \varepsilon_{H_n} - \varepsilon_{H_0}. \quad (5)$$

Převědeme-li tento vztah na směrodatné odchytky, vznikne vzorec pro směrodatnou odchytku vertikálního posunu: (Procházka, 2015)

$$\sigma_{p_n} = \sqrt{\sigma_{H_n}^2 + \sigma_{H_0}^2}. \quad (6)$$

Směrodatné odchylky vypočteme odmocněním vypočtených rozptylů, které se nacházejí na diagonále kovarianční matice vyrovnaného měření. Následně hodnotíme prokazatelný posun. Tento posun byl prokazatelný, pokud platilo: (Procházka, 2015)

$$|p_n| > u_p \cdot \sigma_{p_n}, \quad (7)$$

kde u_p je koeficient spolehlivosti.

Ve výpočtech byl použit koeficient spolehlivosti

$$u_p = 1.96,$$

kde pro jednorozměrnou veličinu výšky bodu je spolehlivost 95 %. Jedná se o hladinu významnosti $\alpha = 5 \%$. (Procházka, 2015).

4 Software pro zpracování dat

Kapitola *Software pro zpracování dat* se věnuje samotnému zpracování naměřených dat. Součástí je popis programů, které zpracovávají změřená data, a také popis průběhu zpracování. Taktéž se zabývá popisem programů a jejich funkčností.

Veškeré výpočty byly spočteny pomocí programovacího jazyka Python, programu GNU Gama, jehož autorem je prof. Ing. Aleš Čepek, CSc, výpočetního open-source prostředí Octave. Data byla zapisována do relační databáze sqlite3.

4.1 Python

Python je objektově orientovaný programovací jazyk, který je dostupný pro většinu platforem. Výhodou Pythonu je jeho jednoduchá syntaxe. Další výhodou je velký základní balík knihoven, který lze rozšířit i o externí knihovny pomocí Python manažeru. Soubory Python mají tvar ‘_nazevsouboru_.py’. (Python, 2017)

Pro psaní samotných aplikací byl využit program PyCharm, který pomáhá automaticky doplňovat text v psaném kódu. Programovací jazyk Python byl použit z důvodu přiměřené obtížnosti používání a zadaného tématu a zpracování měření. V programu Python byly pro zpracování měření vytvořeny tři programy: *dini2gama.py*, *gama2db.py* a *db2results.py*.



4.2 Octave

Octave je open-source skriptovací program pro provádění číselných výpočtů. Je také svobodnou alternativou pro placený program MATLAB. Obsahuje rozsáhlý soubor výpočetních nástrojů, od řešení rovnic až po integrování funkcí. Soubory uložené v Octavu mají tvar ‘_nazevsouboru_.m’.

V Octavu bylo vypočteno experimentální určení přesnosti záměry z kapitoly 3.1. Pomocí funkce polyfit byly vypočteny koeficienty kvadratické funkce, použité při následném spočtení směrodatných odchylek záměr. Dále byl vytvořen graf průběhu funkce této přesnosti s porovnáním funkce průběhu přesnosti záměry dané výrobcem.

Jako poslední byly vytvořeny závěrečné grafy vertikálních poklesů bodů v jednotlivých profilech a grafy vertikálních poklesů bodů s funkcí prokazatelných posunů.

4.3 GNU Gama

Pro vyrovnání nivelačních měření byl použit program GNU Gama. GNU Gama je určena k vyrovnání geodetických sítí metodou nejmenších čtverců s využitím vyrovnání zprostředkujících veličin. (Gnu Gama, 2017)

Vstupním formátem do programu Gama je soubor XML, který dodržuje určité náležitosti. V našem případě jsou v XML souboru názvy fixních bodů s jejich výškami, seznam určovaných bodů a samotné měření, přičemž se do souboru zapisuje v rámci jednotlivých stanovisek převýšení mezi strojem a bodem a směrodatná odchylka délky záměry



určená pomocí experimentu pro každou záměru. Z toho plyne, že vypočtené koeficienty rovnice byly použity do všech výpočtů směrodatných odchylek jednotlivých záměr mezi bodem a strojem; tj. i při záměrech bočně.

Pro další výpočty je potřeba získat vyrovnané výšky sledovaných bodů a směrodatnou odchylku vyrovnaných výšek. Vyrovnané výšky a směrodatné odchylky těchto výšek získáme z vypočtené kovarianční matice; variance těchto výšek se nacházejí na diagonále. Pro kontrolu vyrovnaní je nutno také získat protokol o vyrovnaní v textovém formátu.

Pro získání těchto výsledků na příkazové řádce zadáme:

```
C:\gama – local 'vstupni_soubor'.XML – – XML 'vystupni_soubor'.adj –  
– cov – band0 – – text 'vystupni_soubor'.txt,
```

kde 'vystupni_soubor'.adj je soubor, kde se nachází kovarianční matice měření a samotné vyrovnané měření ve formátu XML,

a soubor 'vystupni_soubor'.txt, který je zápisníkem vyrovnaného měření.

4.4 Skript pro převod DAT na XML

Pro zpracování souborů DAT byl vyhotoven program *dini2gama.py*, který je spustitelný na příkazové řádce. Vstupním formátem vytvořeného programu je datový soubor z měření. Výstupním formátem je soubor XML, který je vstupním souborem pro program GNU Gama. Příklad zapsání do příkazového řádku:



```
C:\cesta_souboru\ dini2gama.py 'vstupni_soubor'.DAT >  
    'vystupni_soubor'.XML,
```

kde 'vstupni_soubor'.DAT je vstupní DAT soubor
a 'vystupni_soubor'.XML je výstupní soubor ve formátu XML.

Problémem programu je nutnost zadat do kódu v textovém editoru fixní body a taktéž koeficienty kvadratické funkce pro spočítání směrodatné odchylky záměry dle experimentu z kapitoly 3.2. Program také nestandardně počítá převýšení. Převýšení je vypočteno z převýšení mezi bodem a strojem (viz kapitola 3.2). To znamená, že pouze přijme čtení na lati z elektronického zápisníku a zapíše ho do výstupního souboru XML.

4.5 Skript pro převod XML do databáze

	bod	etapa	vyska	stdev
	Filtr	Filtr	Filtr	Filtr
1	NID01-1	2012-09-25	298.9132	0.0672458177...
2	NID01-2	2012-09-25	298.91478	0.0676091709...
3	NID02-1	2012-09-25	289.64868359...	0.0453580345...
4	NID02-2	2012-09-25	289.64047359...	0.0442419631...
5	NID03-1	2012-09-25	285.20532037...	0.0553043813...
6	NID03-2	2012-09-25	285.20805037...	0.0548778151...
7	NID04-1	2012-09-25	281.18631360...	0.0567434718...
8	NID04-2	2012-09-25	281.19343360...	0.0571561160...
9	NID05-1	2012-09-25	281.14923098...	0.0520458672...
10	NID05-2	2012-09-25	281.14476098...	0.0520458672...
11	NID06-1	2012-09-25	285.54636757...	0.0321290195...
12	NID06-2	2012-09-25	285.55859757...	0.0321290195...
13	NID07-1	2012-09-25	287.10910253...	0.1252469879...
14	NID07-2	2012-09-25	287.11425253...	0.1252469879...
15	NID08-1	2012-09-25	290.22796253...	0.1160896550...

Obrázek 4.1: Ukázka vytvořené databáze (Zdroj: Program *gama2db.py*)



Po vyrovnaní všech etap je třeba všechny vyrovnané hodnoty propojit. Pro tento účel je vytvořen program *gama2db.py*, který každou jednotlivou vyrovnanou výšku ukládá do relační databáze. Databáze ve formátu sqlite3 má čtyři atributy: název bodu, etapu, výšku a směrodatnou odchylku výšky.

V atributu „bod“ se nachází název bodu. V programu je nastaveno, že jakmile se v XML souboru nalezne spojení písmen „NI“, program tyto body uloží do databáze. Atribut „bod“ je datový typ varchar.

Atribut „etapa“ je datovým typem date, tedy ukládá se zde datum měření ve formátu RRRR-MM-DD (rok-měsíc-den). V případě, že měření proběhlo několikrát denně, je možné do tohoto atributu vložit také čas.

Dalším atributem databáze je „vyska“, kde se ukládají hodnoty vyrovnané výšky. Výška je datový typ float.

Posledním atributem je směrodatná odchylka výšky, získaná z kovarianční matice vyrovnaní. V kovarianční matici se nachází vždy rozptyl, proto program pokaždé hodnotu odmocnil, abychom získali směrodatnou odchylku měřené výšky. V atributové tabulce je směrodatná odchylka značena „stdev“. Je datovým typem float.

Vstupním formátem pro program *gama2db.py* je vyrovnaný XML soubor z GNU Gama s koncovkou '.adj' a datum etapy ve formátu RRRR-MM-DD:

```
C:\cesta_souboru\ gama2db.py RRRR – MM – DD 'vstupni_soubor'.adj ,
```

kde 'vstupni_soubor'.adj je vstupní soubor z programu GNU Gama a RRRR-MM-DD je datum měření.



Výstupem je relační databáze nazvaná '*databaze.db*', která se uloží do stejné složky, v níž se nachází program.

4.6 Skript pro výpočet a test vertikálních posunů

Po uložení všech vyrovnaných výšek sledovaných bodů do databáze je třeba vypočítat vertikální posuny a prokazatelnost posunů. Pro zobrazení výsledků a samotný výpočet vertikálních poklesů byl vytvořen program *db2results.py*. Vstupním souborem pro program *db2results* je uložený soubor '*databaze.db*'. V příkazové řádce napíšeme:

```
C:\cesta_souboru\ db2results.py > 'vystupni_soubor'.txt,
```

kde '*vystupni_soubor*'.txt je textový soubor s výslednými poklesy a prokazatelností posunů vůči první etapě.

Podmínkou úspěšného spuštění programu *db2results* je, aby se soubory *db2results.py* a *databaze.db* nacházely ve stejné složce počítače. Druhou podmínkou je přesný název souboru databáze; při spuštění programu je splnění této podmínky nezbytné.

Výstupním souborem programu *db2results.py* je textový soubor s tabulkou pro všechny sledované body, ve které jsou vertikální poklesy od nulté etapy měření bodu a velikosti absolutních hodnot prokazatelných posunů v konkrétní etapě. Výsledné tabulky jsou uvedeny v kapitole 5.1 *Tabulka s výsledky z jednotlivých etap*. Většina posunů byla prokázána s pravděpodobností 95 %.

Nakonec bylo nutné vytvořit graf posunů jednotlivých bodů v čase, přesněji řečeno v rámci časového úseku, během něhož monitoring probíhal. Grafy byly vytvořeny programem Octave a jsou obsaženy v kapitole 5.2 *Grafy vývoje profilů*.



5 Výsledky a vyhodnocení dat

Tato kapitola obsahuje zobrazení naměřených vertikálních poklesů v grafu, přehlednou tabulkou s výsledky z jednotlivých etap a velikosti absolutních hodnot prokazatelných posunů ve všech etapách, zhodnocení naměřených hodnot a porovnání s technickou zprávou komplexního měření.



5.1 Tabulka s výsledky z jednotlivých etap

	25.09.2012	10.04.2013	20.06.2013	15.10.2013	06.11.2014	25.02.2015	27.05.2015	03.09.2015	01.12.2015	11.03.2016	19.08.2016	02.08.2017	25.10.2017	13.12.2017
NID01-1	0.00	-2.49	NO	NO	NO	-5.52	-8.39	-9.44	-10.60	-12.03	-13.91	-72.67	-87.72	-82.39
NID01-2	0.00	-2.68	NO	NO	NO	-6.65	-9.52	-10.60	-11.91	-13.14	-15.38	-72.60	-79.03	-82.13
NID02-1	0.00	0.06	0.33	0.75	0.41	2.97	0.47	-0.61	-0.83	-1.84	-0.57	-17.37	-18.06	-19.84
NID02-2	0.00	-1.17	-0.02	0.63	0.41	2.82	0.43	-0.54	-0.73	-1.87	-0.88	-16.17	-16.97	-18.77
NID03-1	0.00	-0.35	0.27	0.28	0.15	2.83	-0.06	-0.56	-0.90	-1.77	-1.13	-8.93	-9.52	-11.52
NID03-2	0.00	-0.07	0.53	0.49	-0.11	3.01	0.30	-0.46	-0.69	-1.51	-0.83	-8.25	-8.86	-10.91
NID04-1	0.00	-0.81	-0.26	-0.52	-0.86	1.40	-1.66	-1.95	-1.95	-2.71	-2.34	-10.73	-11.22	-13.41
NID04-2	0.00	-0.81	-0.09	-0.49	-0.40	1.49	-1.62	-2.02	-1.97	-2.75	-2.35	-10.26	-10.98	-13.35
NID05-1	0.00	-1.59	-1.26	-1.89	-1.02	-0.29	-2.38	-2.41	-2.82	-3.72	-3.51	-7.06	-7.72	-9.22
NID05-2	0.00	-1.75	-1.34	-1.91	-0.80	-0.21	-2.34	-2.43	-2.69	-3.67	-3.28	-7.26	-7.77	-9.19
NID06-1	0.00	-1.29	-1.08	-0.15	-1.46	-1.51	-4.14	-3.73	-4.36	-4.89	-4.76	-6.84	-7.08	-8.52
NID06-2	0.00	-1.12	-0.75	-2.78	-1.15	-1.17	-4.00	-3.66	-4.06	-4.70	-4.49	-6.78	-7.00	-8.17
NID07-1	NO	0.00	0.65	1.19	1.15	1.28	-2.63	-2.19	-2.57	-2.84	-2.71	-2.68	2.25	-3.44
NID07-2	NO	0.00	0.92	1.45	1.27	1.40	-2.42	-1.62	-2.09	-2.58	-2.55	-2.54	-2.75	-3.31
NID08-1	NO	0.00	0.35	0.60	-0.85	2.60	-2.27	-2.15	-2.17	-2.18	-1.91	-0.27	-0.55	-1.12
NID08-2	NO	0.00	0.51	0.56	-0.66	2.49	-2.40	-2.14	-2.14	-2.34	-1.93	-0.50	-0.55	-1.11
NID09-1	0.00	-0.76	0.07	NO	0.47	2.19	-2.70	-2.23	-3.06	-2.76	-2.74	-2.21	-2.70	-3.33
NID09-2	0.00	-0.69	0.10	-0.42	0.69	2.25	-2.81	-2.52	-2.94	-2.65	-2.69	-2.01	-2.69	-3.23
NID10-1	0.00	-0.88	-0.71	-0.78	-0.57	3.32	-3.72	-3.15	-3.68	-3.71	-3.38	-2.69	-3.34	-3.52
NID10-2	0.00	-0.59	-0.34	-0.47	-0.37	3.34	-3.42	-2.95	-3.43	-3.75	-3.08	-2.60	-2.88	-3.10
NID11-1	0.00	-0.36	-0.95	-0.26	-0.79	4.82	-4.03	-3.65	-3.43	-3.62	-3.64	-2.98	-2.81	-2.77

Tabulka 5.1: Hodnoty posunů (p) v mm ve všech měřených etapách vůči nulté etapě; hodnoty NO nebyly měřeny

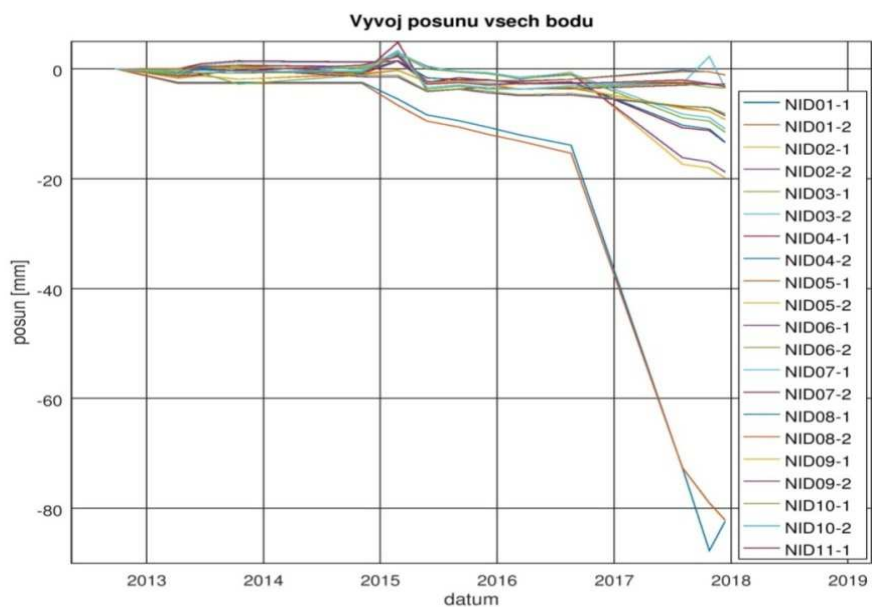


	25.09.2012	10.04.2013	20.06.2013	15.10.2013	06.11.2014	25.02.2015	27.05.2015	08.09.2015	01.12.2015	11.03.2016	19.08.2016	02.08.2017	25.10.2017	13.12.2017
NID01-1	0.00	0.16	NO	NO	NO	0.16	0.16	0.17	0.19	0.16	0.16	0.23	0.22	0.26
NID01-2	0.00	0.16	NO	NO	NO	0.16	0.16	0.17	0.19	0.16	0.16	0.23	0.22	0.26
NID02-1	0.00	0.11	0.13	0.11	0.13	0.11	0.11	0.12	0.12	0.11	0.11	0.17	0.17	0.24
NID02-2	0.00	0.11	0.12	0.11	0.12	0.11	0.11	0.12	0.12	0.11	0.11	0.17	0.16	0.24
NID03-1	0.00	0.15	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.18	0.17	0.24
NID03-2	0.00	0.15	0.16	0.16	0.16	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.18	0.17	0.24
NID04-1	0.00	0.17	0.17	0.18	0.18	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.17	0.17	0.23
NID04-2	0.00	0.17	0.17	0.18	0.18	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.17	0.17	0.23
NID05-1	0.00	0.15	0.16	0.20	0.18	0.14	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.16	0.15	0.21
NID05-2	0.00	0.15	0.16	0.20	0.18	0.14	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.16	0.15	0.21
NID06-1	0.00	0.11	0.10	0.27	0.17	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.11	0.17
NID06-2	0.00	0.11	0.08	0.21	0.17	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.11	0.17
NID07-1	NO	0.00	0.17	0.28	0.21	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.21
NID07-2	NO	0.00	0.17	0.28	0.21	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.21
NID08-1	NO	0.00	0.19	0.26	0.21	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.21
NID08-2	NO	0.00	0.19	0.26	0.21	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.18	0.19	0.19	0.21
NID09-1	0.00	0.23	0.23	NO	0.23	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.23	0.23
NID09-2	0.00	0.23	0.23	0.25	0.23	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.23	0.23
NID10-1	0.00	0.19	0.19	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
NID10-2	0.00	0.19	0.19	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.18	0.19	0.19	0.19
NID11-1	0.00	0.12	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13

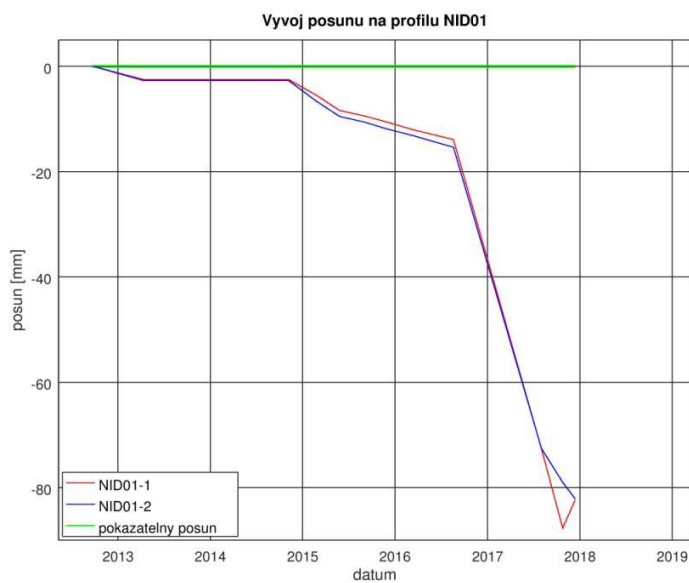
Tabulka 5.2: Hodnoty prokazatelných posunů p_K v mm ve všech etapách vůči první etapě: hodnoty NO nebyly měřeny



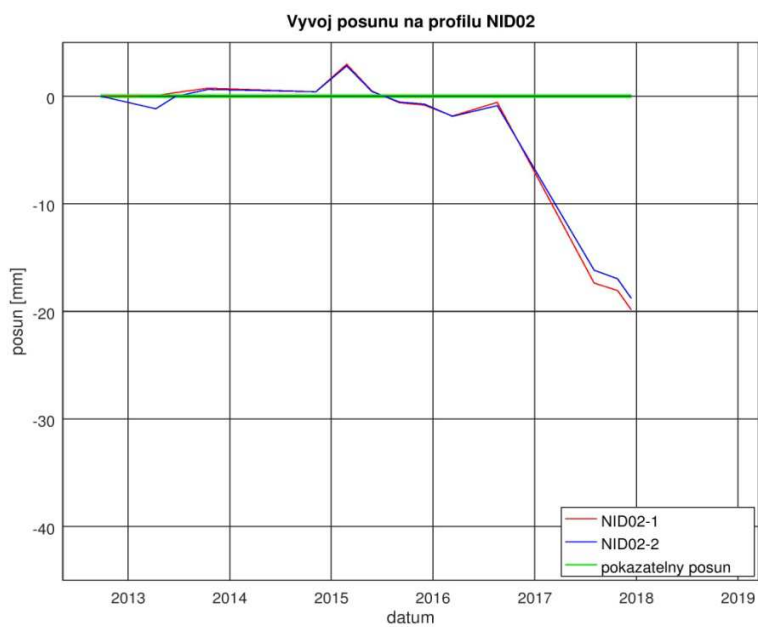
5.2 Grafy vývoje profilů



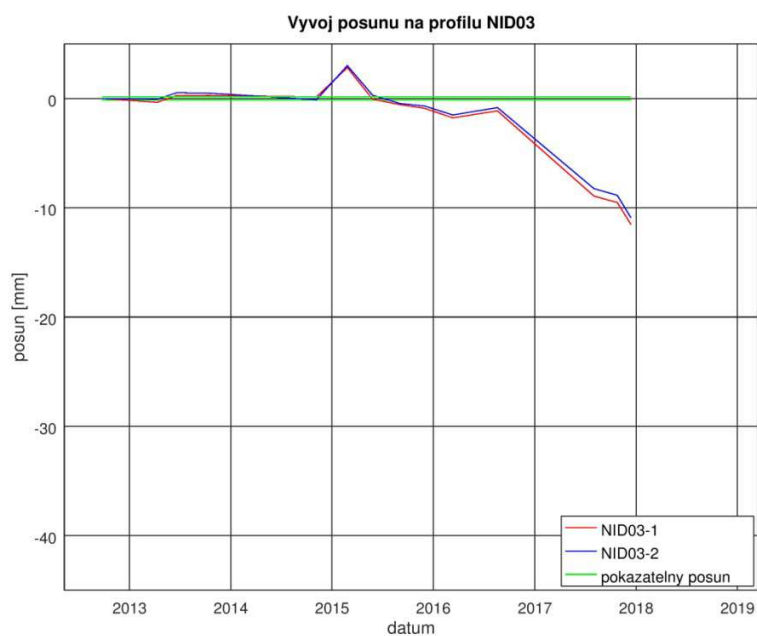
Graf 5.1: Vývoj vertikálních poklesů všech bodů



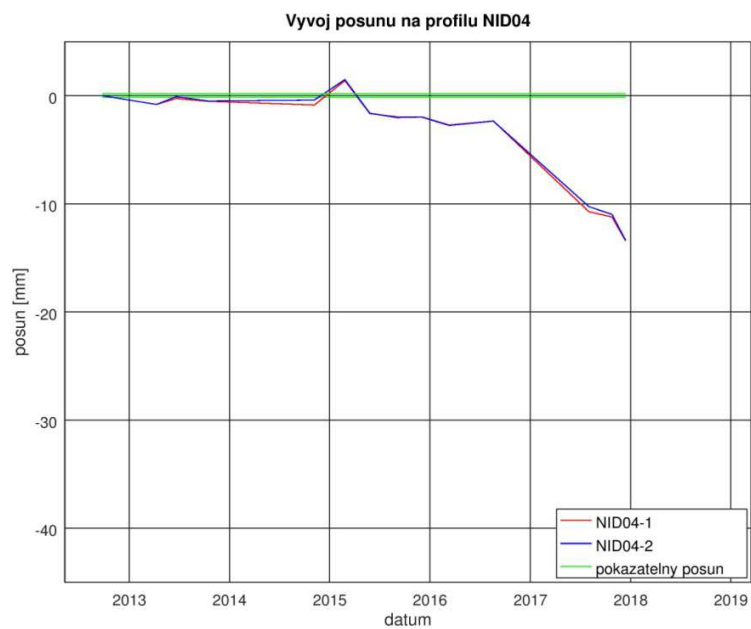
Graf 5.2: Vývoj vertikálních poklesů profilu NID01



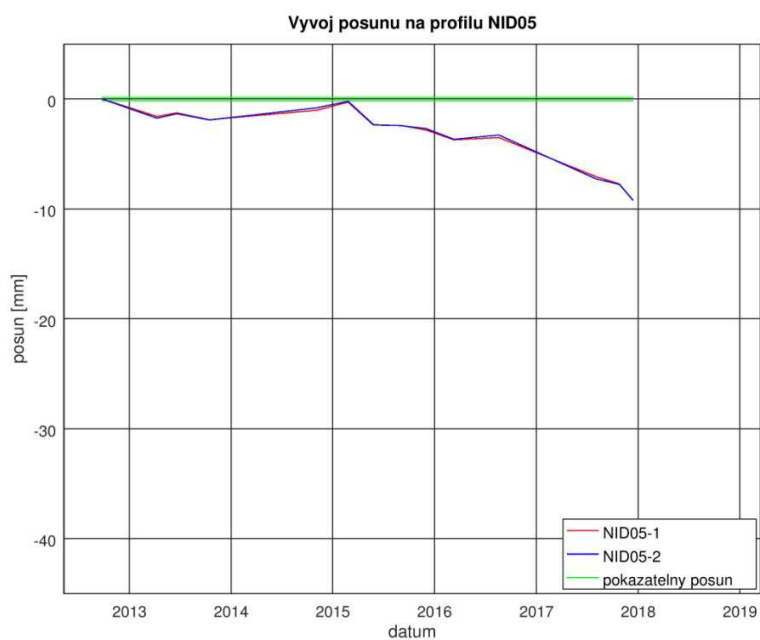
Graf 5.3: Vývoj vertikálních poklesů profilu NID02



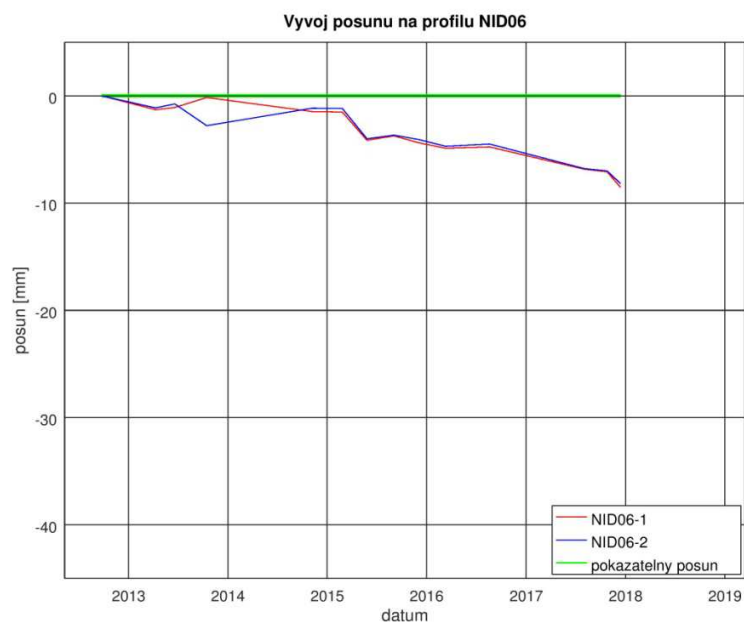
Graf 5.4: Vývoj vertikálních poklesů profilu NID03



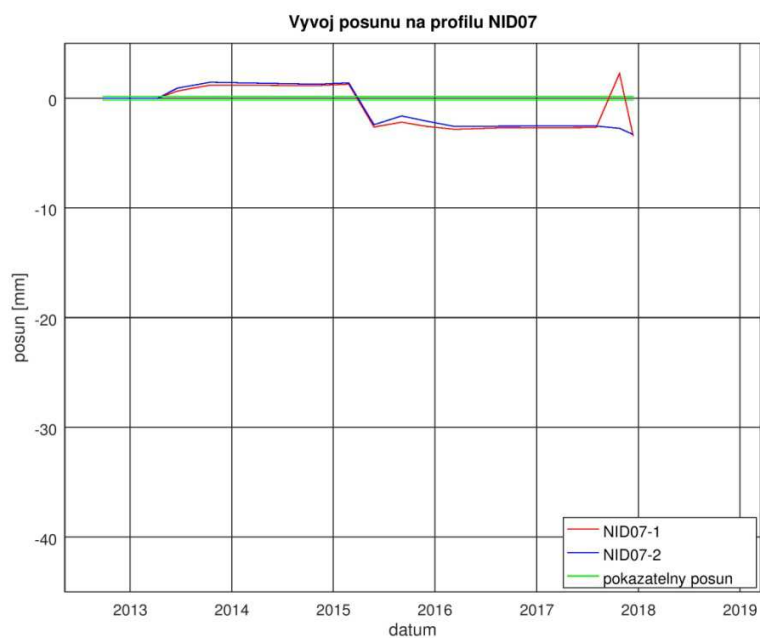
Graf 5.5: Vývoj vertikálních poklesů profilu NID04



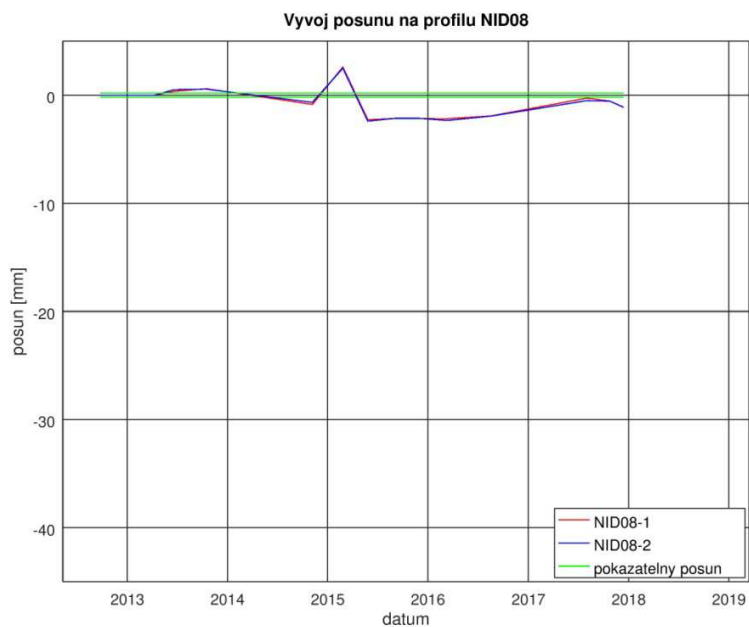
Graf 5.6: Vývoj vertikálních poklesů profilu NID05



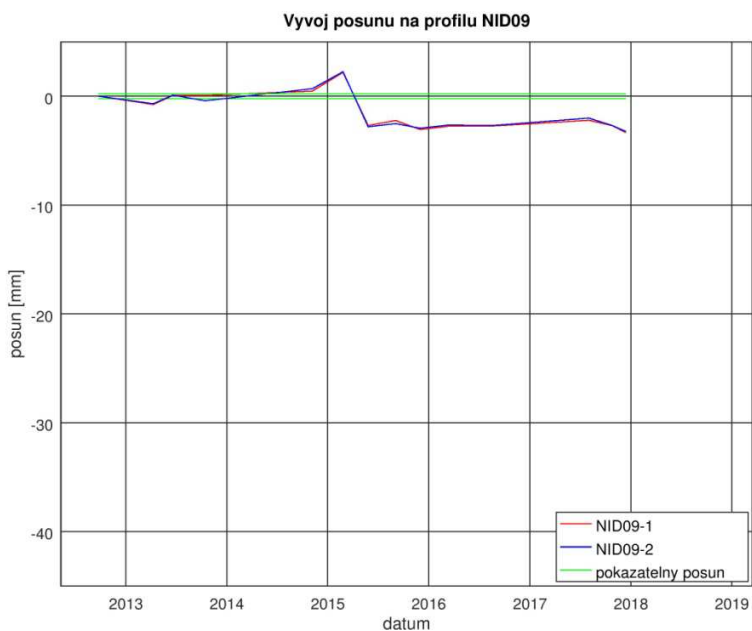
Graf 5.7: Vývoj vertikálních poklesů profilu NID06



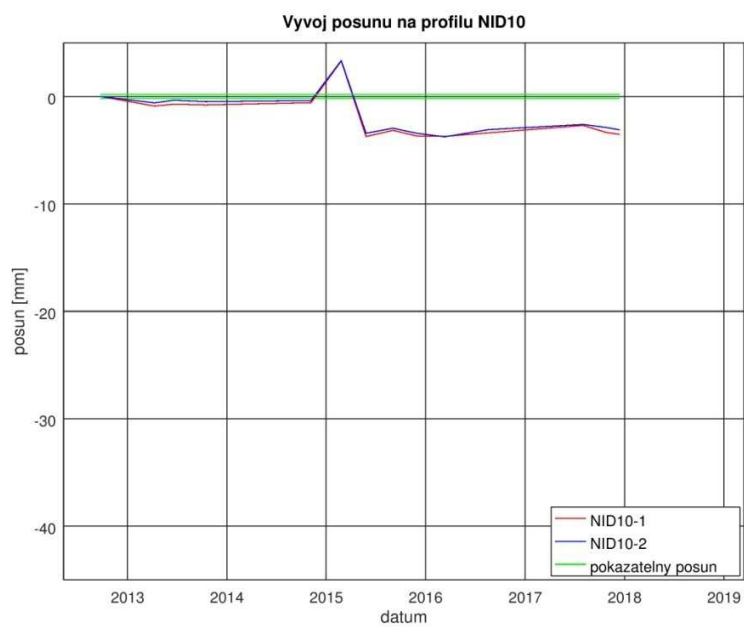
Graf 5.8: Vývoj vertikálních poklesů profilu NID07



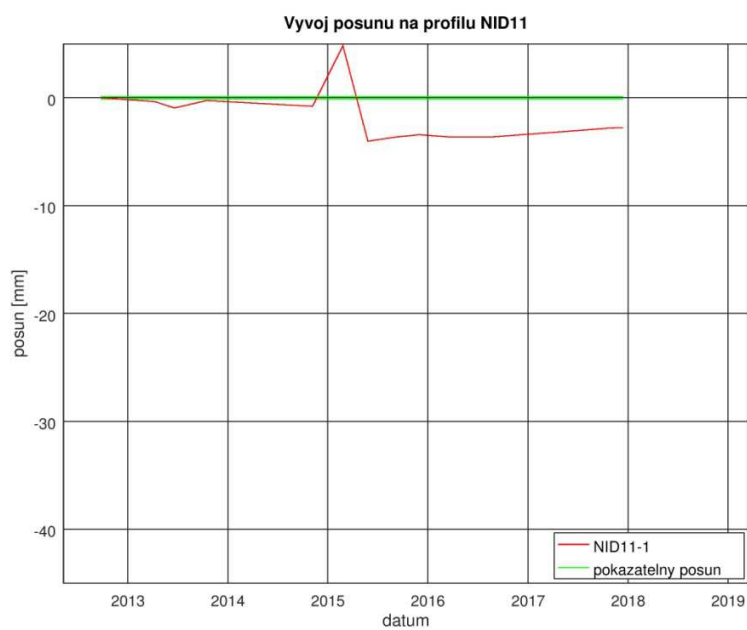
Graf 5.9: Vývoj vertikálních poklesů profilu NID08



Graf 5.10: Vývoj vertikálních poklesů profilu NID09



Graf 5.11: Vývoj vertikálních poklesů profilu NID10



Graf 5.12: Vývoj vertikálních poklesů profilu NID11



5.3 Hodnocení výsledků

Výše uvedené grafy vývoju sledovaných bodů jsou určující pro hodnocení výsledků. Grafy zobrazují vertikální posun sledovaných bodů v určitém časovém úseku. Nepravidelnost měření je dána objednatel, který si sjednával, kdy se má most měřit a v jakém časovém rozpětí mají být jednotlivá měření.

Na výsledcích grafů lze pozorovat přinejmenším externí vliv měření bodů mikrosítě, který v dlouhodobém měřítku silně ovlivňuje nivelační měření, zvláště nadzvedání a poklesy profilů nacházejících se u bodů mikrosítě. Další dva vlivy, s nimiž je třeba počítat a mají vliv na výsledek, je pohyb mostu v přímém důsledku probíhajících objemných stavebních zemních prací pod mostem a případný rozsáhlejší svahový pohyb. Pokud bychom chtěli tyto dva vlivy přesně rozlišit, bylo by nutné porovnat výsledky měření mostu a výsledky geotechnického monitoringu. U větších poklesů je ale zřejmé, že zde opravdu působí vliv nestability podloží.

Výrazný celkový pokles nebo zvýšení všech bodů je možné pozorovat mezi roky 2014 a 2015. V těchto letech se změnila geodetická firma, která přeměřovala mikrosít' mostu. Nejspíše se změnila metodika měření, což mělo za následek výraznou změnu ve výškách všech bodů. Nejvýraznější vliv změny výšek je patrný u profilů nacházejících se u podrobných bodů mikrosítě.

Na výsledcích grafů lze spatřit určitý pokles a vzednutí u všech měřených bodů. Přesto profily NID07 až NID11 můžeme považovat za stabilní a nejevící známky výrazného poklesu. Předpokládá se zde vliv pohybu díky zemním pracím v okolí pilířů.



Výrazný pokles a pohyb bodů vykazuje graf u profilu NID01 a NID02. Tyto dva profily se koncentrují do oblasti podpěry O1 (tzv. Pražská opěra). Primárně se jedná o pokles opěry (body NID01-1 a NID01-2) o 7 mm za tři měsíce, což je celkový pokles přibližně o 90 mm od zahájení měření v roce 2012. Rychlost poklesu se začíná zvyšovat na 3,5 mm/měsíc. Podpěra P2, body NID02-1 a NID02-2, klesala výrazně od roku 2017. Poslední měření prokázalo, že se vertikální pohyb zpomaluje.

Pokles profilů P2 a O1 je podpořen a potvrzen i 3D měřením. Na opěře O1 je registrován pohyb v podélném i příčném směru, který na rozdíl od vertikálního poklesu nejeví známky zpomalování trendu. Tímto jsou pohyby opěry O1 (Pražské podpěry) hodnoceny jako závažné a je doporučeno okamžitě technologicky zajistit stabilitu svahu. Měření neurčuje, zdali je v pohybu část svahu nebo násyp. Přesto je předpoklad podle geologické situace, že umocnění zdejšího svahu, v tomto případě násypem dálnice, způsobuje svahový sesuv půdy. Pokud by podle závěrečné zprávy hlavního statického inženýra výrazný trend pohybu mostní opěry pokračoval, je možné, že by tento pokles paty mostu ohrozil statiku celé stavby.

Při porovnání výsledků obou metod zpracování nivelace, tj. metoda, kterou používá firma, kdy se nivelační pořad vyrovná v přístroji a metoda se zavedením středních chyb, kterou zpracovává bakalářská práce, je vidět, že se výsledky v rámci desetin milimetru liší. Výsledné grafy poklesů jsou tudíž velice podobné a rozdíly mezi nimi nejsou příliš viditelné.

Závěr

Bakalářská práce obsahuje zpracování opakovaného nivelačního měření na pilířích prackovické estakády. Nivelační měření bylo provedeno metodou nivelace ze středu. Naměřená data byla převzata ze zakázky Měření na estakádě v Prackovicích nad Labem.

Cílem bakalářské práce bylo zpracovat měření jiným způsobem, než je vypočteno firmou. Práce zpracovává měření způsobem, který uvažuje při vyrovnání střední chyby záměr v závislosti na jejich délce. Dále pak bylo třeba výsledky naměřených dat patřičně vyhodnotit a zobrazit. Výpočty bylo nutné zpracovat pomocí vhodného softwaru.

Prvním krokem k výpočtu výsledků bylo experimentální zjištění směrodatné odchyly čtení na lati použitého přístroje na krátké záměry. Tato odchylna pak byla použita ve výpočtu. Poté bylo zpracováno všech dvanáct etap měření. Následně vytvořený program v programovacím jazyce Python, nazvaný *dini2gama*, umožnil datový vstup do vyrovnávacího programu Gama. Vstupní soubor používal převýšení a směrodatnou odchylnu délky záměry. Směrodatná odchylna byla spočtena z výše uvedeného experimentu.

Výstupem programu Gama byl textový soubor s již vyrovnanými výškami sledovaných bodů a směrodatnou odchylnou výšek. Pro tento výstup byl vytvořen program, který veškeré výsledky ukládal do relační databáze. Poslední sestavený program vypočetl vertikální poklesy sledovaných bodů vůči první naměřené etapě a jejich směrodatné

odchyly. Tyto odchylky se interpretují jako prokazatelné posuny s pravděpodobností 95 % a ve většině případů byly prokazatelné.

Poslední částí této práce jsou grafy vyhotovené z vertikálních posunů bodů v čase. Rozmezí času bylo dáno prvním a posledním měřením. Nakonec byly veškeré výsledky konfrontovány s technickou zprávou hlavního statického inženýra.

Na závěr je třeba uvést, že tato bakalářská práce nepřináší novou metodu nebo rozdílný postup při měření opakovaných nivelací, ale spíše popisuje a přibližuje odborné veřejnosti metodu osvědčenou a fungující. Je také třeba si uvědomit, že v rámci zadané práce má nivelační měření svoje zastoupení, ale nejedná se o metodu komplexní, nýbrž metodu pouze dílčího dozoru stavby. Samotná nivelace jen poskytne informaci, zdali je sledovaný objekt ve vertikálním směru stabilní nebo nestabilní. Až komplexní měření, a to především 3D měření totální stanicí, ukazuje přesnější prostorový vztah uvnitř a vně stavby. Přesto i 3D monitoring je zatížen mnoha chybami, se kterými je potřeba při vyhodnocení výsledků počítat.

Hodnotnou částí předkládané práce, kterou je ovšem potřeba zdokonalit a rozšířit její funkcionalitu, je software *dini2gama*. Samotný program je vyvinut pro univerzální použití, takže umožňuje veškeré měření, které kdy proběhlo s nivelačním přístrojem od Trimblu, převést do vstupního souboru vyrovnávacího programu GNU Gama.

Použité zdroje

BRAUN, Jaroslav, Martin ŠTRONER a Pavel TŘASÁK. Experimentální určení přesnosti záměry při nivelaci. *Geodetický a kartografický obzor*. 2012, roč. 58/100, č. 10, s. 226-236. ISSN 0016-7096.

D8 [online]. 2016 [cit. 2017-12-12]. Dostupné z: <http://www.ceskedalnice.cz/rubrika/dalnice/d8/>

Databáze svahových nestabilit České geologické služby [online]. 2017 [cit. 2017-12-12]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/app/pasport/viewdbs.pl?db=6&map=02-41-21>

GNU Gama [online]. 2017 [cit. 2017-12-12]. Dostupné z: <https://www.gnu.org/software/gama/>

HAMPACHER, Miroslav a Martin ŠTRONER. *Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii*. Vydání druhé, upravené a doplněné. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2015. ISBN 978-80-01-05843-5.

HOFMAN, David. *Geodetický monitoring při výstavbě bezbariérového přístupu do stanice metra Můstek*. Praha, 2017. Diplomová práce. ČVUT.

PROCHÁZKA, Jaromír. *Sylabus inženýrské geodézie* [online]. In: . Praha: ČVUT, 2015, 10 str. [cit. 2017-12-12]. Dostupné z: http://k154.fsv.cvut.cz/vyuka/geodezie_geoinformatika/inge/Sylabus_IG_2a3.pdf

Python. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): WikimediaFoundation, 2017 [cit. 2017-12-12]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Python>

Trimble DiNi [online]. 2017 [cit. 2017-12-12]. Dostupné z: http://www.geoteam.dk/CustomerData/Files/Folders/60-pdf-landm%E5ling-02/370_dini22-user-guide.pdf

Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Schéma příčného řezu a umístění jednotlivých měřících bodů –geodetické měření.....	11
Obrázek 1.2: Foto jednotlivých měřících bodů	12
Obrázek 1.3: Prackovická estakáda. Pohled z jihu.....	13
Obrázek 1.4: Svahové nestability u estakády Prackovice	14
Obrázek 1.5: Přehledka bodů mikrosítě	17
Obrázek 2.1: Přehledka sledovaných bodů.....	19
Obrázek 3.1: Schéma měřičské základny experimentu opakovaného cílení.....	22
Obrázek 4.1: Ukázka vytvořené databáze.....	32

Seznam grafů

Graf 3.1: Porovnání přesnosti z experimentu a od výrobce.....	24
Graf 5.1: Vývoj vertikálních poklesů všech bodů	39
Graf 5.2: Vývoj vertikálních poklesů profilu NID01	39
Graf 5.3: Vývoj vertikálních poklesů profilu NID02	40
Graf 5.4: Vývoj vertikálních poklesů profilu NID03	40
Graf 5.5: Vývoj vertikálních poklesů profilu NID04	41
Graf 5.6: Vývoj vertikálních poklesů profilu NID05	41
Graf 5.7: Vývoj vertikálních poklesů profilu NID06	42
Graf 5.8: Vývoj vertikálních poklesů profilu NID07	42
Graf 5.9: Vývoj vertikálních poklesů profilu NID08	43
Graf 5.10: Vývoj vertikálních poklesů profilu NID09	43
Graf 5.11: Vývoj vertikálních poklesů profilu NID10	44
Graf 5.12: Vývoj vertikálních poklesů profilu NID11	44

Seznam tabulek

Tabulka 1.1: Přehled výšek bodů mikrosítě v rámci měřených etap.....	16
Tabulka 3.1: Směrodatné odchylky zjištěné při experimentu přepočtené na 1 kilometr.....	23
Obrázek 5.1: Hodnoty posunů (p) v mm ve všech měřených etapách vůči nulté etapě	37
Obrázek 5.2: Hodnoty prokazatelných posunů p_K v mm ve všech etapách vůči první etapě	38

Seznam příloh

Tištěné přílohy

- Schéma průběhu měření etapy měřené 13. 12. 2017

Digitální přílohy

- Program dini2gama dini2gama.py
- Program gama2txt gama2txt.py
- Posuny bodů – tabulka posuny_bodu.xls
- Grafy vertikálních posunů profilů grafy_profily.pdf
- Grafy bodů s prokazatelným posunem grafy_prokaz.pdf



Ústecká podpěra



Přílohy

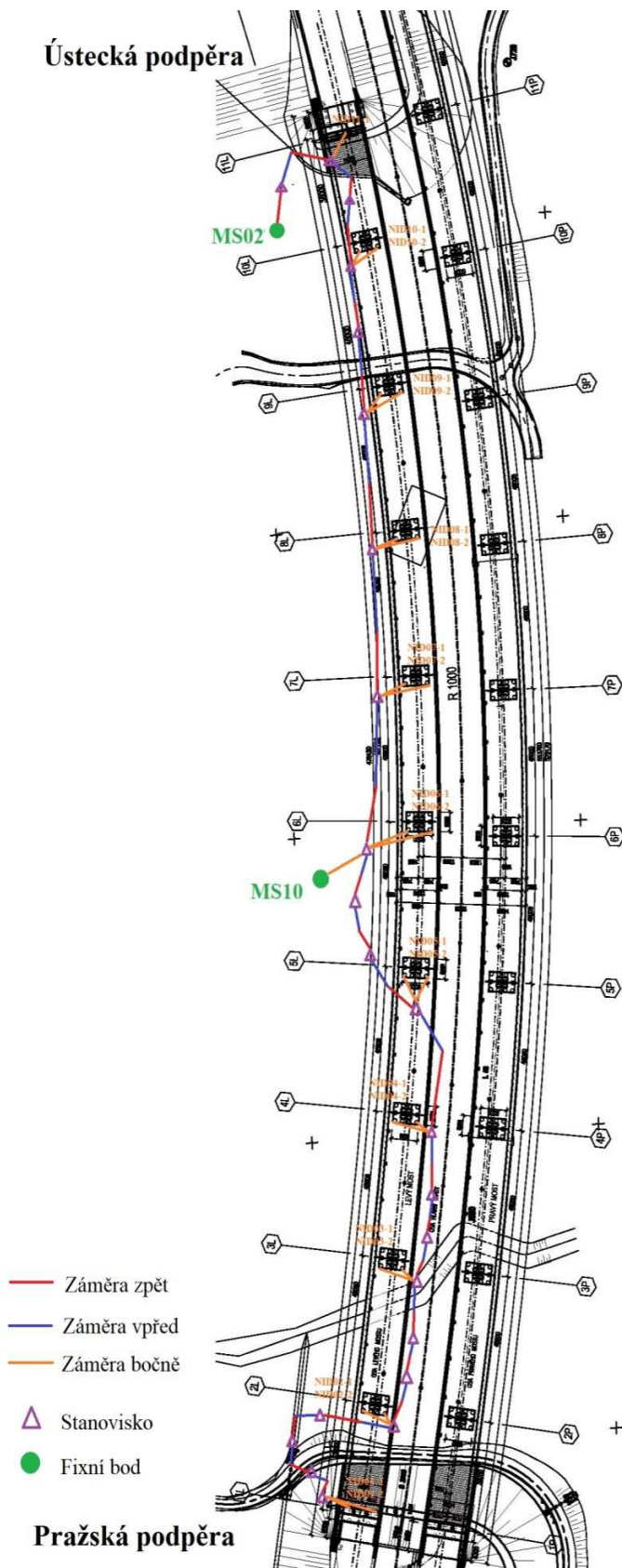


Schéma průběhu měření etapy měřené 13. 12. 2017