



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta Stavební  
Katedra speciální geodézie**

**Nivelační síť elektrárny Chvaletice**

**The levelling network of Chvaletice power plant**

diplomová práce

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie a kartografie

Vedoucí práce: Ing. T. Jiříkovský PhD.

**Bc. Jan Staněk**

---

**Praha 2016**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Tháškurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE


Příjmení: Staněk	Jméno: Jan	Osobní číslo: 396899
Zadávající katedra: K 154 - Katedra speciální geodézie		
Studijní program: Geodézie a kartografie		
Studijní obor: Geodézie a kartografie		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Nivelační síť elektrárny Chvaletice	
Název diplomové práce anglicky: The levelling network of Chvaletice power plant	
Pokyny pro vypracování: Vznik a vývoj nivelační sítě Výpočet a analýza vybraných dosavadních měření Spolupráce při měření aktuální etapy Návrhy a výpočty alternativních řešení Posouzení všech variant Závěry, zhodnocení, doporučení	
Seznam doporučené literatury: metodika měření společnosti ČEZ, a.s. (zpracováno firmou Small spol. s.r.o.) Geometrická nivelace, J. Boehm, 1960 Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii, M. Hampacher, M. Štroner, 2011	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Tomáš Jiříkovský Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 24. 2. 2016	Termín odevzdání diplomové práce: 22. 5. 2016
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové 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“.*

 Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
--	---------------------

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci „Nivelační síť elektrárny Chvaletice“ vypracoval sám za použití zdrojů a literatury v ní uvedených.

V Praze dne .....

.....  
Jan Staněk

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce Ing. Tomáši Jiřikovskému, Ph.D., za připomínky a pomoc při zpracování této práce. Dále by chtěl poděkovat Bc. Dominiku Hladíkovi za pomoc s programem Matlab. Dále chci poděkovat Doc. Ing. M. Štronerovi Ph.D. za rady se stanovením vah a Ing. S. Vojtíškové za poskytnutá data od firmy Seven a.s. a její připomínky a doplnění informací k poskytnutým datům.

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá metodikou měření, výpočtu a analýzy nivelační sítě elektrárny Chvaletice. Pro práci byly nastudovány metodiky měření a výpočtu předchozích a současných zpracovatelů. Tyto metody byly porovnány s vlastním zpracováním. K dispozici byly dodány dvě etapy měření. A to etapa z roku 2014 a 2015. Tato měření byla zpracována a byly na nich testovány dosavadní a nové metody výpočtu. Cílem této práce je vyhodnotit dosažené výsledky, porovnat vhodnost nových i stávajících metod a stanovit doporučení.

## **Klíčová slova**

elektrárna Chvaletice, nivelace, nivelační síť, posuny, vyrovnání

## **Abstract**

This diploma work deals with the methodology of measurement, calculation and analysis of the leveling network of power plant Chvaletice. For this work were studied the methodology of measurement and calculation of past and recent processors. These methods were assessed with self-treatment. There are delivered two stages of measurement. And this stage from 2014 and 2015. These measurements were prepared and were tested on their existing and new methods of calculation. The aim of this diploma work is to evaluate the results, compare the suitability of new and existing methods and make recommendations.

## **Key words**

Chvaletice power plant, levelling, levelling network, shifts, equalization

## Obsah

1	Úvod.....	- 9 -
2	Elektrárna Chvaletice .....	- 10 -
2.1	Historie.....	- 10 -
2.2	Objekt a provoz elektrárny .....	- 11 -
2.2.1	Zásobování a uskladnění paliva .....	- 11 -
2.2.2	Kotelna .....	- 12 -
2.2.3	Komín.....	- 12 -
2.2.4	Odsíření a chladicí věže .....	- 12 -
2.2.5	Strojovna .....	- 12 -
2.2.6	Rozvod elektrické energie .....	- 13 -
2.2.7	Dozorny .....	- 13 -
2.2.8	Chemická úpravna vody.....	- 13 -
2.2.9	Míchací centrum.....	- 14 -
2.3	Geodetická činnost.....	- 14 -
2.3.1	Vznik a vývoj nivelační sítě elektrárny Chvaletice.....	- 14 -
2.3.2	Měření základních nivelační sítě.....	- 16 -
2.3.3	Sledování objektů.....	- 17 -
3	Stávající a minulé metodiky měření a výpočtu .....	- 18 -
3.1	Metodika měření ČEZ .....	- 18 -
3.2	Metodika výpočtu ČEZ.....	- 19 -
3.3	Provedení měření a zpracování firmou SMALL s.r.o. ....	- 22 -
3.4	Metodika měření firmy Seven a.s. ....	- 23 -
3.5	Metodika výpočtu firmy Seven a.s. ....	- 24 -
4	Měřické metody.....	- 25 -
4.1	Měření posunů a přetvoření .....	- 25 -
4.1.1	Účel a cíle měření posunů a deformací .....	- 25 -
4.1.2	Hlavní příčiny posunů a deformací .....	- 26 -
4.1.3	Základní pojmy .....	- 26 -
4.1.4	Měření a přesnost posunů a deformací.....	- 27 -
4.1.5	Metody měření posunů a deformací.....	- 28 -
4.1.6	Měření svislých posunů a deformací.....	- 28 -
4.2	Geometrická nivelace .....	- 29 -
4.2.1	Přesnost geometrické nivelace .....	- 29 -
4.2.2	Princip metody geometrické nivelace .....	- 30 -

4.2.3	Chyby nivelačních přístrojů a pomůcek .....	31 -
4.2.4	Určení přesnosti nivelace .....	34 -
4.2.5	Velmi přesná nivelace .....	37 -
5	Výpočetní metody .....	38 -
5.1	Vyrovnání měření .....	38 -
5.1.1	Vyrovnání měření obecně .....	38 -
5.1.2	Metody vyrovnání .....	39 -
5.1.3	Metoda nejmenších čtverců .....	40 -
5.1.4	Soubor dvojic měření .....	41 -
5.1.5	Vyrovnání zprostředkujících měření .....	42 -
5.2	Analýza výsledků .....	45 -
5.2.1	Statistické testování .....	45 -
5.2.2	Testování střední hodnoty .....	46 -
5.2.3	Testování střední chyby .....	46 -
5.2.4	Stanovení a analýza posunu .....	47 -
6	Aplikace výpočtů na měřená data .....	48 -
6.1	Výpočet dle dosavadních metodik .....	48 -
6.2	Zpracování měření .....	48 -
6.2.1	Program DNA03 GSIRreader .....	49 -
6.2.2	Výpočet převýšení .....	50 -
6.2.3	Kontrola měření a dosažená přesnost .....	52 -
6.3	Stanovení vah měření .....	55 -
6.3.1	Stanovení vah dle metodik .....	55 -
6.3.2	Úprava vah stanovených dle metodik pro program GNU GaMa .....	56 -
6.3.3	Hledání optimálnějšího stanovení vah .....	56 -
6.3.4	Porovnání výsledků vah .....	57 -
6.4	Vyrovnání nivelační sítě pomocí MNC v programu Matlab .....	59 -
6.4.1	Vyrovnání etapy 2014 .....	59 -
6.4.2	Vyrovnání etapy 2015 .....	61 -
6.5	Ztotožnění těžiště .....	63 -
6.5.1	Výpočet těžiště etap .....	64 -
6.5.2	Testování shodnosti těžiště etapy 2014 a 2015 .....	64 -
6.5.3	Ztotožnění těžišť a redukce k těžišti .....	65 -
6.6	Vyrovnání programem GNU GaMa .....	66 -
6.6.1	Program GNU GaMa .....	66 -
6.6.2	Vstup dat .....	67 -

6.6.3	Výsledky vyrovnaných etap .....	- 67 -
6.6.4	„Sekvenční vyrovnání“ všech etap.....	- 68 -
6.7	Analýza výsledků.....	- 70 -
6.7.1	Kontrola přesnosti vrovnaní sítě .....	- 71 -
6.7.2	Analýza posunů jednotlivých etap .....	- 71 -
6.7.3	Analýza posunů všech etap vyrovnaných „sekvenčně“ .....	- 73 -
7	Program na vyrovnání výškových sítí.....	- 75 -
7.1	Výpočetní software Matlab.....	- 75 -
7.2	Vyrovnání nivelační sítě .....	- 76 -
7.2.1	Vstup dat .....	- 76 -
7.2.2	Funkce výpočtu vektoru neznámých a vektoru funkce $l$ .....	- 77 -
7.2.3	Funkce matice vah.....	- 77 -
7.2.4	Funkce matice plánu.....	- 77 -
7.2.5	Výpočet MNČ .....	- 77 -
7.2.6	Výstup .....	- 78 -
8	Doporučení výpočtu a měření .....	- 78 -
8.1	Doporučená metoda měření .....	- 78 -
8.2	Kontrola měření .....	- 79 -
8.3	Určení výškového horizontu .....	- 79 -
8.4	Určení vah měření.....	- 80 -
8.5	Výpočet a vyhodnocení výsledků .....	- 81 -
9	Závěr.....	- 82 -
10	Seznamy .....	- 83 -
10.1	Seznam použité literatury .....	- 83 -
10.2	Seznam obrázků.....	- 85 -
10.3	Seznam tabulek.....	- 85 -



# 1 Úvod

Nivelační síť elektrárny Chvaletice byla měřena a vyhodnocována od jejího postavení několika zpracovateli. Během této doby mohlo dojít ke ztrátě informací nebo aktuálnosti metodických postupů s ohledem na vývoj měřických technologií. Cílem této práce je stanovit, sjednotit a doporučit nejvhodnější postup měření, výpočtu a vyhodnocení svislých posunů. Lze tedy tvrdit, že tato práce může sloužit jako nový metodický návod.

Pro ujasnění specifik měření v elektrárně budou popsány objekty elektrárny a její umístění. Rovněž bude popsána samotná nivelační síť a vybrané části ke zpracování a vyhodnocení výsledků. Kvůli sjednocení a pochopení výsledků dosavadních zpracovatelů budou nastudovány předchozí metodické návody. Z nich bude vyhotoven souhrn nejpodstatnějších informací.

Jako případný návod budou popsány metody vhodné pro měření svislých posunů. Hlavní důraz bude kladen na měření geometrické nivelace, její zpracování a vyhodnocení. Velký význam pro další používání je vyrovnání nivelační sítě. Budou hledány neoptimálnější metody vyrovnání a stanovení a vyhodnocení posunů. Na závěr budou výsledky shrnuty a doporučeny neoptimálnější metody vyrovnání sítě a stanovení svislých posunů. K těmto účelům budou zpracována poskytnutá data.

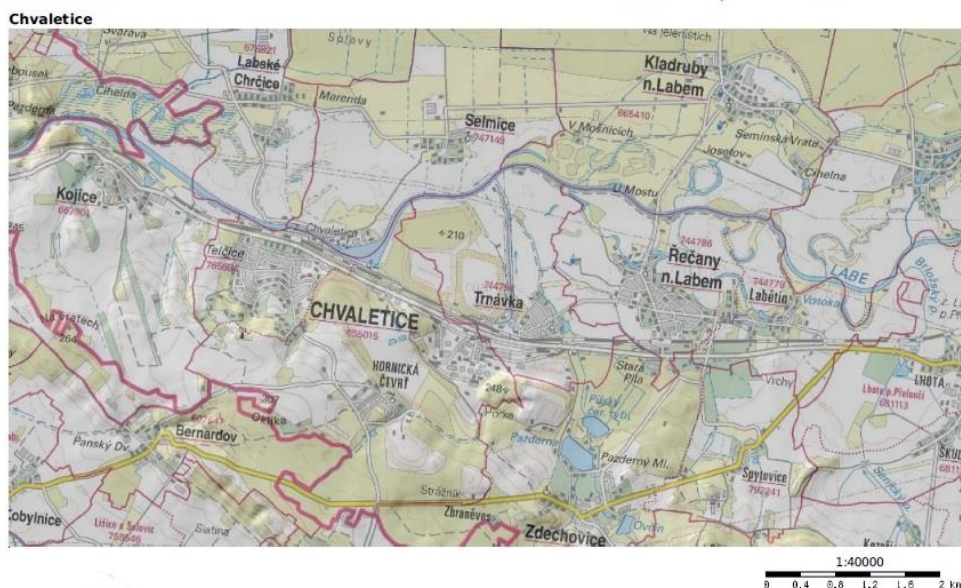
## 2 Elektrárna Chvaletice

Z důvodu objasnění dalších částí práce bude v této kapitole popsán zájmový objekt a jeho činnost. To má totiž vliv i na měření nivelační sítě, jejíž měření a následné určení je stěžejním prvkem této práce.

Elektrárna Chvaletice se nalézá v Pardubickém kraji nedaleko obce Chvaletice, v blízkosti řeky Labe, které bylo dlouho dobu využíváno jako dopravní trasa paliva, kterým je hnědé uhlí.

Jedná se o tepelnou elektrárnu, jejíž výkon činí 820 MW. Kromě výroby elektrické energie slouží elektrárna také k výrobě a dodávce tepla. Elektrická i tepelná energie jsou vyráběny při stejném cyklu. To má za následek vyšší využití energetické hodnoty paliva.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [1][2][3]



Obrázek 1: mapa polohy elektrárny Chvaletice

Zdroj: [16]

### 2.1 Historie

Komplex elektrárny byl vystavěn v letech 1973 až 1979. Jako místo výstavby bylo zvoleno území bývalých Mangano-kyzových závodů, u nichž právě končila těžba pyritu. Aby byla možnost dodávky hnědého uhlí ze Severočeské uhelné pánve, musela být dokončena Labská cesta, po které sem bylo do roku 1996 z Lovosic toto uhlí dopravováno.

Elektrárna do 1. 10. 2010 spadala do vlastnictví společnosti ČEZ a.s., kdy byla vyčleněna do dceřiné společnosti s názvem Elektrárna Chvaletice a.s. V roce 2013 byla odkoupena společností Severní Energetická a.s.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [1][2][3]

## 2.2 Objekt a provoz elektrárny

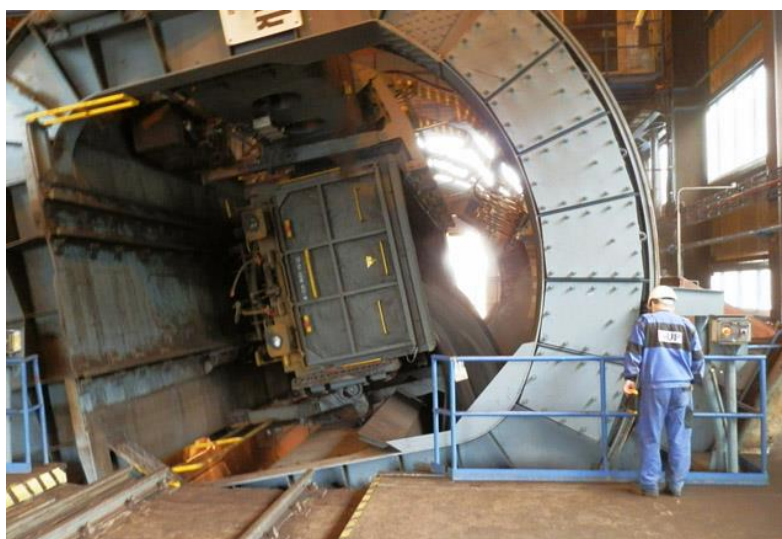
Objekt elektrárny byl vystavěn, jak bylo uvedeno výše, na starším průmyslovém objektu. Rozloha celé elektrárny je přes 900 000 m<sup>2</sup>. Největší část prostoru zabírá skládka paliva, dále pak strojovna, čtyři chladicí věže, kotelna, rozvody a další zařízení a objekty zajišťující chod a ekologii elektrárny. Instalovaný výkon 820 MW zajišťují čtyři bloky. Vyrobená energie je rozváděna vedením o napětí 400 kV do rozvodny Týnec nad Labem.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [1][2][3]

### 2.2.1 Zásobování a uskladnění paliva

Skládka paliva je svojí kapacitou uskladnění hnědého uhlí (850 000 t) největší svého druhu v České republice. Dodávky uhlí byly do roku 1996 dopravovány po Labi, ale z ekonomických důvodů je nyní zásobování zajištěno pouze po železniční trase. Přejechod na železniční zásobování si vyžádal výstavbu rotačního výklopníku železničních vozů. Toto u nás ojedinělé zařízení je od polského výrobce. Výklopník umožňuje vyložení obsahu nákladního vozu za 180 s. Tento proces může být zopakován dvacetkrát za hodinu.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [1][2][3]



**Obrázek 2: výklopník paliva**

Zdroj: [1]

### **2.2.2 Kotelna**

Do kotelny je palivo vedeno z uhelných zásobníků. To je zajištěno pomocí kombinovaného podavače paliva gumovým pásem, který vede přes sušící šachty do ventilátorových mlýnů, kde je posléze rozemleto na prášek. Připraveným palivem jsou poté zásobovány čtyři parní průtočné kotle od výrobce Vítkovice Ostrava. Zapálení a stabilizace spalování je prováděno pomocí olejových hořáků. V těch je spalován těžký topný olej neboli mazut. Výkon jednoho kotle je 655 t/h s účinností 88,0 % (při uvedeném výkonu).

Aby došlo ke snížení úletu tuhých emisí, jsou za každým kotlem paralelně připojeny dva elektrostatické odlučovače popílku. Za nimi se nalézá společný kouřový ventilátor, který odvádí spaliny do odsiřovacích zařízení.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [1][2][3]

### **2.2.3 Komín**

Komín je uváděn jako nejvyšší průmyslový komín v České republice. Jeho výška činí 300 m. U paty je obvod přibližně 92 m. Má celkem osm ochozů, přičemž obvod prvního ochozu je 83 m.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [1][2][3]

### **2.2.4 Odsíření a chladicí věže**

Odsíření bylo ve Chvaleticích instalováno v letech 1995 – 1998 finsko-japonským konsorciem firem. Samotné odsíření funguje na principu mokré vápencové vypírky. Kouřové plyny z elektrostatických odlučovačů jsou hnány do absorberů, kde jsou smíchány s vápencovou suspenzí. Odsiřovací sekce v absorberu má úspěšnost 95 %. Odsířené spaliny jsou vedeny z absorberů do čtyř chladících věží, které jsou vysoké cca 100 m a průměr u země činí 60 m.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [1][2][3]

### **2.2.5 Strojovna**

Elektrická energie je vyráběna ve strojovně čtyřmi parními třítělesovými kondenzačními turbínami. Každý blok má výkon 205 MW. Celkový výkon tedy činí 820 MW. Samotné turbíny následně pohánějí turboalternátory. Každý turboalternátor má výkon 235 MVA a napětí 15,75 kV.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [1][2][3]

### **2.2.6 Rozvod elektrické energie**

Napětí generátoru je vedeno do vývodového transformátoru o výkonu 250 MVA a transformováno na 400 kV. Z transformátoru je napětí vedeno dvěma linkami do rozvodny v Týnci nad Labem. Z rozvodny Týnec nad Labem a rozvodny Opočínec je čtyřmi linkami napájena místní rozvodna. Z této rozvodny je napájena měřična Českých drah, která je v blízkosti elektrárny, a hlavní společná rozvodna. Ta dostatečně pokrývá spotřebu všech nevýrobních objektů a neblokovaných souborů elektrárny. Všechny důležité rozvodny a společné neblokované zařízení elektrárny je ovládáno z elektrické dozorny.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [1][2][3]

### **2.2.7 Dozorny**

V dozornách se o stav procesu starají tři operátoři. Ti řídí technologický proces bloků za pomoci technologických schémat. O stavu technologie a vlastním výrobním procesu informují čidla umístěná na technologickém zařízení. Veškeré informace o procesu jsou digitalizovány a následně zaslány do sběrný procesorových jednotek, kde dojde k vyhodnocení těchto informací. Zpátky je vyslán signál pro samotné ovládání procesu. Celý systém musí registrovat až 8500 signálů. V místě dozoren se nalézá i elektrodozorna, která má na starost řízení procesu bloků a dalších zařízení včetně regulace dodávané elektrické energie do uzlu v Týnci nad Labem.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [1][2][3]

### **2.2.8 Chemická úprava vody**

Elektrárna pro svůj provoz potřebuje vodu. Zásobárnou je řeka Labe. Pro provoz je ovšem nutná změkčená a demineralizovaná voda. To je dosaženo v chemické úpravně vody. V té je produkováno 180 m<sup>3</sup> za hodinu demineralizované vody a 20 m<sup>3</sup> za hodinu změkčené vody. Chemicky upravená voda je skladována ve třech zásobních nádržích. Z nádrží je dle potřeby čerpána do strojovny a k dalším účelům (změkčená voda doplňuje topný okruh). V místě chemické úpravy vod je rovněž umístěny čtyři sedimentační bazénky na čištění odpadních vod. Ty jsou zde umístěny pro minimalizování vypouštění odpadních vod.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [1][2][3]

### 2.2.9 Míchací centrum

Když dojde ke spalení uhlí, nastane produkce vedlejších energetických produktů. Jedná se o produkci popílku, strusky, energosádrovce a stabilizátu. Pro úpravu případně pro výrobu těchto produktů vzniklo v elektrárně míchací centrum.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [1][2][3]

## 2.3 Geodetická činnost

Jako u každé významné a velké stavby dochází z důvodu bezpečnosti k jejímu sledování. Pro geodetickou činnost to znamená měření posunů a deformací jednotlivých stavebních objektů. Pro zjištění posunů a přetvoření jednotlivých objektů je nutné zaměřit vztažnou síť bodů.

Některé objekty jako třeba chladicí věže elektrárny jsou sledovány ve 3D. Ale u většiny objektů jsou sledovány jen svislé posuny. V rámci této práce bude právě stěžejní nivelační síť elektrárny Chvaletice měření svislých posunů.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [9][10][11][12]

### 2.3.1 Vznik a vývoj nivelační sítě elektrárny Chvaletice

Při samotném budování elektrárny muselo být počítáno se vznikem sítě pro pozorování posunů a deformací. Informace o historii nivelační sítě poskytnutá pro tuto práci jsou od roku 2006 až po současnost. Starší informace bohužel nebyly získány.

Z vnitřních stanov sledování elektrárny je možné dohledat, že pro sledování výškového horizontu se má vycházet ze šesti základních bodů. Bohužel od roku 2006 do současnosti zbyly pouze tři. A to vztažný bod 22 a ověřovací body č. 221 a 23 (**Obrázek 4**). Tyto body jsou stabilizovány hloubkovou stabilizací. Na těchto třech bodech ale dochází k posunům.

Další nivelační body jsou rozděleny do několika hlavních (připojovacích) nivelačních pořadů. Ty jsou rozmístěny, tak aby následné sledování objektů elektrárny bylo co nejefektivnější. Počet i umístění bodů se za dobu provozu musel změnit. A to kvůli zničení nebo zlepšení následné efektivity měření a zpracování. Z dat poskytnutých z let 2014 a 2015 je možné vypočítat přesněji změnu bodů. Body 802, 804 a 805, které se objevují v měření z roku 2014, byly nahrazeny novými body, které se nalézají v jejich blízkosti. Jde o body 353, 442 a V8-2. V roce 2015 přibyl další bod a to MV3. Pro zpracování této práce budou probrány polygonové pořady č. 1, 2, 3 a 4.

Polygonový pořad číslo 1 je uzavřený od bodu číslo 22 a vede po obvodu elektrárny. Při měření v roce 2015 přibyl bod MV3. Do té doby měl pořad 11 bodů. Body jsou stabilizovány

většinou na stavebních objektech čepovou nebo hřebovou nivelační značkou. V případě nutnosti jsou body stabilizovány navařenou ocelovou kuličkou.



**Obrázek 3: ukázka stabilizace bodů**

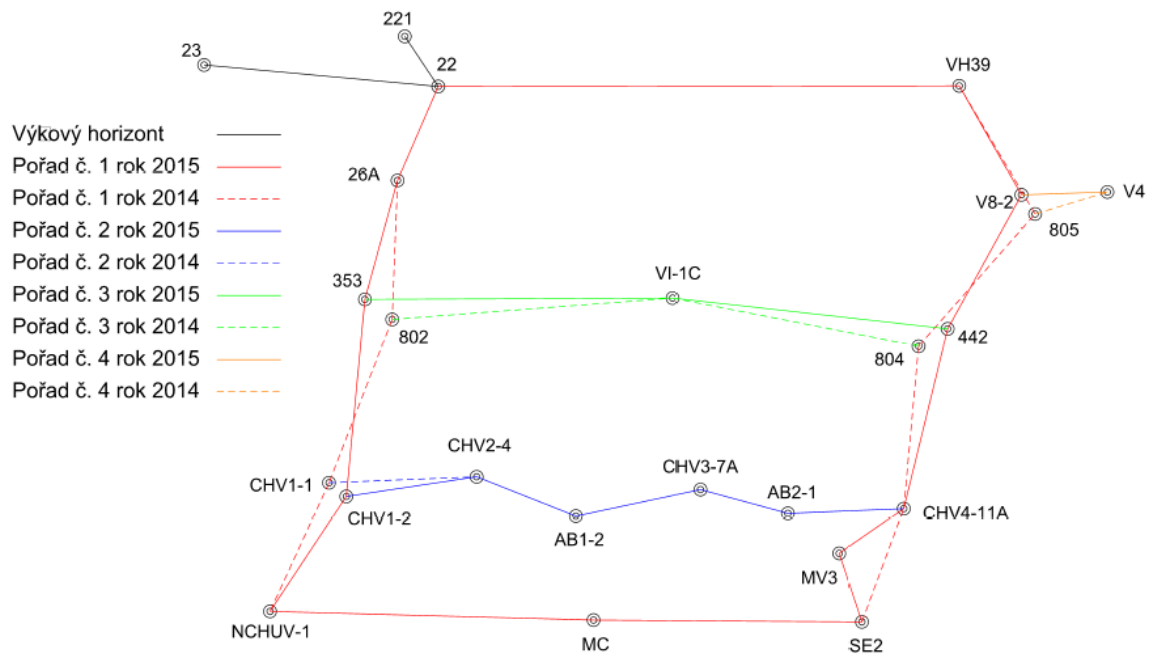
Zdroj: foto J. Staněk, 2016

Nivelační pořad č. 2 je veden přes všechny chladicí věže a absorpční centra. Pořad je vetknutý v prvním nivelačním pořadu a to přesně mezi body CHV1-2 a CHV4-11A. Některé body např. body na absorpčních centrech byly zničeny a musely být použity jiné rovněž umístěné na absorpčním centru. Body jsou stabilizovány většinou na stavebních objektech čepovou nebo hřebovou nivelační značkou.

Třetí nivelační pořad je rovněž vetknutý. A to mezi body 353 a 442. Jediný bod mezi těmito dvěma je V6-1C jehož poloha se rovněž v rámci objektu měnila. Tento bod je stabilizován čepovou nivelační značkou.

Pořad 4 je volný nivelační pořad. Mají sice pouze jeden určovaný bod, přesto tento bod bude mít horší přesnost, než kdyby se jednalo o pořad vetknutý. Pořad č. 4 vede z bodu V8-2 (dříve z bodu 805) na bod V4.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [11][12]



**Obrázek 4: schéma nivelační sítě**

Zdroj: vlastní zpracování

### 2.3.2 Měření základních nivelační sítě

Výškový horizont i hlavní nivelační pořady jsou podle metodického návodu měřeny metodou velmi přesné nivelace I. řádu. Vše je měřeno digitálním nivelačním přístrojem Leica DNA03 s cílením na invarové nivelační latě Wild GPCL2. Program měření je nastaven na tzv. BFFB neboli zpět, vpřed, vpřed a zpět. Měření výškového horizontu a základních nivelačních bodů probíhá každý rok, před samotným sledováním objektů.

Měření každé etapy je trochu odlišné. Pro každou etapu budou popsány její specifika. Měření výškového horizontu v roce 2014 probíhala následovně. Byly měřeny dva nivelační pořady a to mezi body 23-22 a 221-22. Nivelační pořad 23-22 má sudý počet sestav. Nivelační pořad 221-22 má pouze jednu sestavu.

V roce 2014 byly nivelační pořady 2 a 3 měřeny tam i zpět během jednoho měření. Nivelační pořad číslo 2 má sudý počet sestav a to celkem 14 a nivelační pořad č. 3 má rovněž sudý počet sestav. Jejich počet je 8.

Volný nivelační pořad číslo 4 byl v roce 2014 měřen tam a zpět během jednoho měření. Tento nivelační pořad má tam i zpět 4 sestavy a je dlouhý bezmála 205 m.

V roce 2014 byl nivelační pořad číslo 1 měřen po jednotlivých oddílech. Tyto oddíly byly měřeny vždy tam a zpět během jednoho měření. V některých oddílech se objevuje lichý počet sestav, ale je dodržen stejný počet sestav tam i zpět. Pouze oddíl z bodu 804 na VH39 je oddíl, kde při měření tam i zpět byl určován třetí nivelační bod a to bod 805.



Výškový horizont v roce 2015 je měřen dvěma nivelačními pořady. Oba jsou měřeny tam a zpět a mají sudý počet sestav. Ovšem pokud by se měřilo pouze tam, měly by lichý počet sestav. Tento nedostatek není problém odstranit u nivelačního pořadu mezi body 22 a 221, kde je pouze jedna sestava a je možné použít jedné nivelační latě. Pokud ovšem je na pořadu mezi body 23 a 22 v jednom směru lichý počet sestav, může docházet k hromadění systematických chyb z nestejně délký laťového metru a nesouměrnosti patky latě.

Nivelační pořady 2 a 3 jsou v roce 2015 měřeny tam a zpět během jednoho měření. Nivelační pořad číslo 2 má tam i zpět 34 sestav a nivelační pořad č. 3 má tam i zpět 18 sestav.

Volný nivelační pořad číslo 4 byl v roce 2015 měřen tam a zpět během jednoho měření. Tento nivelační pořad má tam i zpět 4 sestavy a je dlouhý bezmála 200 m.

Nivelační pořad číslo 1 je v roce 2015 rozdělen do čtyř částí. První část, od bodu 22 do bodu NCHUV1, je měřena tam a v jiném měření zpět. Tak to je rovněž měřena třetí část pořadu, a to část mezi body SE2 a 442. Druhá část mezi body NCHUV1-SE2 a čtvrtá část 442-22 jsou měřeny rovnou tam a zpět. Další specifikou měření tohoto pořadu je nestejný počet sestav tam a zpět. V první části je během měření tam 26 sestav a během měření zpět 29. V druhé části pořadu je 11 sestav tam a zpět. Obdobně jako u první části pořadu je to i u třetí, kde tam je 21 přestav a zpět 27. A u poslední čtvrté části je celkem 45 sestav tam i zpět. Lichý počet sestav může mít na svědomí hromadění systematických chyb.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [11][12]

### **2.3.3 Sledování objektů**

Po přeměření výškového horizontu a hlavních nivelačních pořadů jsou měřeny jednotlivé objekty elektrárny. Objekty jsou rovněž měřeny velmi přesnou nivelací I. řádu a pomocí stejných pomůcek a přístrojů. Pro stanovení výsledků sledování některých objektů (např. kolejiště) stačí přesná nivelace.

Pro měření je vycházeno z nivelačního bodu, který je součástí jednoho z hlavních nivelačních pořadů. Poté je měřen uzavřený nivelační pořad okolo sledovaného objektu. Body na sledovaném objektu jsou rozmístěny tak, aby co nejvíce vystihly jeho případný posun či deformaci.

Účast na měření byla 14. 3. 2016, kdy bylo měřeno kolejiště a svah k zásobníku uhlí. Pro sledování posunů a přetvoření těchto objektů byla použita metoda přesné nivelace. Jako pomůcky byly použity invarové latě Wild GPCL2 a nivelační přístroj Leica DNA03. Pro měření byla v přístroji nastavena stejná přesnost, jaká je požadována VPN I. řádu, čímž je provedena kontrola a omezen vliv nepřesnosti měření. Připojovací body polygonových pořadů byly měřeny programem BFFB neboli zpět, vpřed, vpřed a zpět. Měření profilů

kolejiště bylo měřeno podobně jako u tachymetrie. Každá kolej byla v pravidelném intervalu zaměřena pouze jednou. Interval bodů profilů u budovy výklopníku a výhybek byl zmenšen z původního intervalu 20 m na 5 m. Takto byly zaměřeny všechny koleje.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [9][10][11][12][17]

### **3 Stávající a minulé metodiky měření a výpočtu**

Jedním z hlavních cílů této práce je posouzení stávajících a dosavadních metodik měření a výpočtu. Proto jsou v této kapitole popsány metodiky měření a výpočtů, které používaly minulé a současné geodetické útvary, které zpracování měření měly popř. mají na starost. Díky popisu těchto metodik bude možné posoudit vhodnost a správnost těchto metod a doporučit případné změny.

Značení směrodatných odchylek bude v této práci označeno písmenem  $m$ , které se obvykle používá pro označení střední chyby. Účelem je sjednocení používaných vzorců.

#### **3.1 Metodika měření ČEZ**

Celá tato kapitola je souhrn vybraných informací z metodického návodu stanoveného společností ČEZ.

Pro měření stavebních objektů a nivelačních bodů sestavila firma ČEZ a.s. metodiku, která je k dispozici z roku 2013. Samotné měření bylo prováděno firmou SMALL s.r.o. Metodika je vypracovaná pro zjištění řízeného stárnutí a životnosti objektů a zařízení.

Program řízeného stárnutí (dále PŘS) je určen pro měření posunů a deformací ve všech směrech na objektech nebo jejich částech oproti základní etapě vlivem různorodých podmínek.<sup>1</sup> Toto měření následně slouží pro posouzení chování základové půdy, určení skutečných posunů a následné odhadnutí průběhu přetvoření do budoucna. Tím je zajištěna funkce a bezpečnost stavebních objektů při provozu.

Podle metodiky je způsob vybudování výškové sítě stanoven následovně. Neoptimálnější vzdálenost bodů je 300 m až 1 km od sledovaných objektů. Pokud bylo měřeno na body ČSNS (Česká státní nivelační síť), musí být na tyto body dále měřeno.

Doporučená metodika měření je podle pravidel měření velmi přesné nivelace (viz metodický návod Zeměměřického úřadu [19]), které jsou ovšem upraveny pro potřeby měření v areálu elektrárny Chvaletice. Měření smí probíhat klasickými nivelačními přístroji

---

<sup>1</sup> Sedání objektu, stavební činnosti, stárnutí materiálu atd.

a pomůckami. Jedno převýšení musí být měřeno opakovaně, minimálně však čtyřikrát. Je-li však mezi určovanými body víc jak dvě postavení přístroje, musí se zvednout počet opakování (tam a zpět) o jedno. Délky záměr vpřed a vzad musí být stejně dlouhé. Jejich rozdíl nesmí být větší jak 1 m, při tom maximální délka záměry musí být 30 m. Za nepříznivých podmínek jako např. za silného větru nebo při otřesech nesmí být měřeno. Dále pro měření platí obecné zásady pro velmi přesnou nivelaci I. řádu. Tzn. chránění přístroje slunečníkem, střídání noh stativu na stanoviskách atd.

Všechna naměřená data musí být opravena o vlivy, které jsou zdrojem chyb. Jedná se hlavně o chyby z nesprávné délky laťového metru, oprava o sbíhavost tížnic a refrakce. K eliminaci a k následnému opravení naměřených výsledků musí být prováděno měření teploty (okolí, zdí objektů atd.) a komparace měřických přístrojů a pomůcek.

Správnost měření musí být kontrolována. Povolená odchylka mezi krajními hodnotami výsledků nesmí překročit mezní odchylku  $\delta_1$  vypočtenou ze vzorce:

$$\delta_1 = \pm 0,20\sqrt{2n} \quad (1)$$

Kde  $n$  ... počet přestav jedním směrem

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [8][19]

### 3.2 Metodika výpočtu ČEZ

Jak již bylo uvedeno o kapitolu dříve, tak před vyrovnání naměřených výsledků musí dojít k jejich korekci. V této kapitole bude zmíněn výpočet určení teplotního profilu podloží, koeficientu roztažnosti podloží a teplotní dilataci podloží.

Teplotní profil je charakterizován periodou probíhajících změn  $T$  a rychlostí pronikání teplotní vlny do podloží  $v$ . Teplotní profil je sestaven vždy pro daný měsíc, do hloubky tzv. neutrální teplotní zóny. Ta je uvedena v úvodním projektu. Perioda  $T$  a rychlost  $v$  se vypočtou:

$$T = \frac{L^2}{4\pi a} \quad (2)$$

$$v = \frac{4\pi a}{L} = \frac{1}{L} \quad (3)$$

Kde  $a$  ... teplotní vodivost země

$L$  ... vertikální vzdálenost mezi měřeným bodem a hladinou neutrální zóny

Pro určení koeficientu roztažnosti je nutné znát geologický profil určeného místa. Ten je získán z geologického posudku, který je součástí úvodního projektu. Průměrný koeficient roztažnosti podloží  $\alpha$  je vypočítán jako vážený průměr všech koeficientů roztažností jednotlivých vrstev pod zájmovým místem. Jako váha je uvažována mocnost vrstvy.

Nakonec jsou ze známých hodnot průměrné měsíční teploty a průměrného lineárního koeficientu roztažnosti podloží pro jednotlivé body VSVB (vztažná síť výškových bodů) vypočítány příslušné dilatační opravy.

$${}_aO = \alpha_z \cdot \Delta t_z \cdot h \quad (4)$$

Kde  $\alpha_z$  ... průměrný koeficient roztažnosti podloží

$\Delta t_z$  ... rozdíl průměrné teploty podloží ke konstantní teplotě (např. 15°C).

$h$  ... vertikální vzdálenost mezi měřeným bodem a hladinou neutrální zóny

Body výškového horizontu jsou vyrovnány pomocí váženého průměru. Každý pořad dostane váhu v závislosti na délce pořadu  $s$  (v kilometrech), počtu přestav přístroje  $n$  a na sedání objektu (je-li na něm bod umístěn). Výsledná váha převýšení je rovna součtu těchto dílčích vah.

$${}_1p = \frac{k_1}{s} \quad (5)$$

$${}_2p = \frac{k_2}{n} \quad (6)$$

Kde  $k_1$  ... volí se 500

$k_2$  ... volí se 8

$${}_3p = 1, {}_3p = 2, {}_3p = 3 \quad (7)$$

Hodnota  ${}_3p$  se volí podle toho, jedná-li se o těžké objekty, středně těžké nebo lehké objekty.

Z měření opravených o vliv chyb jsou dále vypočteny posuny sledovaných objektů a stálost nivelační sítě. Stabilita těchto nivelačních bodů je testována pomocí statistických hypotéz. Přesněji je testován rozdíl  $\Delta_i$  mezi jednotlivými etapami, kdy musí platit podmínka metody nejmenších čtverců, kde body získají váhy obdobně jako u určení vah výškového horizontu.

$$\sum \delta_i^2 = \min \quad (8)$$

Aby byla nestabilita prokázána, použije se statistický test, který prokáže změnu polohy jednotlivých vztažných bodů. V něm je používána hodnota normované normálně rozdělené náhodné veličiny neboli koeficientu konfidence  $u_p = 3$ . Poté jsou vyloučeny nestabilní body. Zbytek bodů je poté vyrovnán s podmínkou umístění na zbývající body vztažné sítě metodou nejmenších čtverců. Konečné vyrovnání bodů se provede i se zaměřenými body na sledovaných objektech.

Přesnost a prokazatelnost posunů je dána dosaženou hodnotou úplné výběrové směrodatné odchylky  $S_s$ , která se testuje mezní hodnotou výběrové směrodatné odchylky  $S_m$ . To je provedeno podle tohoto vzorce:

$$S_m = \sigma \left( 1 + \sqrt{\frac{2}{n}} \right) \quad (9)$$

Kde  $n$  ... počet nadbytečných měření  
 $\sigma$  ... základní směrodatná odchylka, vypočtená z hodnot  $\delta_1$

$$S_s = \sqrt{S_n^2 + S_c^2} \quad (10)$$

Kde  $S_n$  ... směrodatná odchylka zahrnující náhodné chyby  
 $S_c$  ... směrodatná odchylka zahrnující systematické chyby

Výsledkem sledovaných bodů je změněné převýšení bodů oproti předchozí etapě. Jedná se o neredukované výstupy. To znamená, že naměřená převýšení jsou opravena pouze o numerické korekce a opravy z vyrovnání. Výsledky je vhodné zobrazit graficky.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [8]

### 3.3 Provedení měření a zpracování firmou SMALL s.r.o.

Metodika o měření a výpočtech, sepsaná firmou ČEZ a.s., byla do roku 2013 prováděna firmou SMALL s.r.o. Další technické podmínky měření se řídí podle Zákona č. 200/1994 Sb. Zákona o zeměměřictví, v platném znění a jeho prováděcí vyhlášce č. 31/1995 Sb., v platném znění. Používaný výškový systém je Bpv<sup>2</sup> redukován o výsledky měření bodů VSVB.

Předmětem každého měření byly vždy stavební objekty, které byly určeny pro daný rok měření, dále body VSVB a body hlavních nivelačních pořadů.

Jelikož je pro určení srovnávací roviny VSVB požadována vysoká přesnost, bylo měření provedeno metodou velmi přesné nivelace I. řádu. Hlavní nivelační pořady byly měřeny rovněž stejnou metodou. Měření bylo provedeno rektifikovanými nivelačními přístroji Leica DNA03 a Wild NAK2 s optickým mikrometrem a příslušenstvím, mezi které patří zejména komparované nivelační latě s invarovým páskem a kódovou stupnicí resp. s dvojitou stupnicí.



**Obrázek 5: používané nivelační přístroje (zprava Leica DNA03, Wild NAK2)**

Zdroj: [23][24]

---

<sup>2</sup> Balt po vyrovnání/

Dosažená přesnost měření byla posouzena dle ČSN 73 0405 pomocí směrodatné odchylky měření  $m$ . Velikost směrodatné odchylky vyrovnané nivelační sítě společnosti Small je za rok 2013  $m = 0,3 \text{ mm}$  a za rok 2012  $m = 0,2 \text{ mm}$ . Pro určení velikosti přetvoření stavebních objektů je dosažená směrodatná odchylka měření v obou letech  $m = 0,1 \text{ mm}$ .

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [9][10][17] [19]

### **3.4 Metodika měření firmy Seven a.s.**

Měření VSVB a hlavních nivelačních pořadů pro firmu Severní energetická a.s. provádí odborný útvar měřictví a geoinformatiky. Při měření se tento útvar řídí technickými zprávami firmy SMALL a.s. a vnitřními předpisy elektrány. Dále zákonem č. 200/1994 Sb., v platném znění a jeho prováděcí vyhláškou č. 31/1995 Sb., v platném znění. Rovněž se řídí ČSN 73 0405 o měření posunů a přetvoření a ČSN 73 1001 o zakládání staveb.

V roce 2014 přebral měření nivelační sítě a sledování objektů odborný útvar měřictví a geoinformatiky firmy Seven a.s. Měřením byla pověřena Ing. S. Vojtíšková, která má oprávnění ÚOZI (úředně oprávněný zeměměřický inženýr). Jako metoda měření byla zvolena geometrická nivelace přesnosti velmi přesné nivelace I. řádu. Pro tuto přesnost byly zvoleny vhodné pomůcky a přístroje viz kapitola 2.3.2. V první fázi měření byla ověřována srovnávací rovina určená VSVB. Tyto body byly převzaty s předchozího vývoje nivelační sítě (viz kapitola 2.3.2). Použitou měřickou metodou je VPN přesnosti I. řádu.

V druhé fázi byly měřeny hlavní nivelační pořady, které slouží pro určení výškového horizontu. Hlavními nivelačními pořady jsou určeny přípojovací body, většinou určené na sledovaném objektu. Více o těchto pořadech kapitola č. 2.3.2. Nivelační pořady jsou rozmístěny tak, aby bylo možné použít vyrovnání zprostředkujících měření. Použitou měřickou metodou je VPN přesnosti I. řádu.

Ve třetí fázi dochází k zaměření sledovaného objektu. Body jsou rozmístěny na objektu tak, aby co nejvíce vystihly jeho případný posun či deformaci. Při měření je výchozím bodem vždy bod, který je součástí hlavního nivelačního pořadu. Použitou měřickou metodou je VPN přesnosti I. řádu stanovenou metodická návodem ZÚ.

Rozsah sledovaných objektů je stanoven objednatelem (elektrárna Chvaletice), ale měření VSVB a hlavních nivelačních pořadů proběhne vždy.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [11][12][17]

### 3.5 Metodika výpočtu firmy Seven a.s.

Výpočetní a statistické metody prováděné odborným útvarem měřictví a geoinformatiky firmy Seven a.s. se řídí metodikou zpracování sepsanými firmou ČEZ a.s. a aplikovanými firmou SMALL s.r.o. Další předpisy, kterými se výpočet řídí, jsou uvedeny v kapitole 3.4.

Nejprve je zpracována VSVB. Z měřených převýšení mezi body 22-23 a 22-221 je určena změna oproti předchozí etapě měření. Z této změny a váhy převýšení je stanoven redukovaný pokles viz obrázek. Z něho je určen celkový pokles a určena výška bodu 22.

Rovněž je stanovena charakteristika přesnosti výškového horizontu. Je určena směrodatná odchylka dvakrát měřeného převýšení, měřeného tam a zpět  $m_x$ . Před tím je potřeba určit váhy. Ty jsou určeny podle mírně upravených vzorců (5) a (6):

$$p = \frac{0,25}{s} + \frac{6,25}{n} \quad (11)$$

Kde  $s$  ... délka pořadu v km  
 $n$  ... počet přestav

Po výpočtu výškového horizontu jsou spočteny hlavní nivelační pořady. Pro 1. nivelační pořad, který je uzavřený, je vypočten výškový uzávěr. U dalších nivelačních pořadů je spočten rozdíl tam a zpět. Váhy pro každé převýšení, jednotlivých pořadů, jsou vypočteny váhy podle vzorce (11).

Všechny polygonové pořady jsou následně vyrovnány dohromady. Způsob vyrovnání je proveden metodou nejmenších čtverců (MNC) zprostředkujících měření. Do vyrovnání vstupují všechna naměřená data, která projdou kontrolou. Kontrola se skládá z určení mezní odchylky mezi měřeními tam a zpět a s touto mezní odchylkou jsou porovnány dosažené odchylky jednotlivých pořadů. Následně jsou určeny svislé posuny sledovaných objektů.

Požadovaná přesnost svislých posunů je dána mezní odchylkou posunu  $\delta_1 = 0,5 \text{ mm}$ . Z této mezní odchylky je určena směrodatná odchylka  $m_j$  určená ze vzorce:

$$m_j = \frac{\delta_1}{t} \quad (12)$$

Kde  $t$  ... interval konfidence ( $t = 3$ )



Dosažená přesnost je poté posouzena hodnotou úplné směrodatné odchyly  $S_S$ , která je testována mezní hodnotou výběrové směrodatné odchyly  $S_m$ . Tyto odchyly jsou určeny vzorci (9) a (10).

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [11][12]

## **4 Měřické metody**

Aby bylo možné provádět analýzy sledování chování stavebních objektů, musí dojít k zaměření potřebných dat a zjištění dalších podstatných informací. Geodézie zná a používá spoustu měřických metod, které poskytují některá potřebná data. Z geodetického hlediska sledování stavebních objektů je zaměřeno na měření jejich posunů a přetvoření. Pro vysvětlení specifiky těchto měření jsou níže uvedené kapitoly.

### **4.1 Měření posunů a přetvoření**

V této kapitole bude pojednáno o měření a stanovení posunů a přetvoření. Metody výpočtu dosavadních a nových metod výpočtu nivelační sítě totiž určují posuny nivelační sítě a správné prokázání či neprokázání posunu je proto stěžejní.

Každý stavební objekt se po dokončení stavby nějak chová a pracuje. Jinými slovy se může posouvat či deformovat. Je to způsobeno mnoha vnitřními, ale i vnějšími vlivy. Důležité ovšem je zjistit zda posuny a deformace na stavebním objektu jsou bezpečné a předpokládané nebo zda došlo k nějaké chybě a může dojít až ke kolapsu stavby. Pro zjištění a stanovení těchto informací je nutná mezioborová spolupráce. Pro geodeta to znamená měření a vyhodnocení přesnosti měření posunů a přetvoření.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [14][15]

#### **4.1.1 Účel a cíle měření posunů a deformací**

Cílů měření posunů a deformací je více. Může se jednat o měření během provozu, kdy je sledována funkční spolehlivost a bezpečnost, což je hlavní náplň této práce.

Pro sledování spolehlivosti a bezpečnosti je důležité získávat podklady o chování podloží a ověřovat měření teoretické statické výpočty. Dále pak sledovat a vyhodnotit vliv mnoha fyzikálních faktorů na sledovaném objektu. Celkovým výsledkem je tedy vyhodnocení a předpověď posunů a deformací.

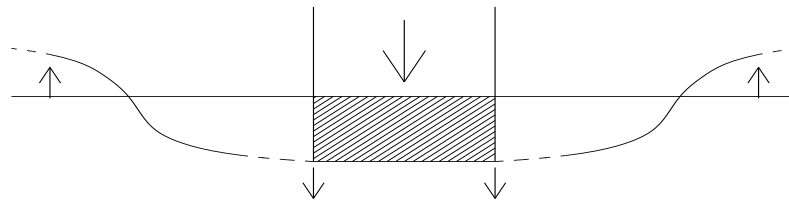
Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [14][15][17]

#### 4.1.2 Hlavní příčiny posunů a deformací

Příčin a vlivů, které mají vliv na stavební konstrukci objektu, je mnoho. Ty způsobují dočasné nebo trvalé poklesy či zdvih základů stavebních objektu či deformaci jeho stavební konstrukce.

Na přetvoření a posuny mají hlavní vliv dvě skupiny. První skupinou vlivů jsou spojené s geologickými a hydrologickými podmínkami a fyzikálně mechanickými vlastnostmi podloží. Zde závisí hlavně na přítomnosti podzemní vody, velikosti a tvaru základů, hmotnosti samotné stavby a typ podloží.

Druhou skupinou jsou vlivy, které souvisejí s nejistotou v geologickém průzkumu. Do této skupiny rovněž patří stupeň promrzání či okolní stavební činnost nebo jiné zatížení resp. odlehčení okolí.



**Obrázek 6: znázornění stlačitelnosti podloží**

Zdroj: [15]

Nejčastějším fyzikálně mechanickým vlivem ovlivňujícím chování staveb je stlačitelnost podloží. To se značně liší podle typu a mocnosti základové půdy. Zatímco štěrkopísky jsou prakticky nestlačitelné, tak hlína je naopak velmi stlačitelná. Pokud dojde k většímu zatížení, je silou základová zemina vytlačována do stran. Dojde-li k rovnováze mezi smykovými silami pod základy a odporem zeminy hovoříme o kritickém zatížení. Proto kvůli bezpečnosti musí být zatížení základů až několikanásobně nižší.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [14][15][17]

#### 4.1.3 Základní pojmy

Jako v každé specifické činnosti, tak i u určování posunů a přetvoření je specifické názvosloví. V této kapitole bude stručné vysvětlení, některých používaných pojmů.

*Posunem* je označována prostorová změna v poloze stavebního objektu či jenom jeho části. Změna je posuzována vůči předchozí nebo základní etapě měření.

*Přetvoření* neboli *deformace* je jev, kdy nastává změna konstrukce stavebního objektu oproti základní nebo předchozí etapě sledování. Při posunu ovšem nemusí nutně dojít k deformaci, ale u konstrukcí většího rozsahu dochází k oběma jevům současně.

*Sedání* je posun dolů ve směru osy Z. Opakem sedání je zdvih. Jedná se o posun nahoru ve směru osy Z. *Sesuv* je jev, který vzniká důsledkem zemské tíže na materiál narušených svahů.

Dalšími důležitými pojmy jsou *absolutní* a *relativní posun*. Absolutní posun je zjištěn v soustavě, která není vázána na sledovaný objekt. Oproti tomu relativní posun je vyjádřen k vztažné soustavě nebo vztažnému bodu. Určuje změny v poloze jednotlivých částí objektu.

Důležitou součástí pojmů je vysvětlení bodů. *Vztažný bod* je bod, který je polohově případně výškově určen, a jsou k němu vztaženy posuny. *Pozorovaný bod* je umístěn na sledovaném objektu a s jeho pomocí se určují případné posuny nebo deformace objektu. *Prověřovací bod* je označován také jako zajišťovací. Jedná se o vztažný bod, který slouží k ověření stálosti jiných vztažných bodů. Bod, z kterého se vychází s připojením zjišťovaných parametrů, se nazývá bod připojovací.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [14][15][17]

#### **4.1.4 Měření a přesnost posunů a deformací**

Před samotným měřením musí být vyhotoven projekt, který obsahuje charakteristiku měření posunů a přetvoření pro daný objekt. Na zpracování se podílí hlavní projektant, statik, geolog, dodavatel technologií a geodet. Cílem vypracovaného projektu je stanovení účelu a významu měření. Rovněž stanovuje periodicitu měření a jeho dosaženou přesnost. Navrhuje metody a rozbor přesnosti. Projekt rovněž stanovuje hodnoty předpokládaných posunů a přetvoření v závislosti na čase. Jednoduše řečeno projekt měření a přetvoření je taková „kuchařka“ pro výkon měřických, výpočetních a vyhodnocujících prací a je důležité ho dodržovat.

Podle velikosti a charakteru posunů za určitý čas a účelu měření je projektována jeho přesnost. Přesnost měření posunů je dostatečná pokud za minimálních nákladů dosáhnou účelu měření. Podle ČSN 73 04 05 je uveden poměr mezi kritickým posunem a směrodatnou odchylkou měření u nových staveb a u již požívaných. Tento poměr je 1/15 u nových objektů a 1/5 u stávajících objektů. Veškeré otázky přesnosti by měly být konzultovány s projektantem či statikem.

Na přesnost měření navazuje i časové rozvržení etap. To by mělo být rozvrženo tak, aby očekávaný posun a přesnost měření byly v souladu. U staveb, které jsou v provozu, se interval etap měření volí v závislosti na charakteru objektu, geologických podmínkách a předchozímu vývoji měření.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [14][15][17]

#### **4.1.5 Metody měření posunů a deformací**

Metody měření posunů a deformací závisí na cíli, charakteru a požadované přesnosti měření. Z hlediska směru posunů lze metody rozdělit do tří kategorií. Jedná se o metody pro učení svislých, vodorovných a prostorových posunů a deformací.

Pro svislé posuny (jedná se o posuny v ose Z) se používají tyto metody: hydrostatická nivelace, geometrická nivelace, trigonometrická měření, fotogrammetrické metody, fyzikální metody a metody GNSS<sup>3</sup> a dálkového průzkumu Země (DPZ). Nejpresnější metodou pro určení svislých posunů je hydrostatická nivelace, ale ta má problém s dosahem na větší vzdálenost. Metody fotogrammetrie, GNSS a DPZ jsou méně přesné ale vhodné pro velká území. Nejpoužívanější metodou pro určení svislých posunů je geometrická nivelace.

Vodorovné posuny jsou zjišťovány v ose X nebo Y a případě v obou. Mezi tyto metody patří záměrná přímka, polygonové pořady, úhlové popřípadě délkové protínání, pozemní fotogrammetrie, fyzikální metody a metody GNSS a DPZ.

Prostorové určení deformací a posunů je většinou kombinací metod pro určení svislých a vodorovných posunů. Při této kombinaci je každá složka posunu určena zvlášť. Přesto jsou metody, které zvládají současně určit posuny ve všech směrech. Jedná se o dnes velmi využívanou prostorovou polární metodu. Dále pak metody pozemní fotogrammetrie, GNSS, DPZ a stále více se prosazuje metoda laserového 3D skenování.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [14][15][17]

#### **4.1.6 Měření svislých posunů a deformací**

V této práci bude převážně mluveno o svislých posunech a deformacích. Ty jsou hlavně způsobeny geologickými podmínkami. Posuny se projevují jak sedáním, tak zdvihem. Svislé posuny v poddolovaném území se nazývají pokles. Tyto posuny a deformace jsou charakterizovány jako změna po svislé ose Z a jsou značeny  $\Delta z$ .

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [14][15][17]

---

<sup>3</sup> Globální navigační satelitní systémy

## 4.2 Geometrická nivelace

Aby bylo možné stanovit hodnoty svislých posunů a přetvoření, musí být použito patřičné měřické metody, která dosahuje požadované přesnosti. Jak již bylo uvedeno v kapitole výše, jedna z vhodných metod pro určení převýšení a stanovení svislého posunu  $\Delta z$ , kterou je možno použít pro danou oblast, je geometrická nivelace.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [4][5][14][19]

### 4.2.1 Přesnost geometrické nivelace

V metodických návodech ZÚ je stanovena nejen přesnosti geometrické nivelace, ale i podmínky a návody k dosažení dané přesnosti. Jedná se o tyto kategorie přesnosti:

- Technická nivelace (TN)
- Přesná nivelace (PN)
- Velmi přesná nivelace (VPN)
- Zvlášť přesná nivelace (ZPN)

Technická nivelace z daných metod dosahuje nejnižší přesnosti. Slouží k určení výšek a převýšení řádově několika milimetrů. Pro aplikaci v měření svislých posunů se kvůli její nízké přesnosti téměř nepoužívá.

Pro měření svislých posunů a deformací se nejvíce používá přesná a velmi přesná nivelace. Přesnost pořadové PN a VPN je pro měření v české stání nivelační síti dáno mezním rozdílem mezi měřením tam a zpět. Ty jsou stanoveny do I.-IV. řádu. III. a IV. řád jsou pro PN a oba vyšší řády jsou určeny pro VPN.  $\Delta_{max}$  je jako v předchozím případě uváděna v milimetrech.

**Tabulka 1: mezní odchylky pro pořadovou nivelaci I.-IV. řádu**

I. řád	II. řád	III. řád	IV. řád
$1,5 \cdot \sqrt{R}$	$2,25 \cdot \sqrt{R}$	$3,0 \cdot \sqrt{R}$	$5,0 \cdot \sqrt{R}$

Zdroj: [19]

Kde  $R$  ... délka nivelačního oddílu v kilometrech

Přesnost PN je rovněž dána kilometrovou směrodatnou odchylkou obousměrné nivelace. Její hodnota pro podmínky PN je  $0,3 \text{ mm} < m_0 \leq 1,5 \text{ mm}$ . A pro VPN je kilometrová směrodatná odchylka  $m_0 \leq 0,3 \text{ mm}$ .

Občas je používána metoda ZPN. Ta je prováděna stejnými pomůckami a přístroji jako VPN. Jenže využívá přísnější parametry danými v projektu měření posunů.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [4][5][14][19]

#### 4.2.2 Princip metody geometrické nivelace

V geometrické nivelaci se uplatňují dvě metody. První metodou je nivelace kupředu. Ta je kvůli svému principu měření zatížena systematickými chybami a to hlavně chybou z nevdorovnosti záměrné přímky, protože nivelační přístroj je postaven na jednom bodě a vliv nevdorovnosti záměrné přímky se projeví plnou vahou.

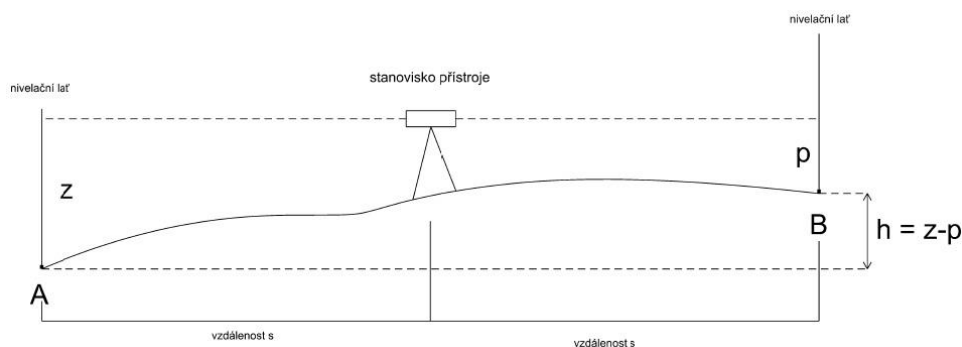


**Obrázek 7: nivelace kupředu**

Zdroj: vlastní zpracování, inspirováno [18]

Druhou a používanější metodou je metoda nivelace ze středu. Její princip je založen na umístění nivelačního přístroje ve středu sestavy, mezi dvěma body, na kterých jsou nivelační latě. Jeli mezi určovanými body delší vzdálenost, nezbyvá než učinit více sestav, čímž vznikne tzv. nivelační oddíl. Výsledné převýšení je rozdíl sum čtení vzad (z) a vřed (p) jednotlivých sestav:

$$h_{AB} = \sum z - \sum p \quad (13)$$



**Obrázek 8: nivelace ze středu**

Zdroj: vlastní zpracování, inspirováno [14]

Výhodou geometrické nivelace ze středu je omezení vlivu řady chyb. Mezi ně patří nevdorovnost záměrné přímky. Tato chyba je odstraněna postavením přístroje ve středu záměry. Poté se chyba  $\Delta$  projeví na čtení vpřed i vzad stejně a díky tomu je ve výpočtu převýšení  $h$  odstraněna.

$$h_{AB} = (z + \Delta) - (p + \Delta) \quad (14)$$

Během pořadové nivelace ze středu je možné udělat boční záměry. Ty jsou měřeny během nivelační sestavy. Pro kontrolu je dobré určit bod bočně z několika sestav a ten pak zprůměrovat. Bočně určený bod je vypočten z výšky horizontu přístroje. Na rozdíl od nivelace ze středu je použití bočních záměr zatíženo vlivem systematických chyb.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [4][5][14][19]

#### 4.2.3 Chyby nivelačních přístrojů a pomůcek

Jak je patrné z předchozí kapitoly, je nejvýznamnějším problémem nivelace nevdorovnost záměrné přímky. Většina dnešních digitálních přístrojů umí zavést opravu z nevdorovnosti záměrné přímky přímo do měření. Pro zjištění chyby  $\Delta$  se provádí polní zkouška přístroje. Nejčastěji se používá Förstnerova metoda. Při ní se v rovinném terénu vyměří vzdálenost mezi laťmi a rozdělí se na třetiny. Nejprve proběhne čtení vpřed a vzad v první třetině. Poté ve druhé. Chyba nevdorovnosti záměrné přímky  $\Delta$  je zjištěna ze vzorce:

$$h_a = a_1 + \Delta + a_2 + 2\Delta, h_b = b_1 + \Delta + b_2 + 2\Delta \Rightarrow \Delta = \frac{h_a + h_b}{2} \quad (15)$$

Kde  $a$  ... čtení v první třetině sestavy ( $a_2$  je čtení na vzdálenější lať)

$b$  ... čtení v druhé třetině sestavy ( $b_2$  je čtení na vzdálenější lať)

Pokud již známe chybu nevdorovnosti záměrné přímky  $\Delta$  můžeme určit opravu na jeden metr délky záměry. Ta se vypočte ze vzorce:

$$o_m = \frac{3\Delta}{s} \quad (16)$$

Kde  $s$  ... délka sestavy pro určení opravy

Další chyba u digitálních nivelačních přístrojů může nastat v přeostření přístroje na nivelační lať. Tuto chybu lze anulovat správným rozměřením záměr.

Důležitým vlivem na výslednou přesnost je komparace nivelační latě. Samotná nivelační lať může mít spoustu vlivů, které negativně ovlivňují výsledek měření. Kvůli tomu je nutná správná komparace latě pře měřením.

Jednou z chyb u nivelačních latí je nesprávná délka laťového metru. V tomto případě se jedná o rozdíl mezi hodnotou příslušného úseku na lati a hodnotou zjištěnou při kalibraci. Její velikost lze zjistit ve specializovaných zařízeních interferometrem nebo optickomechanickým komparátorem.

Nerektifikovaná krabicová libela má rovněž negativní vliv na výsledné měření. Způsobuje chybu z nesvislosti nivelační latě. Proto je nutné krabicovou správně rektifikovat.

Další chybou nivelační latě je, že nula neleží v patě latě. Zde nastává nebezpečí u používání dvou latí. Kde pravděpodobně nastane případ, že každá má nulu trochu někde jinde. Odstranění tohoto problému je v metodice měření. Při použití dvou latí musí být dodržen sudý počet sestav.

I vliv teploty na lať je nezanedbatelný. I když jsou sice používána latě s invarovou<sup>4</sup> stupnicí, přes to může změna délky 2 m latě při změně teploty o 10°C činit až 0,024 mm. Záleží ovšem na druhu invaru používaného výrobce. Což je hodnota, která se nedá zanedbat pro velmi přesné práce. Tuto chybu lze eliminovat početně ze známé délkové roztažnosti.

Další dvě jmenované chyby jsou způsobené vnějšími podmínkami a jejich odstranění je spíše záležitostí použité měřické metody. Týká se to chyby ze zakřivení horizontu a chyby z nivelační refrakce.

---

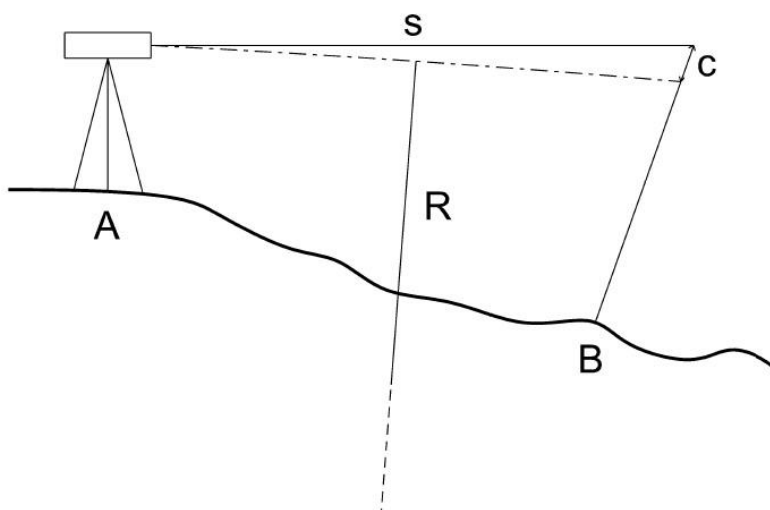
<sup>4</sup> Invar je slitina s malou délkovou roztažností



Chyba ze zakřivení horizontu je rozdíl  $c$  mezi zdánlivým horizontem, který je uskutečněn nivelačním přístrojem, a skutečným horizontem, na který má vliv zakřivení Země. Opravu lze zavést početně podle následujícího vztahu:

$$c = \frac{s^2}{2R} \quad (17)$$

Kde  $s$  ... délka záměry  
 $R$  ... poloměr Země



**Obrázek 9: chyba ze zakřivení horizontu**

Zdroj: vlastní zpracování, inspirováno [18]

Chyba ze zakřivení horizontu je eliminována použitím geometrické nivelace ze středu. U některých moderních nivelačních přístrojů je možné opravu ze zakřivené  $c$  nastavit.

Chyba z nivelační refrakce postihuje každé měření. Je dána rozdílem teplot nad terénem. Změna teplotních vrstev ovlivňuje průběh paprsku mezi dalekohledem přístroje a nivelační latí. Pokud je terén rovinný a homogenní (v záměře se nestřídá více různých ploch např. tráva, asphalt, voda), je možné považovat teplotní gradient za konstantní. Tím pádem se uplatní na obou čtení stejně. Částečně ji eliminuje geometrická nivelace ze středu a dodržení minimální výšky záměry nad terénem.

Nejlepším způsobem eliminace chyb a zaručení správnosti a vysoké přesnosti měření je nechávat před každou etapou měření nechat přístroje a pomůcky kalibrovat.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [4][5][14][19]

#### 4.2.4 Určení přesnosti nivelace

Značení směrodatných odchylek bude v této práci označeno písmenem  $m$ , které se obvykle používá pro označení střední chyby. Účelem je sjednocení používaných vzorců.

Každé měření vykazuje nějakou přesnost a při měření tam a zpět nesmí být překročen mezní rozdíl. Pro velmi přesnou nivelaci I. řádu měřenou v ČSNS je mezní rozdíl nivelačního oddílu určen v tabulce 1. Pro celý nivelační pořad měřený v ČSNS je mezní rozdíl stanoven:

$$\Delta_M = 1,5 \cdot \sqrt[3]{L^2} \quad (18)$$

Kde  $L$  ... délka celého nivelačního pořadu v km

Pro dosažení vysoké přesnosti sledovaných bodů je důležitá stabilita vztažných bodů. Nejnižší počet vztažných bodů by měl být tři, protože tak je možné měřit dvě kontrolní převýšení. Ve vnitřních prepisech jako v tomto případě je minimální počet vztažných bodů vyšší. Na rozdíl od běžné pořadové nivelace lze pro posouzení přesnosti vyjít ze směrodatných odchylek samotného převýšení nebo sestavy. Směrodatná odchylka pro nivelační sestavu (měřeno tam a zpět) se vypočte:

$$m_h = m_0 \sqrt{S} \quad (19)$$

Kde  $S$  ... délka nivelační sestavy v km

$m_0$  ... směrodatná kilometrová odchylka

Pro určení směrodatné odchylky nivelační sestavy je nutné znát samotnou kilometrovou směrodatnou odchylku celého nivelačního pořadu. Ta se vypočte:

$$m_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1 \sum \rho_i}{n L}} \quad (20)$$

Kde  $L$  ... délka celého nivelačního pořadu v km  
 $\rho_i$  ... rozdíl mezi měření tam a zpět  
 $n$  ... počet nivelačních oddílů

Ze znalosti těchto směrodatných odchylek je možné určit mezní rozdíl mezi etapami měřených nivelačních pořadů:

$$\Delta_M = \sqrt{2} \cdot u_p \cdot m_h \cdot \sqrt{n} \quad (21)$$

Kde  $n$  ... počet nivelačních přestav  
 $u_p$  ... koeficient spolehlivosti (pro práci v nivelační síti elektrárny je volen 3)

Mezní rozdíl mezi měření tam a zpět je po uplatnění zákona hromadění směrodatných odchylek roven:

$$\Delta_M = \sqrt{2} \cdot u_p \cdot \sqrt{2} \cdot m_h \cdot \sqrt{n} = \sqrt{2} \cdot u_p \cdot m_{h0} \cdot \sqrt{n} \quad (22)$$

Kde  $n$  ... počet nivelačních sestav  
 $u_p$  ... koeficient spolehlivosti (pro práci v nivelační síti elektrárny je volen 3)  
 $m_{h0}$  ... směrodatná odchylka v jedné nivelační sestavě, určená pro jeden směr

Pokud je měřen uzavřený nivelační pořad, tak se hodnotí výškový uzávěr tohoto uzávěru. Ten se vypočte z průměru měření tam a zpět a je porovnán s mezní odchylkou uzávěru vypočtenou následovně:

$$U_M = u_p \cdot m_h \cdot \sqrt{n} \quad (23)$$

Kde  $n$  ... počet nivelačních přestav  
 $u_p$  ... koeficient spolehlivosti (pro práci v nivelační síti elektrárny je volen 3)

Jestli jsou všechny přestavové body v nivelačním pořadu stabilizované, vypočte se výběrová směrodatná odchylka jednoho převýšení v jednom směru z rozdílů tam a zpět:

$$S_{h0} = \sqrt{\frac{\sum(\rho_i)^2}{2n}} \quad (24)$$

Kde  $n$  ... počet nivelačních přestav  
 $\rho_i$  ... rozdíl mezi měřeními tam a zpět

Velikost výběrové směrodatné odchylky  $S_{h0}$  má odpovídat velikosti základní směrodatné odchylky  $\sigma_{h0}$ . To je nutné otestovat. Jako test se provede posouzení kritéria mezní výběrové směrodatné odchylky, kdy  $S_{h0} \leq S_{mh}$ . Mezní výběrová směrodatná odchylka se vypočte ze vzorce:

$$S_{mh} = m_{h0} \cdot \left( 1 + \sqrt{\frac{2}{n'}} \right) \quad (25)$$

Kde  $n'$  ... počet nadbytečných měření

Pokud je, jako případě této práce, měřena celá nivelační síť musí být vyrovnána. Pak nepostačují přesnosti vypsané výše, ale posouzení stability vztažných bodů je nutné provést rozdílem mezi jednotlivými etapami. Následující vzorec je univerzální. Platí pro porovnání nulté etapy s n-tou, tak jako v případě vzorce pro dvě po sobě jdoucí etapy.

$$\Delta_{Mp} = u_p \cdot \sqrt{m_{h1}^2 + m_{h2}^2} \quad (26)$$

Kde  $m_{hi}$  ... směrodatná odchylka i-té etapy  
 $u_p$  ... koeficient spolehlivosti (pro práci v nivelační síti elektrárny je volen 3)

Pokud ovšem dojde k situaci, že přesnost obou etap je stejná nebo podle testování směrodatných odchylek je lze považovat za shodné, může být vzorec (26) upraven:

$$\Delta_{Mp} = u_p \cdot \sqrt{2} \cdot m_h \quad (27)$$

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [4][5][14][19]

#### 4.2.5 Velmi přesná nivelace

Každá z přesností nivelačních řádů měřená v ČSNS má svoji měřickou metodiku a doporučené pomůcky určeny tak, aby byla dodržena její přesnost. Tuto metodiku a doporučení je vhodné dodržet i u měření nevyskytujících se v ČSNS.

Před samotným měřením je nutné přístroj a veškeré pomůcky nechat dostatečnou dobu temperovat, aby nedošlo k chybám, které by se negativně projevíly na výsledku měření.

Měření by mělo probíhat v době klidného a zřetelného obrazu. Kvůli snížení refrakce by nemělo měření probíhat v době největšího teplotního rozdílu. To znamená okolo východu a západu Slunce. Proto by mělo měření začínat nejdříve půl hodiny po východu Slunce a končit by mělo nejpozději půl hodiny před jeho západem.

Měření směru zpět by mělo proběhnout jiný den a v jinou denní dobu než proběhlo měření směru tam. Tím je omezen vliv systematických chyb.

Během měření musí být brán zřetel i na určení délky záměr a výšky nad terénem. Délky záměr by měly být rozměřeny dopředu s přesností na 0,1 m. Největší povolená délka záměry je 40 m s výškou 0,8 m nad terénem. Pokud jsou délky záměr kratší než 20 m, lze snížit výšku záměry nad terénem až na 0,4 m. Snížení výšky záměry je přímo úměrné její délce.

Pro splnění podmínek přesnosti VPN I. řádu musí být použit vhodný nivelační přístroj. Přístroj musí splňovat minimální přesnost danou kilometrovou směrodatnou odchylku  $m_0 = 0,37 \text{ mm}$ . (Přístroj Leica DNA03 tuto podmínku splňuje. Má kilometrovou směrodatnou odchylku  $m_0 = 0,30 \text{ mm}$ )

Použitý stativ by měl mít pevné nohy. Nejlépe z těžkého materiálu např. ze dřeva. Tím se zvyšuje stabilita stativu a naopak snižují negativní vlivy způsobené povětrnostními podmínkami.

Na jednotlivých přestavách přístroje je vhodné měnit směr noh stativu, což opět eliminuje vliv systematických chyb.

Kvůli vlivu osvětlení a nárazům větru do přístroje je důležité ho chránit. Proti vlivu osvětlení je nejlépe používat slunečník. Ten by měl ochránit nejen přístroj, ale i nohy stativu před kroucením a jiným pracováním způsobeným osluněním.

Měření je možné na jednu nebo dvě nivelační latě. Pokud je měřeno na dvě latě, musí mít nivelační oddíl mezi určenými body sudý počet přestav, to kvůli odstranění nestejného počátku v patkách latí.

Kontrola přesnosti měření v jedné sestavě je důležitá před další sestavou. Kontrola je rozdíl z dvakrát odečteného měření vpřed a vzad. Rovněž musí být kontrolována délka obou záměr. Jejich rozdíl by neměl překročit 0,5 m. Většina moderních digitálních nivelačních přístrojů umí tyto rozdíly posoudit přímo u měření. U těchto přístrojů je rovněž možné zadat přísnější požadavky.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [4][5][14][19]

## 5 Výpočetní metody

Aby bylo možné pochopit výpočty a jejich aplikaci na měřených datech je nutná tato teoretická kapitola. Ta rovněž může sloužit jako jakýsi návod pro samostatný výpočet.

Naměřená data je nutné vhodným způsobem vypočítat a vyhodnotit. Jenom tak je možné se dostat k požadovaným výsledkům a stanovit jejich přesnost. Z toho následovně vyhodnotit a odvodit tížené informace a závěry. Proto je nutné použít odpovídající výpočetní a statistické metody.

Značení směrodatných odchylek bude v této práci označeno písmenem  $m$ , které se obvykle používá pro označení střední chyby. Účelem je sjednocení používaných vzorců.

### 5.1 Vyrovnání měření

Naměřených dat je většinou více, než je nutné minimum, neboť „jedno měření žádné měření“. Z toho důvodu musí být výsledná veličina z onoho nadbytečného množství měření správně určena. Nejvhodnějším způsobem k docílení těchto výsledků je použít metod vyrovnání.

#### 5.1.1 Vyrovnání měření obecně

Aby bylo možné vyloučit hrubé chyby a zvýšit konečnou přesnost výsledku nebo pokud v souboru měření je měření více nebo se jedná o hodnoty ve vzájemném vztahu, tak se tam objevují nadbytečná měření. To znamená více hodnot než je pro výpočet určované veličiny potřeba. Jestli tedy dojde k některé z výše uvedených variant, nemá úloha jednoznačné řešení, a tudíž je nutné provést vyrovnání.

Vyrovnáním je umožněno jednoznačně vypočítat hledané hodnoty. Dále odhadne přesnost jejich určení a umožní získat spolehlivější či přesnější veličiny než u výpočtu z nutných měření.

Úkolem vyrovnání tedy je vypočítat odhad hodnot měření a anulovat nesrovnalosti ve vztazích měření. Z rozporů mezi jednotlivými výsledky je důležité odhadnout přesnost použitých metod měření a přesnost metod měření. Další úkolem je příprava uspořádání výpočtů, aby byl proveden mechanický výpočet a zajištěn vhodné početní metody.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [6][13]

### 5.1.2 Metody vyrovnání

Vyrovnání lze provést různými způsoby. Často užívaný způsob je vyrovnání tzv. přímých měření. To nastává v okamžik, kdy zjišťovaná veličina byla měřena několikrát nezávisle za sebou např. opakovaně měřené úhly nebo převýšení.

Nejjednodušším způsobem vyrovnání přímých měření je aritmetický průměr, který je možný aplikovat na dvakrát i vícekrát měřené veličiny, které jsou měřeny za přibližně stejných podmínek a mají stejné nebo alespoň velice podobné váhy. Příkladem takového měření je geometrická nivelace měřená tam a zpět nebo metodou BFFB. Výsledkem je průměrné převýšení. Obdobou tohoto vyrovnání je vážený průměr.

Dalším způsobem je vyrovnání zprostředkujících měření. Zde se neznámé veličiny neměří přímo, ale jsou určeny pomocí přímých měření. Jiným užívaným způsobem je vyrovnání podmínkové. Zde probíhá rovněž vyrovnání přímých měření, ale určované veličiny musí splnit předem danou matematickou nebo geometrickou podmínku. Takovým případem je součet převýšení v uzavřeném nivelačním pořadu musí být roven 0.

Všechny výše uvedené způsoby vyrovnání jsou aplikovány metodou nejmenších čtverců. Tato metoda je v geodézii nejpoužívanější. MNČ při splnění určitých předpokladů dává nejmenší opravu určovaných parametrů.

Další metody využívané v geodézii plní úlohu spíše doplňkovou. Jedná se o metody robustního odhadu nebo metodu minimax, která je použita pro měření v zadaných tolerančních intervalech. Při řešení metody minimax se hledá maximální možná chyba, která je ze všech maximálních ta nejmenší.

Pro tuto práci je nejvhodnějším vyrovnání zprostředkujících veličin. Popřípadě pro určení výšek bodů na volných nivelačních pořadech je možné použít dvojici měření.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [6][13]

### 5.1.3 Metoda nejmenších čtverců

Podmínkou metody nejmenších čtverců neboli MNČ je, taková aby kvadrát oprav určované veličiny byl co nejmenší.

$$\Omega = [\hat{v}\hat{v}] = [pvv] = v^T \cdot P \cdot v = \min \quad (28)$$

Kde  $P$  ... matice vah  
 $v$  ... vektor oprav

MNČ se používá, pokud máme sadu měření a to i třeba opakovaných, kde každé má různě přesný výsledek  $l_i$ . Pokud u měření předpokládáme, že se jedná o náhodný výběr ze souboru možných hodnot, pak zjištěné výsledky tvoří neúplný soubor informací o skutečných hodnotách  $L$ . Tyto hodnoty jsou zatíženy skutečnými chybami  $\varepsilon$  naměřených dat.

$$L = l + \varepsilon \quad (29)$$

Skutečné chyby nelze ze samotného měření vyjmout a tím pádem ani soubor skutečných hodnot nelze určit. Jsme ale schopni aproximací zjistit opravu mezi vyrovnanou a naměřenou veličinou.

Následující výpočet je pro každý typ a druhu úlohy (viz kapitola 5.1.2) jiný. Ovšem při všech typech úloh musí být plněna podmínka (28).

Důležitou součástí vyrovnání MNČ je určení vah dílčích měření a sestavení matice vah. Váha je poměrné číslo, které vypovídá o kvalitě dosaženého výsledku měření. Cílem je aby přesnější měření se ve vyrovnání uplatnila více než měření nedosahujících takové přesnosti. Dosažení tohoto cíle dosáhneme určením vah v závislosti na směrodatné odchylce dílčích měření.

$$p_i = \frac{K}{\bar{m}_i^2} \quad (30)$$

Kde  $K$  ... vhodně zvolená konstanta  
 $\bar{m}_i$  ... směrodatná odchylka měření



Pokud teoreticky zavedeme takové měření, kterému odpovídá  $p_0 = 1$ , potom můžeme za konstantu  $K$  zvolit jednotkovou směrodatnou odchylku  $\bar{m}_o$ .

$$p_i = \frac{\bar{m}_o^2}{\bar{m}_i^2} \quad (31)$$

Pro měření převýšení jsou váhy přímo úměrné délce nivelovaného úseku a po dosazení do vzorce (31) se dostaneme k obdobě (11).

Váhová matice, která je nutná pro MNČ, je diagonální matice, kde se na diagonále nacházejí váhy k jednotlivým měřením.

$$P = \begin{pmatrix} p_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & p_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & p_n \end{pmatrix} \quad (32)$$

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [6][7][13]

#### 5.1.4 Soubor dvojic měření

Při geometrické nivelaci se často počet opakovaných měření redukuje na dvě. V případě na dvojici měření tam a zpět. Pokud jsou obě měření provedena stejnými přístroji a za stejných podmínek je výsledkem aritmetický průměr a směrodatnou odchylku měření lze vypočítat ze vzorce:

$$m_o = \sqrt{\frac{\sum \rho_i^2}{n}} \quad (33)$$

Kde  $n$  ... počet měření

$\rho_i$  ... rozdíl mezi měřeními tam a zpět

Může se ovšem stát, že měření je provedeno za různých podmínek, různými přístroji, je použit jiný počet sestav atd. Proto musí být pro jednotlivá měření zavedeny váhy. Výsledkem je vážený průměr a vzorec (33) pro výpočet směrodatné odchylky se upraví následovně:

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum p_i \rho_i^2}{n}} \quad (34)$$

Kde  $p_i$  ... váha jednotlivých měření

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [6][13]

### 5.1.5 Vyrovnání zprostředkujících měření

Tento způsob vyrovnání je vhodný pro výpočet hodnot veličiny, které nejsou určeny přímo. Často je využíván pro výpočet vázané sítě, kde výsledkem jsou souřadnice, které ale přímo měřit nelze.

Máme nějakou množinu měření  $L$ , která nám ideálně vypovídá o hodnotách hledaných veličin. Jenže ideální soubor měření nemáme nikdy, protože ta to měření jsou zatížena skutečnými chybami. O skutečných chybách nevíme prakticky nic. Neznáme jejich skutečnou velikost ani znaménko. Ale za pomoci aplikace znalostí z teorie chyb lze upravit vztah mezi skutečnými chybami a opravami. Tento vztah vypadá takto:

$$L = \bar{l} = l + v \quad (35)$$

Kde  $\bar{l}$  a  $L$  jsou stejné funkce

$v$  ... vektor oprav

$l$  ... vektor měření

Dále je vhodné určit vektor  $x_0$ , ten je tvořen přibližnými hodnotami hledaných veličin. Tyto hodnoty můžeme zvolit ovšem vhodnější je jejich přibližný výpočet z nutného počtu dat z vektoru měření. Tím se výpočet zjednoduší, protože se v rovnicích oprav neobjeví členy druhého a dokonce vyšších řádů. Vektor funkce  $\bar{l}$  poté můžeme vypočítat právě z vektoru  $x_0$ . Vektor  $l'$ , který se nazývá redukované měření, vypadá:

$$\bar{l}(x_0^T) - l = l' \quad (36)$$

Vektor oprav jde poté určit ze znalosti vzorce (35):

$$v = A \cdot dx + l' \quad (37)$$

Kde  $A$  ... matice plánu  
 $dx$  ... vektor přírůstků

Takzvaná matice plánu vyjadřuje linearizovaný funkční vztah mezi hledanými veličinami a zprostředkujícím měřením. Jedná se o rozvoj členů prvního řádu Taylorovy řady. Jednotlivé číselné hodnoty matice plánu lze určit pomocí parciálních derivací:

$$A = \begin{pmatrix} \frac{\partial \bar{l}_1(x^T)}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial \bar{l}_1(x^T)}{\partial x_k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial \bar{l}_n(x^T)}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial \bar{l}_n(x^T)}{\partial x_k} \end{pmatrix} \quad (38)$$

Kde  $x$  ... vektor neznámých

Velikost matice plánu je  $k$  sloupců ( $1 - k$  neznámých) a  $n$  řádků ( $1 - n$  měření).

Aby bylo možné vypočítat hledané neznámé, musíme nejprve určit jejich přírůstky. Ty určíme za pomoci matice vah, matice plánu a vektoru redukovaných měření:

$$dx = -(A^T \cdot P \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot P \cdot l' = -N^{-1} \cdot A^T \cdot P \cdot l' \quad (39)$$

Kde  $P$  ... matice vah

Kýžený výsledek je možné získat z následujícího vztahu:

$$x = x_0 + dx \quad (40)$$

Vektor vyrovnaných veličin je vypočítán za pomoci jejich oprav. Tyto opravy jsou vypočteny ze vztahu (37) a vyrovnané veličiny lze tedy určit jako:

$$\bar{l} = l + v \quad (41)$$

Důležitým krokem, který je nutné poté provést je výpočet kontrol, které nám umožní určit správnost vyrovnání a tím pádem i výsledků. Ta nejpodstatnější kontrola je dvojitý výpočet oprav. První oprava je vypočtena podle vzorce (37). A druhý výpočet oprav:

$$v^{II} = \bar{l}(x_0^T) - l \quad (42)$$

Pro tuto kontrolu musí platit, že  $v^I = v^{II}$ , pokud tato podmínka není splněna, ale ostatní kontroly jsou úspěšně splněny, znamená to, že je chyba v linearizaci nebo došlo k chybnému připojení přírůstku  $dx$ .

Pro kontrolu sestavení normálních rovnic je vhodné provést tzv sigmové, zkoušky pro ně platí vztah:

$$l'^T \cdot P \cdot A \cdot dx + l'^T \cdot P \cdot l' = v^T \cdot P \cdot v \quad (43)$$

A zároveň platí vztah:

$$A^T \cdot P \cdot v = 0 \quad (44)$$

Pro výsledky v inženýrské geodézii je důležitá hodnota kvality určení neznámých. Proto je důležité odhadnout jednotlivé směrodatné odchylky výsledků ale i vstupních měření. Nezastupitelnou roli má jednotková směrodatná odchylka. Ta hraje roli při určování dalších směrodatných odchylek. Jednotkovou směrodatnou odchylku lze získat z následujícího vztahu:

$$m_0 = \sqrt{\frac{v^T \cdot P \cdot v}{n'}} \quad (45)$$

Kde  $n'$  ... počet nadbytečných měření.

Směrodatná odchylka vyrovnaných neznámých je vypočtena:

$$m_x = m_0 \cdot \sqrt{Q_{xi,xi}} \quad (46)$$

Kde  $Q_{xi,xi}$  ... diagonální prvky matice  $Q_x$

Matice  $Q_x$  se vypočte z matice plánu a matice vah:

$$Q_x = (A^T \cdot P \cdot A)^{-1} = N^{-1} \quad (47)$$

Vhodné je znát přesnost vyrovnaných měřených veličin. Směrodatná odchylka vyrovnaného měření je vypočítána:

$$m_{\bar{li}} = m_0 \cdot \sqrt{Q_{\bar{li},\bar{li}}} \quad (48)$$

Kde  $Q_{\bar{li},\bar{li}}$  ... diagonální prvky matice  $Q_{\bar{l}}$

A matice  $Q_{\bar{l}}$  je vypočtena ze vztahu:

$$Q_x = A \cdot N^{-1} \cdot A^T \quad (49)$$

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [6][7][13][14]

## 5.2 Analýza výsledků

Rovněž je potřeba stanovit přesnost nejen měření ale i přesnost vypočtených hodnot a výsledné přesnosti otestovat a analyzovat. Proto musíme použít statistických analýz výsledků. Díky tomu můžeme stanovit závěry.

### 5.2.1 Statistické testování

Množiny geodetických měření a hlavně jejich chyby mají více či méně předvídatelné chování. To je však možné s určitou pravděpodobností zařadit do nějakého specifického rozdělení, které jsem již schopni statistickými metodami prozkoumat a určit.

Nejprve je potřeba určit co chceme testovat a stanovit patřičnou hypotézu. Základem je stanovení nulové hypotézy. Od té se očekává vyjádření testované skutečnosti. Například porovnání směrodatných odchylek dvou etap měření. Testováním určíme, zda nulová hypotéza odpovídá nebo neodpovídá skutečnosti a podle toho ji přijmeme nebo zamítneme.

Testování probíhá na nějaké hladině významnosti  $\alpha$ . Ta nám určuje pravděpodobnost hledaného tvrzení v daném rozdělení.

Počet stupňů volnosti určuje parametr, který ovlivňuje tvar použitého rozdělení. Většinou se jedná o počet sledovaných veličin snížený počtem jiných charakteristik.

Pro situace v této práci, jsou vybrány některé níže uvedené testy. V nich je popsáno jaké rozdělení použít a jak veličinu otestovat.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [13][14]

### 5.2.2 Testování střední hodnoty

Tento test je vhodné použít pro stanovení, že střední hodnoty dvou náhodných souborů si navzájem odpovídají. Je to vhodné použít například pro kontrolu stálosti těžiště ze dvou etap měření.

Pro určení je zvolen oboustranný t-test, který má Studentovo rozdělení. Nulová hypotéza vychází z předpokladu, že  $E(x)_1 = E(x)_2$ . Pokud se obě střední hodnoty výrazně neliší tak je testovací kritérium:

$$t = \frac{|x_1 - x_2|}{\sqrt{(n_1 - 1)m_1^2 + (n_2 - 1)m_2^2}} \cdot \sqrt{n_1 + n_2 - 2} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}} \quad (50)$$

Kde  $n_i$  ... velikost množin

$x_i$  ... výběrové průměry

$m_i$  ... výběrové směrodatná odchylka množin

Hladina významnosti je použita  $t_{\alpha/2}$ . Nulovou hypotézu budeme zamítat, jestli výsledek bude  $t > t_{\alpha/2}$ .

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [13]

### 5.2.3 Testování směrodatné odchylky

Pro případ aplikace v této práci, lze rozdělit testování směrodatné odchylky na dva testy. Prvním je testování nulové hypotézy, že výběrová směrodatná odchylka měření  $m$  odpovídá

stejnému souboru o známé základní směrodatné odchylce  $m_Z$ . Nulová hypotéza vypadá takto  $H_0: m = m_Z$ . Tento typ testu byl použit na kontrolu měření, jestli při jeho chybovosti odpovídá přesnosti použitého přístroje, který má známou základní směrodatnou odchylku.

Bude použit  $\chi^2$  s oboustranným rozdělením s  $(n-1)$  stupněm volnosti. Testovaným kritériem bude:

$$\chi^2 = \frac{n-1}{m_Z^2} \cdot m^2 \quad (51)$$

Pro oboustranný test je použita hladina významnosti  $\alpha/2$ . Nulovou hypotézu budeme tedy zamítat jestli  $\chi^2 < \chi^2_{1-\alpha/2}$  nebo  $\chi^2 > \chi^2_{\alpha/2}$ .

Druhou variantou testu je testování, že dvě množiny měření se vypočtenými výběrovými směrodatnými odchylkami jsou stejně přesné. Tím pádem je nulová hypotéza  $H_0: \sigma_1 = \sigma_2$ . Test je použit jako oboustranný s F-rozdělením s  $n'_1$  a  $n'_2$  stupni volnosti. Testovaným kritériem bude:

$$F = \frac{m_1^2}{m_2^2} \quad (52)$$

Kde je voleno vždy  $m_1 > m_2$

V tabulkách najdeme hodnotu  $F_{\alpha/2}$  pro pravou stranu grafu. Nulovou hodnotu zamítáme pokud  $F > F_{\alpha/2}$ .

Tento test je například vhodný pro určení shodnosti výsledné přesnosti dvou etap měření.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [13]

#### 5.2.4 Stanovení a analýza posunu

Hlavním cílem práce je stanovení výsledků vztažné soustavy nivelačních bodů. Proto je důležité zjistit stálost nebo naopak posuny vztažných bodů. Pro prokázání nebo naopak neprokázání posunu bodů, potřebuji znát přesnost určení výšky daného bodu z porovnávaných etap.

Přesnost jednotlivých bodů, získáme z vyrovnání nivelační sítě. Pro zvolení správného vzorce na posouzení posunu by mělo být provedeno posouzení rovnosti směrodatných odchylek vyrovnaných etap dle kapitoly 5.2.3. Pokud je možné považovat dosaženou

přesnost za stejnou, bude mezní rozdíl určen podle vzorce (27). V opačném případě bude mezní rozdíl stanoven ze vzorce (26).

Posun je možné považovat za prokázaný, pokud je rozdíl porovnávaných etap větší než mezní rozdíl. Naopak posun nelze prokázat, pokud je rozdíl menší než mezní rozdíl.

V obou případech je však vhodné pro výpočet bodů použít výšku z aktuální etapy a bodů s prokázaným posunem vzít v potaz tento posun a výšku pozorovaných bodů podle posunu opravit.

Pro zpřesnění určení posunu je vhodné stanovit přesnost určení jednotlivých bodů z různých etap. Pokud bude přesnost stejná nebo alespoň podobná lze lépe stanovit onu hranici prokazující posun.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [13][14]

## **6 Aplikace výpočtů na měřená data**

V předchozích kapitolách byly shrnuty postupy a vzorce pro výpočet a analýzu měřených dat. V této kapitole bude popsána jejich aplikace a dosažené výsledky.

Značení směrodatných odchylek bude v této práci označeno písmenem  $m$ , které se obvykle používá pro označení střední chyby. Účelem je sjednocení používaných vzorců.

Aby nebyla porušena smlouva o poskytování dat, nebude u některých bodů uvedena nadmořská výška, nebo převýšení mezi některými body. Kompletní číselné údaje jsou uvedeny v neveřejných přílohách této práce.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [13][14]

### **6.1 Výpočet dle dosavadních metodik**

Výpočet dle dosavadních statistik nebyl úplně možný, protože data, která byla poskytnuta k této práci, nebyla úplně stejná jako při výpočtu provedených v kapitole 3, a proto nebylo možné dojít ke stejným výsledkům. Přesto byla snaha zachovat při výpočtech v různých softwarech tuto metodiku. Zároveň pro některé výpočty byly použity výsledky z poskytnutých technických zpráv.

### **6.2 Zpracování měření**

Poskytnutá surová měření bylo nejprve potřeba zpracovat před samotným vyrovnáním. Jelikož poskytnutá data z etap měření 2014 a 2015 byla měřena přístrojem Leica DNA03

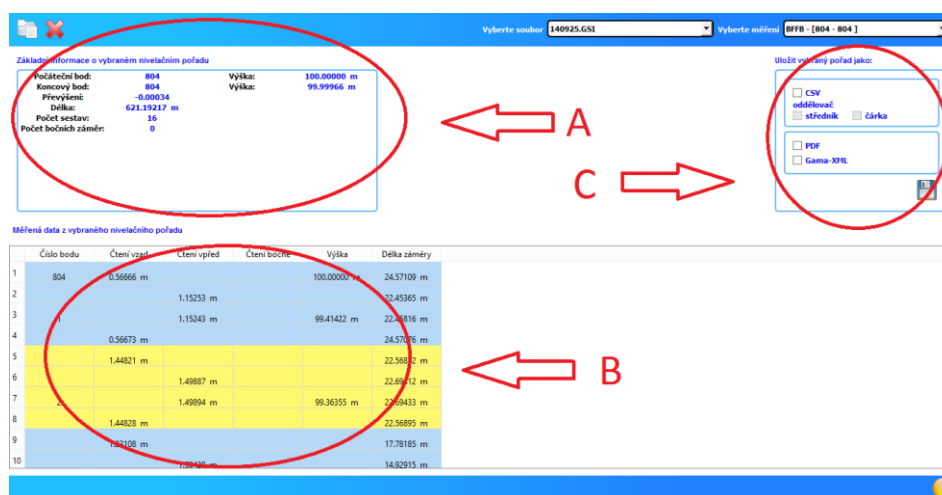


byl jejich formát GSI. Pro přečtení a následné práci s daty byl použit poskytnutý program od Bc. Jaromíra Rokuska DNAGR (DNA03 GSIRReader).

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [20]

### 6.2.1 Program DNA03 GSIRReader

Jedná se o program vytvořený v rámci bakalářské práce. Tento program umí načíst měření převýšení ve formátu GSI. Kromě načtení formátu GSI umí i některé další věci, které byly v této práci zužitkovány.



Obrázek 10: hlavní okno programu DNAGR

Zdroj: vlastní zpracování

Po spuštění programu se zobrazí hlavní okno. Zde je možné načíst soubor měření. V okně označeném jako A jsou veškeré základní údaje o nivelačním pořadu. Je zde uveden počáteční a koncový bod pořadu, délka, celkové převýšení pořadu a výška počátečního a koncového bodu. Spousta těchto informací je ovšem závislých na nastavení přístroje při měření.

V okně označeném písmenem B je zobrazeno celé měření. Od stanovisek, přes čtení na latě, až po výšku přestavových bodů. Nevýhodou je, že zobrazené měření není možné editovat a upravit tak chybný vstup hodnot, který by mohl nastat při zadávání dat během měření.

Velikou výhodou je ovšem část označená jako C. Zde je možné měření uložit do různých typů souboru a to CSV, PDF a XML.

Prvním typem je souhlas s koncovkou CSV. Zde je možné nastavit oddělovač. Oddělovač nám výstupní soubor upraví pro jeden ze dvou programů, kde je možné měření

zpracovat. Prvním oddělovačem je středník, kdy je možné soubor otevřít a zpracovávat v programu Microsoft Excel. Druhý oddělovač je čárka. Volba této možnosti je vhodná pro následovné zpracování v programu Matlab, případně jiném matematickém softwaru. Ukázky obou typů formátu souborů jsou k dispozici v přílohách.

Možností uložení do PDF dojde k vytvoření záznamu o nivelačním měření obdobný papírovému zápisníku. Ukázka výstupu ve formátu PDF je v přílohách.

Poslední formát je XML. Tento formát je obdobou html kódu. Ovšem formát XML je vstupní formát do vyrovnávacího programu GaMa. Program DNAGR umí vytvořit přímo vstupní soubor do programu GaMa, včetně všech náležitostí. Do tohoto vstupního souboru je možné importovat všechny otevřené soubory měření. Výstup měření pro vstup do programu GaMa je v přílohách.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [20]

### 6.2.2 Výpočet převýšení

V programu DNAGR byly soubory s měřením importovány do formátu CSV, kde oddělovač byl nastaven středník. V programu Microsoft Excel, kde bylo tento formát možné otevřít, byla naměřená data upravována. Pro každou etapu měření byl proveden výpočet převýšení mezi body výškového horizontu a mezi body nivelačních pořadů.

Nejprve byl počítán průměr mezi dvojicí čtení vpřed a vzad pro jednotlivé sestavy. Poté bylo určeno převýšení jednotlivých přestav a následně převýšení pro nivelační oddíl měřený jedním směrem. Výsledné převýšení bylo určeno jako průměr převýšení ve směrech tam a zpět. Z výsledných převýšení bylo pokračováno dál.

Výškové horizonty obou etap měření byly vyhodnoceny dle dosavadních metodik a byla tak zjištěna redukovaná výška bodu 22 pro rok 2014 a 2015. Z důvodu nevěřejnosti nebudou tyto výšky uvedeny.

**Tabulka 2: výškový horizont z roku 2014**

bod	převýšení 2013 [m]	převýšení 2014 [m]	změna převýšení [mm]	redukovaný pokles [mm]	celkový pokles [mm]
221	-0,01624	-0,01585	0,39	-0,39	-0,65
22	0,0961	0,09572	-0,39	0,00	-0,26
23				-0,39	-0,64
ø				-0,26	

Zdroj: vlastní zpracování

Na výpočet výškového horizontu etapy z roku 2014 navazuje výpočet výškového horizontu měřeného v etapě 2015:

**Tabulka 3: výškový horizont 2015**

bod	převýšení 2014 [m]	převýšení 2015 [m]	změna převýšení [mm]	redukovaný pokles [mm]	celkový pokles [mm]
221	-0,01585	-0,01510	0,75	-0,75	-1,08
22				0,00	-0,32
23	0,09572	0,09551	-0,22	-0,22	-0,54
∅				-0,32	

Zdroj: vlastní zpracování

Naměřené převýšení mezi body pořadu, pro jejichž výpočet byly použity postupy a vzorce z kapitol 4.2.2 a 5.1.4, byly použity pro výpočet převýšení. Obdobným způsobem, jako pro výpočet převýšení byla zjištěna délka nivelačních oddílů popřípadě pořadů. Nejprve byla zjištěna průměrná délka sestavy, jelikož délka byla měřena pro každou záměru vpřed a vzad. Délka pro měření jednoho směru je rovna sumě délek všech sestav v daném směru. Výsledná délka nivelačního oddílu byla zjištěna jako průměr délky tam a zpět.

Podle vzorce (11) byly vypočteny váhy jednotlivých převýšení. Vstupující parametr délky pořadu byl zaokrouhlen na metry a výsledná váha je uváděna na dvě desetinná místa.

Upravená data následně vstoupila do vyrovnání nivelační sítě. Z vypočtených pořadů bude, kvůli neveřejnosti dat, uveden pouze nivelační pořad č. 1.

**Tabulka 4: informace o pořadu č. 1 z roku 2014**

nivelační pořad č. 1 rok 2014					
1. bod	2. bod	převýšení [m]	délka [km]	počet sestav	váha
22	26A	0,25161	0,104	4	3,96
26A	802	-0,01083	0,216	5	2,41
802	CHV1-1	5,44763	0,232	8	1,86
CHV1-1	NCHUV1	6,30852	0,154	6	2,66
NCHUV1	MC	-0,31344	0,167	4	3,06
MC	SE2	0,16911	0,134	4	3,43
SE2	CHV4-11A	-6,07495	0,120	6	3,13
CHV4-11A	804	-5,03956	0,296	9	1,54
804	805	-0,72788	0,165	4	3,08
805	VH39	-0,03274	0,145	4	3,28
VH39	22	0,02292	0,543	14	0,91

Zdroj: vlastní zpracování

Měření z etapy v roce 2015 bylo zpracováno totožným způsobem jako z etapy 2014. Tato upravená data se rovněž stala vstupem pro vyrovnání. Z vypočtených pořadů bude, kvůli neveřejnosti dat, uveden pouze nivelační pořad č. 2.

**Tabulka 5: informace o pořadu č. 2 z roku 2015**

nivelační pořad č. 2 rok 2015					
1. bod	2. bod	převýšení [m]	délka [km]	počet sestav	váha
CHV1-2	CHV2-4	-0,08025	0,121	5	3,32
CHV2-4	AB1-2	0,97462	0,072	4	5,02
AB1-2	CHV3-7A	-0,71538	0,074	3	5,47
CHV3-7A	AB2-1	0,71273	0,082	3	5,15
AB2-1	CHV4-11A	-0,80244	0,046	2	8,56

Zdroj: vlastní zpracování

### 6.2.3 Kontrola měření a dosažená přesnost

Pro zjištění správnosti naměřených dat je vhodné naměřená data zkontrolovat. Dobrou kontrolou je využití předpisů pro měření I. řádu v ČSNS. Rozdíl mezi měřeními tam a zpět je dán mezním rozdílem vypočteným ze vzorce z **Tabulka 1**. Tento mezní rozdíl byl vypočítán jednak pro jednotlivé oddíly, tak pro celé pořady.

Pro naměřená data byly vypočteny jejich přesnosti z kapitoly 4.2.5. Byla zde vypočtena i kilometrová směrodatná odchylka, která byla otestována s kilometrovou odchylkou zadanou výrobcem.

Výpočet podle předpisů ČSNS je osvědčený a vzorce jsou známé a jednoduché k výpočtu, ale nezohledňují třeba počet přestav nebo délku pořadu.. Výpočet přesnosti převýšení je vhodný pro výpočet vah a porovnání směrodatných kilometrových odchylek nivelačních oddílů  $m_0$  prokazuje, zda způsob měření odpovídá přesnosti přístroje a pomůcek. Rovněž byla vypočtena směrodatná odchylka jedné přestavy tam a zpět  $m_h$ .

**Tabulka 6: kontrola a přesnost měřených převýšení etapy 2014**

bod z	bod p	$\Delta_h$ [mm]	$\Delta_M$ [mm]	$m_0$ [mm]	$m_h$ [mm]
22	26A	-0,09	0,48	0,07	0,02
26A	802	0,90	0,69	0,44	0,20
802	CHV1-1	0,42	0,72	0,15	0,07
CHV1-1	NCHUV1	0,25	0,59	0,13	0,05
NCHUV1	MC	0,42	0,62	0,25	0,10
MC	SE2	0,24	0,55	0,16	0,06
SE2	CHV4-11A	-0,23	0,52	0,13	0,05
CHV4-11A	804	-0,25	0,82	0,08	0,04
804	805	-0,16	0,61	0,10	0,04
805	VH39	-0,18	0,57	0,12	0,05
VH39	22	0,04	1,11	0,01	0,01
CHV1-1	CHV2-4	-0,58	0,52	0,42	0,15
CHV2-4	AB1-2	0,04	0,40	0,04	0,01
AB1-2	CHV3-7A	-0,34	0,41	0,43	0,12
CHV3-7A	AB2-1	0,17	0,37	0,25	0,06
AB2-1	CHV4-11A	0,02	0,36	0,02	0,01
802	VI-1C	-0,12	0,50	0,10	0,03
VI-1C	804	0,16	0,69	0,08	0,04
805	V4	0,37	0,68	0,20	0,09

Zdroj: vlastní zpracování

Pro dodaná data z měření etapy 2014 byl proveden test maximálního rozdílu  $\Delta_M$  mezi měřeními tam a zpět. Tento rozdíl byl vypočítán na základě metod stanovených měřeními VPN I. řádu v ČSNS.

Z tabulky jasně vyplývá, že převýšení 26A-802 a CHV1-2-CHV2-A překračuje mezní rozdíl. Ovšem měření těchto převýšení proběhl vícekrát, pouze pro potřeby výpočtu byly dodány jen nutné měření a to jednou (nebyla poskytnuta všechna měření, která by splnila podmínky I. řádu VPN). I přes překročení těchto podmínek bylo pokračováno ve vyrovnání.

Proto, aby bylo zjištěno, jestli nebude mít toto měření vliv na vyrovnání, byl proveden test výběrové směrodatné odchylky (směrodatná jednotková kilometrová odchylka  $m_0$  viz **Tabulka 6**) a směrodatné odchylky dané přesností měření v I. řádu ( $m_l = 0,3$  mm). Pro

otestování byl zvolen  $\chi^2$  pro otestování hypotézy že,  $m_0 = m_I$  a hladina významnosti  $\alpha = 0,05$ . Test byl proveden dle kapitoly 5.2.4. Podle tohoto testu je možné považovat obě směrodatné odchylky za odpovídající si a další výpočet by narušen být neměl. Výsledky testu jsou v přílohách.

**Tabulka 7: kontrola a přesnost měřených převýšení etapy 2015**

bod z	bod p	$\Delta_h$ [mm]	$\Delta_M$ [mm]	$m_0$ [mm]	$m_h$ [mm]
22	26A	-0,01	0,52	0,01	0,00
26A	353	0,24	0,71	0,09	0,04
353	CHV1-2	0,07	0,73	0,02	0,01
CHV1-2	NCHUV1	-0,12	0,61	0,05	0,02
NCHUV1	MC	0,32	0,62	0,17	0,07
MC	SE2	0,07	0,53	0,05	0,02
SE2	MV3	-0,09	0,40	0,06	0,02
MV3	CHV4-11A	0,10	0,48	0,07	0,02
CHV4-11A	442	0,48	0,82	0,12	0,06
442	V8-2	-0,10	0,61	0,06	0,03
V8-2	VH39	-0,16	0,60	0,10	0,04
VH39	22	0,29	1,10	0,05	0,04
CHV1-2	CHV2-4	0,07	0,52	0,05	0,02
CHV2-4	AB1-2	0,00	0,40	0,00	0,00
AB1-2	CHV3-7A	0,06	0,41	0,06	0,02
CHV3-7A	AB2-1	0,06	0,43	0,06	0,02
AB2-1	CHV4-11A	0,01	0,32	0,01	0,00
353	VI-1C	0,17	0,48	0,15	0,05
VI-1C	442	-0,11	0,69	0,05	0,02
V8-2	V4	-0,19	0,67	0,10	0,05

Zdroj: vlastní zpracování, data z roku 2015

Pro dodaná data z měření etapy 2015 byl proveden test maximálního rozdílu  $\Delta_M$  mezi měřeními tam a zpět. Tento rozdíl byl vypočítán na základě metod stanovených měřeními VPN I. řádu v ČSNS.

Z tabulky vyplývá, že k překročení mezního rozdílu mezi měřeními tam a zpět nedošlo a tudíž by k narušení výsledku vyrovnání nemělo dojít.

Přesto však bylo použito testování stejné statistické hypotézy jako v předchozím případě. Byl tedy pro kontrolu proveden test výběrové směrodatné odchylky (směrodatná jednotková kilometrová odchylka  $m_0$  viz **Tabulka 7**) a směrodatné odchylky dané přesností měření v I. řádu ( $m_I = 0,3$  mm). Pro otestování byl zvolen  $\chi^2$  pro otestování hypotézy že,  $m_0 = m_I$  a hladina významnosti  $\alpha = 0,05$ . Test byl proveden dle kapitoly 5.2.4. Podle tohoto testu je

možné považovat obě chyby za stejně přesné a další výpočet by narušen být neměl. Výsledky testu jsou v přílohách.

### 6.3 Stanovení vah měření

Pro vyrovnání této nivelační sítě je správné určení vah měření. Váhy měření určují vliv přesnosti měřeného převýšení na výpočet celé nivelační sítě. Proto je správnost určení přesnosti měření a následné určení vah je velice důležité.

#### 6.3.1 Stanovení vah dle metodik

Nejprve byly určeny váhy dle dosavadních metodik. Váhy byly určeny ze vzorce (11). Aby byla ověřena správnost tohoto vzorce, bylo vyzkoušeno jeho odvození.

Ze znalosti vyrovnávacího počtu lze aplikovat, že vzorec (11) je odvozen ze dvou standardních stanovení vah pro nivelované převýšení. První část tohoto vzorce, je stanovena z určení váhy pro pořadovou nivelaci:

$$p_i = \frac{k}{m_0^2 \cdot R_i} = \frac{0,25}{R_i} \quad (53)$$

Kde  $k$  ... volená konstanta  
 $m_0$  ... jednotková kilometrová směrodatná odchylka  
 $R_i$  ... délka nivelačního oddílu

Druhá část vzorce (11) je tvořena určením váhy ze znalosti směrodatné odchylky jednoho převýšení a závislosti na počtu přestav.

$$p_i = \frac{k}{m_{př}^2 \cdot n_i} = \frac{6,25}{n_i} \quad (54)$$

Kde  $k$  ... volená konstanta (v tomto případě 6,25)  
 $m_{př}$  ... směrodatná odchylka přestavy  
 $n_i$  ... počet přestav nivelačního oddílu

Po úpravě vzorců (53) a (54) dostáváme:

$$0,25 = \frac{k}{m_0^2} \quad (55)$$

$$6,25 = \frac{k}{m_{př}^2} \quad (56)$$

Po dosazení hodnoty 1 za konstantu  $k$  do vzorců (55) a (56) dostaneme přesnosti jednotkové kilometrové odchylky  $m_0 = 2$  a směrodatné odchylky jedné přestavy  $m_{př} = 0,4$ .

Bohužel z tohoto výpočtu nelze určit jednotky. Tyto konstanty mohly být odvozeny z nulté etapy nebo přesnosti používaného přístroje. Toto je jen jedna z možností jak mohlo  $k$  určení tohoto vzorce pro určení vah dojít. Aby bylo zjištěno, jak opravdu  $k$  určení tohoto vzorce došlo, musí být hledáno v archivu. Nebo zjištěním informací od samotného autora vzorce.

### 6.3.2 Úprava vah stanovených dle metodik pro program GNU GaMa

Matematické určení váhy je naprosto jednoduché. Vyrovnávací program GaMa totiž váhu vypočítává ze směrodatné odchylky měřeného převýšení viz kapitola 5.1.3. Pokud je ale v tomto programu známa délka nivelačního oddílu, použije GaMa výpočet váhy jako u pořadové nivelace  $\frac{1}{R}$ . Tedy stanovení směrodatné odchylky jde obrácenou aplikací určit jako:

$$m_h = \frac{1}{\sqrt{p_i}} \quad (57)$$

Kde  $p_i \dots$  je váha převýšení stanovená dle stávajících metodik

### 6.3.3 Hledání optimálnějšího stanovení vah

Možnou chybou doposud používaného vzorce je, že je určena ze dvou parametrů. Většinou se používá jedna z variant určení váhy. Proto byly pro otestování použity vzorce pro stanovení váhy pořadové nivelace a pro určení váhy ze znalosti stejné přesnosti nivelovaného převýšení.

Ve váhách pro pořadovou nivelaci je zahrnut vliv délky. Tyto váhy jsou vypočteny:



$$p_i = \frac{1}{R_i} \quad (58)$$

Pro stanovení vah z počtu sestav je tento vztah:

$$p_i = \frac{1}{n_i} \quad (59)$$

### 6.3.4 Porovnání výsledků vah

Všechny tři typy vah byly otestovány na etapě měření 2014 i 2015. Pro porovnání byly brány v potaz dosažená aposteriorní jednotková chyba a hodnoty oprav. Vyrovnání proběhlo v matematickém výpočetním programu Matlab (více v kapitole 6.4 a 7.1), který je vhodný pro práci s maticovými výpočty.

**Tabulka 8: porovnání aposteriorní odchyly pro použití různých vah**

Porovnání jednotkové aposteriorní odchyly		
	$m_0$ 2014 [mm]	$m_0$ 2015 [mm]
<b>váhy dle předpisu</b>	0,22	0,57
<b>váhy pro délku</b>	0,33	0,87
<b>váhy pro sestavy</b>	0,06	0,14

Zdroj: vlastní zpracování

Z porovnání jednotkové aposteriorní chyby jasně vyplývá, že nejmenší velikost této chyby je u použití vah pro počet přestav. Naopak největší hodnotu dostává při použití vah pro pořadovou nivelaci. Pokud se z výpočtu vah pro délku a pro váhy udělá aritmetický průměr, je výsledek téměř shodný s výpočtem vah dle předpisů.

**Tabulka 9: porovnání oprav etapy 2014 za použití různých vah**

<b>porovnání oprav etapy 2014</b>				
<b>bod z</b>	<b>bod p</b>	<b>předpis [mm]</b>	<b>délka [mm]</b>	<b>přestavy [mm]</b>
22	26A	-0,01	-0,01	-0,01
26A	802	-0,02	-0,02	-0,02
802	CHV1-1	0,01	0,01	0,01
CHV1-1	NCHUV1	-0,09	-0,09	-0,10
NCHUV1	MC	-0,08	-0,09	-0,06
MC	SE2	-0,07	-0,08	-0,06
SE2	CHV4-11A	-0,08	-0,07	-0,10
CHV4-11A	804	0,01	0,01	0,01
804	805	-0,01	-0,02	-0,01
805	VH39	-0,01	-0,01	-0,01
VH39	22	-0,05	-0,05	-0,05
802	VI-1C	-0,01	-0,01	-0,01
VI-1C	804	-0,03	-0,03	-0,02
CHV1-1	CHV2-4	0,07	0,07	0,07
CHV2-4	AB1-2	0,05	0,04	0,05
AB1-2	CHV3-7A	0,04	0,04	0,03
CHV3-7A	AB2-1	0,04	0,04	0,03
AB2-1	CHV4-11A	0,04	0,04	0,05
805	V4	0,00	0,00	0,00

Zdroj: vlastní zpracování, data z roku 2014

Pro porovnání oprav je nutné vzít v úvahu i informace o počtu přestav délce pořadu a počtu přestav. Tyto informace jsou v tabulkách z kapitoly 6.2.2. Z toho všeho je patrný vztah mezi délkou a počtem přestav nivelačního oddílu. Rovněž i zde se velikost vah vypočtených dle předpisu blíží aritmetickému průměru dvou zbývajících hodnot.

**Tabulka 10: porovnání oprav etapy 2015 za použití různých vah**

porovnání oprav etapy 2015				
bod z	bod p	předpis [mm]	délka [mm]	přestavy [mm]
22	26A	-0,06	-0,05	-0,07
26A	353	-0,11	-0,10	-0,13
353	CHV1-2	0,26	0,26	0,25
CHV1-2	NCHUV1	0,17	0,16	0,18
NCHUV1	MC	0,15	0,17	0,11
MC	SE2	0,11	0,13	0,09
442	CHV4-11A	-0,35	-0,33	-0,38
CHV4-11A	MV3	-0,11	-0,10	-0,11
MV3	SE2	-0,09	-0,07	-0,16
442	V8-2	-0,07	-0,07	-0,07
V8-2	VH39	-0,07	-0,07	-0,07
VH39	22	-0,25	-0,24	-0,27
353	VI-1C	-0,15	-0,16	-0,14
VI-1C	442	-0,31	-0,33	-0,27
CHV1-2	CHV2-4	0,02	0,01	0,02
CHV2-4	AB1-2	0,01	0,01	0,02
AB1-2	CHV3-7A	0,01	0,01	0,01
CHV3-7A	AB2-1	0,01	0,01	0,01
AB2-1	CHV4-11A	0,01	0,01	0,01
V8-2	V4	0,00	0,00	0,00

Zdroj: vlastní zpracování, data z roku 2015

Porovnání oprav z etapy 2015, pouze dokazuje předešlá tvrzení, která platí pro etapu 2014. Z toho je patrné, že používání dosavadních vah vyjadřuje vlastnosti nivelační sítě se zapojením všech vlivů, které se obvykle užívají pro stanovení vah měření nivelace.

## 6.4 Vyrovnání nivelační sítě pomocí MNČ v programu Matlab

Pro hledání alternativních cest výpočtu i ověření stávajících byl použit skriptovací program Matlab od společnosti MathWorks. Tento program umožňuje maticový výpočet, práci s 2D i 3D grafy, algoritmizaci atd. (více v kapitole 7.1). Je vhodný i pro výpočet MNČ.

Použité zdroje ke zpracování kapitoly: [21]

### 6.4.1 Vyrovnání etapy 2014

V programu Matlab byly vytvořeny skripty funkcí, které byly sepsány pro vyrovnání nivelační sítě metodou nejmenších čtverců.

Před samotným vyrovnáním byla naměřená data zpracována a zkontrolována viz kapitola 6.2. Do vyrovnání tedy vstupovala převýšení mezi body, délka a počet přestav. Rovněž se vycházelo z vypočítaného a upraveného výškového horizontu pro rok 2014.

Všechny měřené nivelační pořady (1 – 4) byly vyrovnány dohromady jako jedna nivelační síť. Vyrovnání proběhlo způsobem zprostředkujících měření (matematický postup kapitola 5.1.5), kde hledanou veličinou byly výšky bodů hlavních nivelačních pořadů.

Vyrovnané hodnoty neznámých i vyrovnané měření a jejich přesnosti byly dány do tabulek a byly porovnány s výsledky měření provedeným útvarem měřictví a geoinformatiky společnosti Seven a.s.

**Tabulka 11: vyrovnané výšky v programu Matlab etapy 2014**

<b>bod</b>	<b>výška [m]</b>	<b>m<sub>H</sub> [mm]</b>
<b>26A</b>	210,05473	0,10
<b>802</b>	Neuvedeno	0,16
<b>CHV1-1</b>	Neuvedeno	0,20
<b>NCHUV1</b>	221,79996	0,23
<b>MC</b>	221,48644	0,23
<b>SE2</b>	221,65548	0,23
<b>CHV4-11A</b>	Neuvedeno	0,21
<b>804</b>	Neuvedeno	0,18
<b>805</b>	209,81301	0,19
<b>VH39</b>	209,78006	0,18
<b>VI-1C</b>	209,76599	0,18
<b>CHV2-4</b>	215,41152	0,22
<b>AB1-2</b>	216,38598	0,22
<b>CHV3-7A</b>	215,67051	0,22
<b>AB2-1</b>	216,38289	0,22
<b>V4</b>	209,49902	0,23

Zdroj: vlastní zpracování

Zvýše uvedená tabulka je možné si všimnout, že výška bodu V4, který je určen z volného nivelačního pořadu, má největší směrodatnou odchylku.

**Tabulka 12: vyrovnaná převýšení v programu Matlab etapy 2014**

<b>bod z</b>	<b>bod p</b>	<b>převýšení [m]</b>	<b>m<sub>h</sub> [mm]</b>
22	26A	0,25160	0,11
26A	802	Neuvedeno	0,13
802	CHV1-1	Neuvedeno	0,14
CHV1-1	NCHUV1	Neuvedeno	0,12
NCHUV1	MC	-0,31352	0,12
MC	SE2	0,16904	0,11
SE2	CHV4-11A	Neuvedeno	0,12
CHV4-11A	804	Neuvedeno	0,15
804	805	Neuvedeno	0,12
805	VH39	-0,03275	0,12
VH39	22	Neuvedeno	0,18
802	VI-1C	-0,27790	0,10
VI1C	804	0,77492	0,12
CHV1-1	CHV2-4	-0,08000	0,11
CHV2-4	AB1-2	0,97446	0,09
AB1-2	CHV3-7A	-0,71547	0,08
CHV3-7A	AB2-1	0,71238	0,08
AB2-1	CHV4-11A	-0,80244	0,08
805	V4	Neuvedeno	0,13

Zdroj: vlastní zpracování

Vyrovnané výšky a měření byly porovnány s výsledky dosažených útvarů měřictví a geoinformatiky. Jak ale bylo uvedeno výše, nemohlo dojít k totožným výsledkům. Ale vyrovnané hodnoty se liší velice málo a vykazují i stejné přesnosti.

Pro ověření správnosti výpočtu byly provedeny kontroly vyrovnání dle kapitoly 5.1.5. Provedené kontroly vychází. I když výsledkem nejsou absolutní nuly ale hodnoty s velikostí  $10^{-20}$ , můžeme prohlásit výsledky kontrol za správné, protože zbytková čísla mohou být způsobena nedokonalostí maximálního zápisu čísla v programovacím jazyce.

#### **6.4.2 Vyrovnání etapy 2015**

Obdobný výpočet jako u vyrovnání etapy z roku 2014 byl proveden i u etapy 2015. To znamená, že v programu Matlab byly použity skripty funkcí, které byly již vytvořeny pro předchozí výpočet předchozí etapy.

Před samotným vyrovnáním byla naměřená data zpracována a zkontrolována viz kapitola 6.2. Do vyrovnání tedy vstupovala převýšení mezi body, délka a počet přestav. Rovněž se vycházelo z vypočítaného a upraveného výškového horizontu pro rok 2015.

Všechny měřené nivelační pořady (1 – 4) byly vyrovnány dohromady jako jedna nivelační síť. Vyrovnání proběhlo způsobem zprostředkujících měření (matematický postup kapitola 5.1.5), kde hledanou veličinou byly výšky bodů hlavních nivelačních pořadů.

Vyrovnané hodnoty neznámých i vyrovnané měření a jejich přesnosti byly dány do tabulek a byly zkontrolovány s výsledky měření provedeným útvarem měřictví a geoinformatiky.

**Tabulka 13: vyrovnané výšky v programu Matlab etapy 2015**

<b>bod</b>	<b>výška [m]</b>	<b>m<sub>H</sub> [mm]</b>
<b>26A</b>	210,05394	0,28
<b>353</b>	Neuvedeno	0,43
<b>CHV1-2</b>	Neuvedeno	0,55
<b>NCHUV1</b>	221,79979	0,62
<b>MC</b>	221,48622	0,64
<b>SE2</b>	221,65487	0,64
<b>MV3</b>	216,33604	0,62
<b>CHV4-11A</b>	Neuvedeno	0,58
<b>442</b>	210,55717	0,49
<b>V8-2</b>	Neuvedeno	0,50
<b>VH39</b>	209,77869	0,48
<b>VI-1C</b>	209,76524	0,47
<b>CHV2-4</b>	215,41086	0,59
<b>AB1-2</b>	216,38549	0,60
<b>CHV3-7A</b>	215,67012	0,60
<b>AB2-1</b>	216,38286	0,59
<b>V4</b>	209,49833	0,60

Zdroj: vlastní zpracování

Vyrovnání této etapy nepotvrdilo, že výška bodu volného polygonového pořadu V4 má největší chybu určení, ale rozhodně patří mezi největší hodnoty směrodatné odchylky.

**Tabulka 14: vyrovnaná měření v programu Matlab etapy 2015**

<b>bod z</b>	<b>bod p</b>	<b>převýšení [m]</b>	<b>m<sub>h</sub> [mm]</b>
22	26A	0,25113	0,28
26A	353	Neuvedeno	0,37
353	CHV1-2	Neuvedeno	0,38
CHV1-2	NCHUV1	Neuvedeno	0,34
NCHUV1	MC	-0,31358	0,32
MC	SE2	0,16865	0,28
442	CHV4-11A	Neuvedeno	0,41
CHV4-11A	MV3	0,75561	0,28
MV3	SE2	5,31883	0,26
442	V8-2	Neuvedeno	0,31
V8-2	VH39	-0,91258	0,30
VH39	22	0,02412	0,48
353	VI-1C	-0,3012	0,25
VI-1C	442	0,79193	0,33
CHV1-2	CHV2-4	-0,08023	0,29
CHV2-4	AB1-2	0,97463	0,24
AB1-2	CHV3-7A	-0,7154	0,23
CHV3-7A	AB2-1	0,71274	0,24
AB2-1	CHV4-11A	-0,8024	0,19
V8-2	V4	Neuvedeno	0,34

Zdroj: vlastní zpracování

Vyrovnané výšky a měření byly porovnány s výsledky provedeným útvarem měřictví a geoinformatiky. Jak ale bylo uvedeno výše, nemohlo dojít k totožným výsledkům. Vyrovnané hodnoty se liší velice málo, ale vykazují horší přesnosti.

Pro ověření správnosti výpočtu byly provedeny kontroly vyrovnání dle kapitoly 5.1.5. Provedené kontroly vychází. I když výsledkem nejsou absolutní nuly ale hodnoty s velikostí  $10^{-20}$ , můžeme prohlásit výsledky kontrol za správné, protože zbytková čísla mohou být způsobena nedokonalostí maximálního zápisu čísla v programovacím jazyce.

## 6.5 Ztotožnění těžiště

Metoda ztotožnění těžišť je jednou z metod stanovení posunů bodů. Princip spočívá ve výpočtu těžiště sítě ze shodných bodů obou etap. Po ztotožnění obou etapa může dojít k posouzení posunů hledaných bodů.

Druhým účelem proč byla tato metoda využita, je otestování správnosti dosavadního měření a výpočtu výškového horizontu.

### 6.5.1 Výpočet těžiště etap

Jelikož obě etapy nemají všechny shodné body, byly vybrány ty, které se objevují v obou etapách, a při porovnání nebyl stanoven posun. Těžiště tedy bylo určeno z bodu 22, 26A, NCHUV1, MC, SE2, CHV4-11A, VI-1C, CHV2-4, AB1-2, CHV3-7A, AB2-1 a V4. Z vyrovnaných výšek těchto bodů bylo aritmetickým průměrem určeno těžiště resp. jeho výška. To bylo provedeno pro každou etapu zvlášť.

Bylo určeno těžiště jak pro redukovanou výšku určenou pro vztažný bod 22 dané etapy, tak bylo vypočítáno těžiště, kdy vztažnému bodu 22 byla dána stejná počáteční výška obou těžišť. Tato výška byla volena rovna 100.

**Tabulka 15: porovnání těžišť**

	těžiště 2014 [m]	těžiště 2015 [m]	$\Delta_T$ [mm]
stejná výška horizontu	105,48821	105,48810	-0,11
redukovaná výška horizontu	Neuvedeno	Neuvedeno	-0,43

Zdroj: vlastní zpracování

Při porovnání rozdílů lze zjistit, že rozdíl výšek těžiště je přesně o hodnotu poklesu, která byla použita pro redukci výškového horizontu tedy -0,32 mm.

### 6.5.2 Testování shodnosti těžiště etapy 2014 a 2015

Na testování shodnosti těžiště byl použit t-test, který má Studentovo rozdělení. Nulová hypotéze je, že se těžiště neboli střední hodnoty rovnají. Kritérium spolehlivosti  $\alpha$  bylo zvoleno 0,05. Kritická hodnota byla vypočtena pro oba typy výpočtu těžišť a byla porovnána s hladinou významnosti  $\alpha/2$  pro Studentovo rozdělení. Výpočet byl proveden dle kapitoly 5.2.2.

**Tabulka 16: testování kritické hodnoty pro těžiště**

	rozdíl [mm]	testovací kritérium	kritická hodnota
stejná výška	-0,11	0,01	2,06
redukovaná výška	-0,43	0,02	2,06

Zdroj: vlastní zpracování

Z tabulky jasně vyplývá, že testovací kritérium nepřekročí kritickou hodnotu a tudíž může být těžiště obou etapa považováno za shodné a nulovou hypotézu nelze zamítnout.



### 6.5.3 Ztotožnění těžišť a redukce k těžišti

Pro ztotožnění těžišť bylo počítáno pouze s těžišti vypočtenými z výšky 100 m pro bod 22 obou etap. Mezi těžišti byl zjištěn rozdíl  $\Delta T$  těžiště bodů. Tento rozdíl byl připočten k výškám druhé etapy. Zredukované výšky byly porovnány a byl z nich určen rozdíl. Tento rozdíl nám vypovídá o posunu bodů.

**Tabulka 17: posuny bodů k redukovánému těžišti**

bod	výška 2014 [m]	bod	opravená výška 2015 [m]	$\delta$ [mm]
22	100,00000	22	99,99975	<b>-0,11</b>
26A	100,25160	26A	100,25088	<b>-0,58</b>
802	100,24076	353	100,26340	-
CHV11	105,68840	CHV12	105,68803	<b>-0,22</b>
NCHUV1	111,99683	NCHUV1	111,99673	<b>0,05</b>
MC	111,68331	MC	111,68315	<b>-0,01</b>
SE2	111,85235	SE2	111,85181	<b>-0,40</b>
-	-	MV3	106,53298	-
CHV411A	105,77732	CHV411A	105,77737	<b>0,19</b>
804	100,73777	442	100,75411	-
805	100,00988	V82	100,88820	-
VH39	99,97713	VH39	99,97562	<b>-1,37</b>
VI1C	99,96286	VI1C	99,96218	<b>-0,54</b>
CHV24	105,60839	CHV24	105,60780	<b>-0,45</b>
AB12	106,58285	AB12	106,58243	<b>-0,28</b>
CHV37A	105,86738	CHV37A	105,86706	<b>-0,18</b>
AB21	106,57976	AB21	106,57980	<b>0,18</b>
V4	99,69589	V4	99,69526	<b>-0,48</b>

Zdroj: vlastní zpracování

Z výše uvedené tabulky je patrné, že na vztažném bodě 22 je rozdíl výšek. Pokud se vezme do úvahy, že v ideálním případě by měla těžiště vyjít stejná, nemělo by tedy na bodě 22 dojít k tomuto rozdílu. Tento rozdíl může být způsoben jiným směrem nebo velikostí posunu vnitřní sítě než je tomu u výškového horizontu. Druhý vliv má nejistota měření. Pro zjištění následného vývoje je vhodné posun těžiště dále sledovat.

## 6.6 Vyrovnání programem GNU GaMa

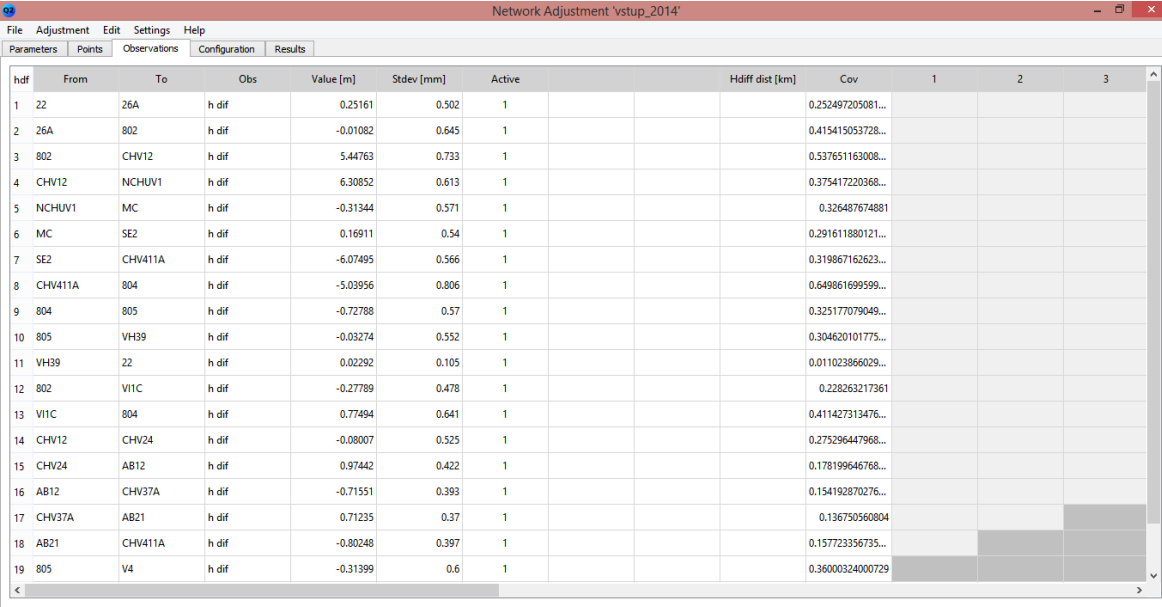
Dalším způsobem vyrovnání je využití programu GNU GaMa. Jedná se o software pro výpočet a vyrovnání geodetických sítí. K výpočtu v tomto programu bylo přihlédnuto i z důvodu jeho používání současným zpracovatelem.

Zdroje pro vypracování této kapitoly: [25]

### 6.6.1 Program GNU GaMa

Program GNU GaMa je projekt volně přístupného programu určeného na vyrovnávání geodetických sítí. Hlavním autorem a koordinátorem projektu je Prof. Ing. Aleš Čepek, Csc. Tento program je vhodný i pro výpočet nivelačních sítí.

Pro výpočet byla použita verze gama-local-1.10, která nemá grafické uživatelské prostředí. Její výhodou je, že jí není třeba instalovat, pouze stačí spustit. Naopak nevýhodou je spouštění a vstup dat přes příkazový řádek. Další nevýhodou je přesné před chystání vstupního souboru. Ten musí být napsán ve formátu XML. Vstupní soubory jsou v přílohách.



The screenshot shows the 'Network Adjustment' window of the GNU GaMa software. The window title is 'Network Adjustment 'vstup\_2014''. The menu bar includes 'File', 'Adjustment', 'Edit', 'Settings', and 'Help'. Below the menu bar are tabs for 'Parameters', 'Points', 'Observations', 'Configuration', and 'Results'. The main area displays a table with the following columns: 'hdf', 'From', 'To', 'Obs', 'Value [m]', 'Stdev [mm]', 'Active', 'Hdiff dist [km]', 'Cov', and three columns labeled '1', '2', and '3'. The table contains 19 rows of data, each representing an observation between two points.

hdf	From	To	Obs	Value [m]	Stdev [mm]	Active	Hdiff dist [km]	Cov	1	2	3
1	22	26A	h dif	0.25161	0.502	1		0.252497205081...			
2	26A	802	h dif	-0.01082	0.645	1		0.415415053728...			
3	802	CHV12	h dif	5.44763	0.733	1		0.537651163008...			
4	CHV12	NCHUV1	h dif	6.30852	0.613	1		0.375417220368...			
5	NCHUV1	MC	h dif	-0.31344	0.571	1		0.326487674881			
6	MC	SE2	h dif	0.16911	0.54	1		0.291611880121...			
7	SE2	CHV411A	h dif	-6.07495	0.566	1		0.319867162623...			
8	CHV411A	804	h dif	-5.03956	0.806	1		0.649861699599...			
9	804	805	h dif	-0.72788	0.57	1		0.325177079049...			
10	805	VH39	h dif	-0.03274	0.552	1		0.304620101775...			
11	VH39	22	h dif	0.02292	0.105	1		0.011023866029...			
12	802	V11C	h dif	-0.27789	0.478	1		0.228263217361			
13	V11C	804	h dif	0.77494	0.641	1		0.411427313476...			
14	CHV12	CHV24	h dif	-0.08007	0.525	1		0.275296447968...			
15	CHV24	AB12	h dif	0.97442	0.422	1		0.178199646768...			
16	AB12	CHV37A	h dif	-0.71551	0.393	1		0.154192870276...			
17	CHV37A	AB21	h dif	0.71235	0.37	1		0.136750560804			
18	AB21	CHV411A	h dif	-0.80248	0.397	1		0.157723356735...			
19	805	V4	h dif	-0.31399	0.6	1		0.36000324000729			

Obrázek 11: grafické uživatelské rozhraní programu GNU GaMa

Zdroj: vlastní zpracování

Druhou použitou verzí je GaMa-Q2. Ta má již grafické uživatelské prostředí a ovládání a nastavení výpočtu je v interaktivních oknech. Data jsou rovněž nahrávána v souboru XML, ale je možná jejich následná editace. Tato verze rovněž umí zobrazit graficky síť včetně elips chyb pro vyrovnané body (možné jen pro polohově určené body). Naopak nevýhodou je absence měřítka u grafického zobrazení a hlavně je neodladěno vyrovnání. Některé typy sítí

(hlavně 3D) tato verze nezvládne vyrovnat nebo je vyrovná špatně. Výpočet nivelační sítě Elektrárny Chvaletice v této verzi dopadl stejně jako u verze gama-local 1.10 a u výpočtu v Matlabu.

### **6.6.2 Vstup dat**

Před samotným vyrovnáním byla naměřená data zpracována a zkontrolována viz kapitola 6.2. Do vyrovnání tedy vstupovala převýšení mezi body a směrodatná odchylka. Program GNU GaMa vypočítává váhy podle vstupních směrodatných odchylek nebo u nivelace ze známé délky nivelačního oddílu. Pokud je zadána délka je váha vypočtena dle (58). Pokud bude použito jiných vah, musí být podle nich určena směrodatná odchylka.

Pro její výpočet bylo nejprve nutné znát váhy určené dle vzorce (11). Z vah byla zpětně podle vzorce (57) dopočtena směrodatná odchylka převýšení. Tento způsob je poněkud zdlouhavý ale matematicky správný.

Fixní bod byl zvolen 22 se známou výškou vypočítaného výškového horizontu pro rok 2014 a rok 2015. Dále byla zvolena vstupní apriorní jednotková odchylka. Ta byla zvolena jako požadovaná přesnost měření. Byla volena i hodnota spolehlivosti statistického testování (na 95%) a chyba z jaké budou vypočteny směrodatné odchylky vyrovnaných výšek.

Samotný vstupní soubor (v přílohách) je rozdělen do několika částí. První je nastavení sítě, její otočení atd. Druhým je nastavení parametrů vyrovnání jako velikost apriorní odchylky atd. Ve třetí části jsou fixované body a hledané neznámé a v poslední části jsou hodnoty měření a informace o měření.

### **6.6.3 Výsledky vyrovnaných etap**

Vyrovnané hodnoty, jsou stejné jako u provedeného vyrovnání v programu Matlab. Celé výstupy jsou v protokolech umístěných v přílohách této práce. Pro přehlednost jsou v této kapitole umístěny pouze tabulky s vyrovnanými výškami a jejich přesností.

**Tabulka 18: vyrovnané výšky v programu GaMa etap 2014 a 2015**

etapa 2014			etapa 2015		
bod	výška [m]	m <sub>H</sub> [mm]	bod	výška [m]	m <sub>H</sub> [mm]
26A	210,05472	0,10	26A	210,05394	0,30
802	Neuvedeno	0,10	353	Neuvedeno	0,40
CHV1-1	Neuvedeno	0,20	CHV1-2	Neuvedeno	0,60
NCHUV1	221,79993	0,20	NCHUV1	221,79979	0,60
MC	221,48641	0,20	MC	221,48621	0,60
SE2	221,65545	0,20	SE2	221,65487	0,60
CHV4-11A	Neuvedeno	0,20	MV3	210,55717	0,50
804	Neuvedeno	0,10	CHV4-11A	Neuvedeno	0,60
805	209,81297	0,10	442	Neuvedeno	0,60
VH39	209,78022	0,20	V82	210,69126	0,50
VI-1C	209,76596	0,20	VH39	209,77869	0,50
CHV2-4	215,41150	0,20	VI-1C	209,76524	0,50
AB1-2	216,38596	0,20	CHV2-4	215,41086	0,60
CHV3-7A	215,67049	0,20	AB1-2	216,38549	0,60
AB2-1	216,38287	0,20	CHV3-7A	215,67012	0,60
V4	209,49898	0,20	AB2-1	216,38286	0,60
			V4	209,49832	0,60

Zdroj: vlastní zpracování

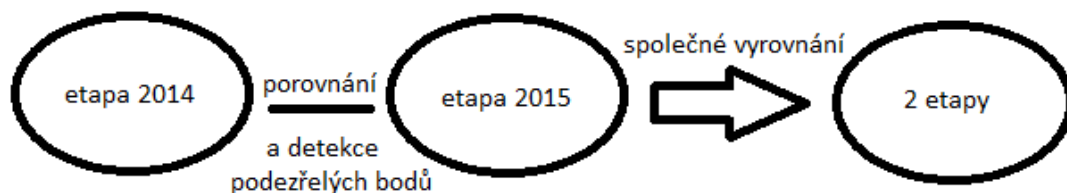
#### 6.6.4 „Sekvenční vyrovnání“ všech etap

V rámci této práce byl proveden drobný pokus ohledně způsobu vyrovnání. Bylo provedeno vyrovnání více etap dohromady. Cílem tohoto pokusu je přesněji stanovit posuny bodů nivelační sítě při vyrovnávání více etap dohromady.

Pro tento pokus byly použity etapy 2014 a 2015. Etapa 2016 a 2017 byly vymyšleny. Jedná se o upravenou etapu 2015. Obě etapy jsou shodné. Pro etapu měření 2018 byla použita data z etapy 2014.

Výškový horizont byl pro roky 2014 a 2015 použit jako při normálním porovnání. Výškové horizonty pro etapy 2016 a 2017 byly posunuty v tendenci posunu, a to oprava o -0,20 mm za rok. Pro fiktivní etapu roku 2018 byl výškový horizont opraven o -0,19 mm.

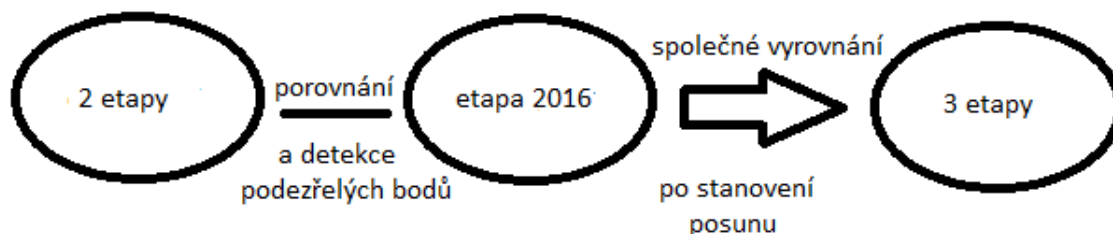
Na začátku byly jednotlivě vyrovnány etapy 2014 a 2015. Výsledky byly porovnány a určen podezřelý bod VH39. Poté byly obě etapy vyrovnány dohromady, kde bod VH39 nebyl vyrovnán jako jeden, ale byl rozdělen na bod VH39.14 a VH39.15. Hodnota výškového horizontu, pro společné vyrovnání, byla použita z roku 2015.



**Obrázek 12: schéma vyrovnání dvou etap**

Zdroj: vlastní zpracování

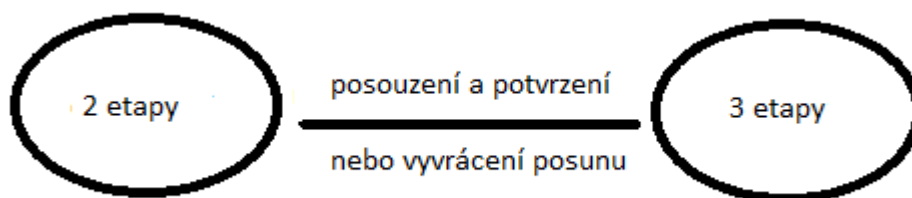
Poté byla samostatně vyrovnána etapa 2016. Výsledky této etapy byly porovnány s výsledky společného vyrovnání dvou etap. Výška bodu VH39.16 byla porovnána s výškou bodu VH39.14 i VH39.15. Z porovnání bylo patrné, že žádný bod již nepřekročil mezní odchylku. Rovněž je možné posoudit, mezi kterými etapami došlo k posunu. Mezi bodem VH39.14 byl větší rozdíl než mezi VH39.15, proto byl bod VH39.14 ponechán a VH39.15 byl pro společné vyrovnání ztotožněn s bodem VH39.16. Následovalo vyrovnání všech tří etap. Hodnota výškového horizontu, pro porovnání vyrovnání tří etap, byla použita z roku 2016.



**Obrázek 13: schéma pro porovnání více etap s aktuální etapou**

Zdroj: vlastní zpracování

Poté následovalo porovnání vyrovnání tří etap s dvěma. Tímto postupem bylo potvrzeno případně vyvráceno tvrzení o posunu bodů. V tomto případě bylo tvrzení správné a posun mezi etapou 2015 a 2016 na bodě VH39 nebyl prokázán.



**Obrázek 14: schéma porovnání vyrovnání více etap**

Zdroj: vlastní zpracování

Pro etapu 2017 byl proveden naprosto shodný postup jako v předchozím případě. Jenom už nebyla porovnávána se dvěma etapami, ale se třemi. Bylo provedeno posouzení posunů. Jelikož žádný bod nebyl určen jako podezřelý, mohlo proběhnout vyrovnání čtyř etap. Zde byl bod VH39.16 ztotožněn s bodem VH39.17 a výškový horizont stanoven z roku 2017. Poté bylo opět provedeno porovnání všech etap (tři etapy se čtyřmi).

Poslední etapa 2018 byla rovněž vyrovnána samostatně a bylo provedeno posouzení posunů. Bod VH39.18 byl stanoven jako podezřelý. Do společného vyrovnání vstupovaly tedy tři body VH39.14, VH39.17 a VH39.18. Z hromadného vyrovnání a posouzení posunů vůči čtyřem vyrovnaným etapám vyšlo, že mezi body VH39.14 a VH39.18 nebyl prokázán posun, kdežto mezi bodem VH39.17 a VH39.18 ano. Pro další postup by bylo pokračováno se všemi třemi těmito body.

Vyrovnání dalších etap by proběhlo analogicky s dosavadním postupem. Celé provedení bylo v programu GaMa.

## **6.7 Analýza výsledků**

Vypočtené výsledky je nutné i vhodně vyhodnotit a zjistit stálost nebo naopak posun bodů základních nivelačních pořadů. Bez správného vyhodnocení ztrácejí předchozí kapitoly o výpočtu a zpracování význam.

### 6.7.1 Kontrola přesnosti vyrovnání sítě

Test kontroly přesnosti je jednoduchý. Musí být splněna podmínka, že mezní směrodatná odchylka je větší nebo rovna úplné směrodatné odchylce:

$$S_s \leq S_M \quad (60)$$

Kde  $S_M$  ... výběrová mezní odchylka vypočtená dle vzorce (9)  
 $S_s$  ... úplná směrodatná odchylka (vypočtená z vyrovnání sítě)

Tento test je proveden pro všechny typy vyrovnání sítě. Ze všech typů programů a vyrovnání vyšla hodnota úplné směrodatné odchylky:

**Tabulka 19: posouzení přesnosti vyrovnání**

	$S_s$ 2014 [mm]	$S_s$ 2015 [mm]	$S_M$ [mm]
<b>Matlab</b>	0,22	0,57	0,30
<b>GaMa</b>	0,22	0,57	0,30

Zdroj: vlastní zpracování

Výpočet etapy 2015 nesplňuje dané podmínky a neměla by být brána v úvahu pro stanovení posunů. Jenže výpočet proběhl z dodaných dat, která nebyla kompletní. Dané měření dílčích úseků etapy, však bylo provedeno několikrát a pro splnění podmínek poté vyhovovala. Tato data nebyla k dispozici.

### 6.7.2 Analýza posunů jednotlivých etap

Posouzení posunu bodů hlavních nivelačních pořadů je stěžejní záležitostí pro správné určení posunů sledovaných objektů. Pro stanovení posunu bylo voleno několik způsobů.

Jedním z osvědčených způsobů posouzení posunů je porovnání dosažených směrodatných odchylek bodů dvou po sobě jdoucích etap. Před výpočtem mezního rozdílu by měla proběhnout kontrola (podle kapitoly 5.2.3), zda dosažené odchylky na bodech jsou shodné, protože poté může dojít k zjednodušení vzorce pro výpočet mezního rozdílu. Mezní rozdíl je vypočten podle vzorce (26). Rozdíl výšek etap je stanoven jako:

$$\delta = H_i - H_{i-1} \quad (61)$$

Kde  $H_i$  ... výška bodu z aktuální (i-té) etapy

$H_{i-1}$ ... výška bodu z předchozí etapy

**Tabulka 20: stanovení posunu - porovnání etap**

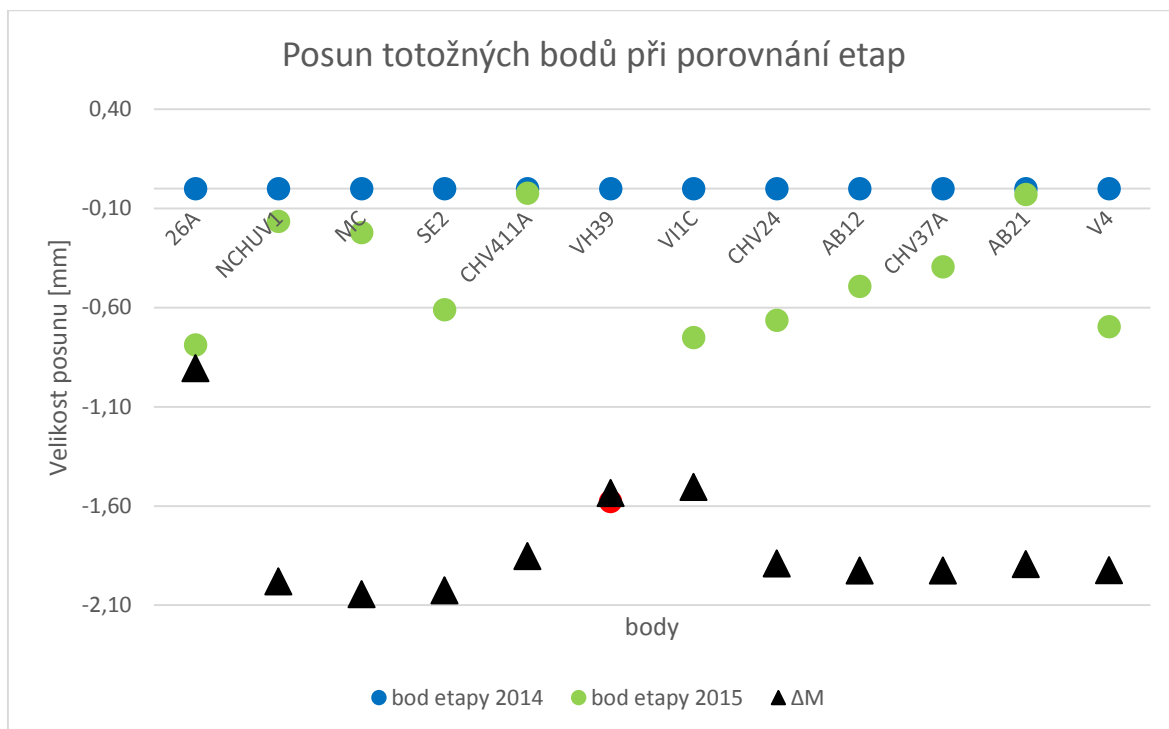
bod	$m_h$ 2014 [mm]	bod	$m_h$ 2015 [mm]	$\delta$ [mm]	$\Delta$ [mm]
26A	0,10	26A	0,28	-0,79	<b>0,91</b>
802	0,16	353	0,43	-	-
CHV11	0,20	CHV1-2	0,55	-	-
NCHUV1	0,23	NCHUV1	0,62	-0,17	<b>1,98</b>
MC	0,23	MC	0,64	-0,22	<b>2,04</b>
SE2	0,23	SE2	0,64	-0,61	<b>2,03</b>
-	-	MV3	0,62	-	-
CHV4-11A	0,21	CHV4-11A	0,58	-0,02	<b>1,85</b>
804	0,18	442	0,49	-	-
805	0,19	V82	0,50	-	-
VH39	0,18	VH39	0,48	<b>-1,58</b>	<b>1,54</b>
VI-1C	0,18	VI-1C	0,47	-0,75	<b>1,51</b>
CHV2-4	0,22	CHV2-4	0,59	-0,66	<b>1,89</b>
AB1-2	0,22	AB1-2	0,60	-0,49	<b>1,93</b>
CHV3-7A	0,22	CHV3-7A	0,60	-0,39	<b>1,93</b>
AB21	0,22	AB2-1	0,59	-0,03	<b>1,89</b>
V4	0,23	V4	0,60	-0,70	<b>1,92</b>

Zdroj: vlastní zpracování

Pro stanovení hodnot mezního posunu byl zvolen koeficient spolehlivosti  $u_p = 3$ . Tento koeficient je volen pro měření v obtížných podmínkách. Navíc tento koeficient spolehlivosti je i ve vnitřních předpisech elektrárny. Z tabulky je tedy patrné, že na bodu VH39 došlo k posunu. Pokud by bylo použito jiného koeficientu spolehlivosti (2,5 nebo 2), byl by posun i na bodě 26A.

Posun bodů byl zobrazen i graficky aby bylo možné posoudit tendenci posunu bodů a pro další roky s nimi počítat a lépe je předpovídat.





**Obrázek 15: graf porovnání posunů totožných bodů etap**

Zdroj: vlastní zpracování

### 6.7.3 Analýza posunů všech etap vyrovaných „sekvenčně“

Výhoda tohoto postupu je v zpřesňování určení jednotlivých bodů a tím snížení nejistoty při prokazování posunů. Jelikož by tabulky s jednotlivými zabraly mnoho místa, budou k dispozici v přílohách. Pro prokázání několika výhod budou ale k dispozici tabulky s dosaženými přesnostmi bodů.

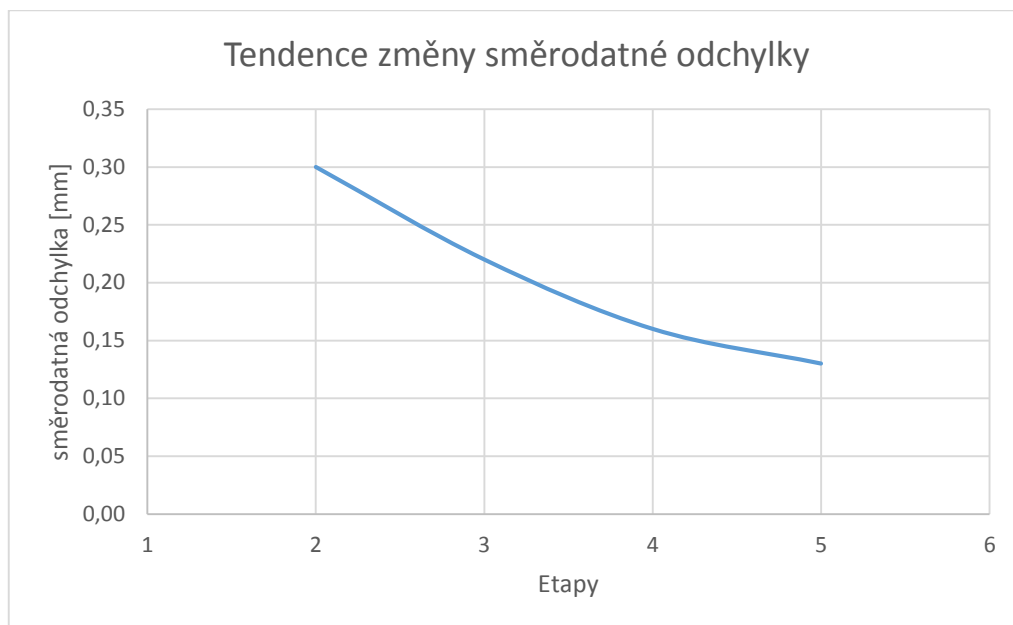
**Tabulka 21: Porovnání dosažených přesností sekvenčním vyrovnáním**

<b>bod</b>	<b>m<sub>H</sub> 2 etapy [mm]</b>	<b>m<sub>H</sub> 3 etapy [mm]</b>	<b>m<sub>H</sub> 4 etapy [mm]</b>	<b>m<sub>H</sub> 5 etapy [mm]</b>
<b>26A</b>	0,10	0,10	0,10	0,10
<b>802</b>	0,20	0,20	0,20	0,10
<b>CHV1-1</b>	0,30	0,30	0,20	0,20
<b>NCHUV1</b>	0,30	0,20	0,20	0,20
<b>MC</b>	0,30	0,20	0,20	0,20
<b>SE2</b>	0,30	0,20	0,20	0,20
<b>CHV4-11A</b>	0,30	0,20	0,20	0,10
<b>804</b>	0,20	0,20	0,20	0,10
<b>805</b>	0,20	0,20	0,10	0,10
<b>VH39.14</b>	0,10	0,10	0,10	0,10
<b>VI1C</b>	0,20	0,20	0,10	0,10
<b>CHV1-2</b>	0,30	0,20	0,20	0,10
<b>CHV2-4</b>	0,30	0,20	0,20	0,20
<b>AB1-2</b>	0,30	0,20	0,20	0,20
<b>CHV3-7A</b>	0,30	0,20	0,20	0,20
<b>AB2-1</b>	0,30	0,20	0,20	0,10
<b>V4</b>	0,30	0,20	0,20	0,10
<b>353</b>	0,20	0,20	0,10	0,10
<b>442</b>	0,30	0,20	0,10	0,10
<b>MV3</b>	0,30	0,20	0,20	0,20
<b>V82</b>	0,30	0,20	0,10	0,10
<b>VH39.17</b>	0,30	0,20	0,20	0,10
<b>VH39.18</b>	-	-	-	0,10

Zdroj: vlastní zpracování

I když se nepodařilo v programu GaMa nastavit výstup na víc desetinných míst je z výsledků patrné, že pokud budou etapy měření obdobně přesné, bude se snižovat směrodatná odchylka výšky bodu.

Uvedená data byla proložena křivkou (polynomem 3 stupně) aby bylo možné pozorovat tendenci vývoje směrodatné odchylky.



**Obrázek 16: tendence změny směrodatné odchylky při sekvenčním vyrovnání**

Zdroj: vlastní zpracování

## 7 Program na vyrovnání výškových sítí

Pro potřeby výpočtu byl hledán program, v kterém by bylo možné provádět libovolné výpočty. Rovněž byl hledán program na maticový počet, a který by uměl výpočty opakovat bez ohledu na vstup dat. Pro tyto podmínky byl zvolen program Matlab.

V něm byla snaha sepsat alespoň funkce, které by bylo možné kdykoliv aplikovat. Byla snaha vytvoření funkcí tak, aby je bylo možné aplikovat nejen v programu Matlab, ale i v příbuzných volně přístupných programech jako Scilab nebo Octave.

### 7.1 Výpočetní software Matlab

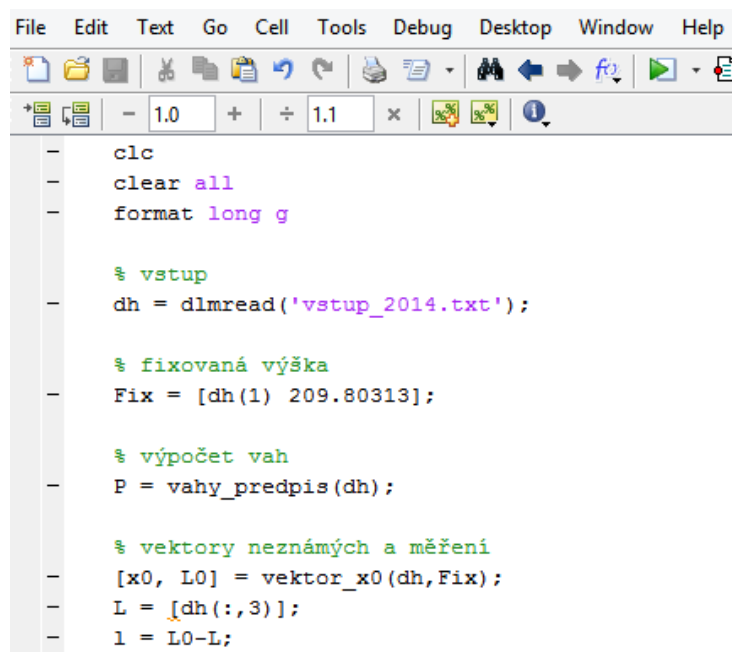
Program Matlab neboli matrix laboratory je skriptovací jazyk, který umožňuje maticové výpočty, práci s dvou i tří rozměrnými grafy, simulaci nebo statistickou analýzu. Je vyvíjen společností MathWorks a programovacím je psán v jazyce C++. Dnes je hojně využíván hlavně technickými odborníky, vědeckými nebo akademickými institucemi.

Jeho praktickou výhodou je schopnost fungování pod operačními systémy Windows, Linux a MAC OS. Naopak nevýhodou je, že se nejedná o volně přístupný program, ale funguje pod placenou licenci. To donutilo jiné vývojové skupiny k vytvoření obdobných matematických programů. Jedná se např. o program Scilab, Octave nebo FreeMat. Jenže tyto programy nedisponují takovými možnostmi jako Matlab.

Podle mnohých není považován přímo za programovací jazyk, i tak ale zvládá některé prvky programovacího jazyka. Umí zejména práci s proměnnými. S nimi je schopen pracovat v celočíselných i ve formátech s plovoucí čárkou, popřípadě s textovými řetězci.

Zvládá typický znak programovacího jazyka a tím jsou cykly a podmínky. Cykly slouží k opakování stejného výpočtu k iteraci atd. Jedná se o cyklus *for* a *while* a podmínku *if*.

Využitím práce s cykly a proměnnými je možné vytvářet algoritmy a z nich výpočetní skripty nebo funkce. Tyto funkce lze využívat a rozšířit si tak možnosti práce.



```
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
- - - - -
- clc
- clear all
- format long g
-
- % vstup
- dh = dlmread('vstup_2014.txt');
-
- % fixovaná výška
- Fix = [dh(1) 209.80313];
-
- % výpočet vah
- P = vahy_predpis(dh);
-
- % vektory neznámých a měření
- [x0, L0] = vektor_x0(dh, Fix);
- L = [dh(:, 3)];
- l = L0-L;
```

**Obrázek 17: ukázka výpočetního skriptu v programu Matlab**

Zdroj: vlastní zpracování

Zdroje pro vypracování této kapitoly: [21]

## 7.2 Vyrovnání nivelační sítě

Pro vyrovnání nivelační sítě byla sepsána funkce, která umí provést vyrovnání MNČ pro nivelační síť. Neumí vyrovnávat polohové nebo prostorové sítě.

### 7.2.1 Vstup dat

Vstup dat jde do skriptu ve formátu textového souboru. Vstupní soubor musí mít, ale určitá pravidla jinak výpočet neproběhne.

Vstup dat musí vypadat takto. Musí tam být bod, z kterého se vychází bod a bod na který je převýšení měřeno. Body musí být značeny v celočíselném tvaru, místo bodu MC bude například číslo 11. Další vstupní hodnoty jsou převýšení, délka přestavy a jejich počet.

1. bod	2. bod	převýšení	délka	počet přestav
3	4	5.447630	0.232	8
4	5	6.308523	0.154	6
5	6	-0.313443	0.167	4
6	7	0.169113	0.134	4
7	8	-6.074948	0.120	6
8	9	-5.039560	0.296	9
9	10	-0.727875	0.165	4
10	11	-0.032735	0.145	4
11	1	0.022915	0.543	14
3	12	-0.277888	0.109	3

**Obrázek 18: ukázka vstupu dat do programu Matlab**

Zdroj: vlastní zpracování

V druhém vstupním souboru musí být číslo bodu se známou výškou a tuto výšku.

### 7.2.2 Funkce výpočtu vektoru neznámých a vektoru funkce $\bar{l}$

Tato funkce slouží k výpočtu vektoru neznámých a vektoru funkce  $\bar{l}$ . Využívá se čísel bodů na vyhledání převýšení a jsou vypočteny výšky hledaných bodů. Z nich jsou poté vybrány výšky, tak aby každý bod měl určenou pouze jednu výšku. Ty jsou vloženy do vektoru neznámých.

Z vektoru neznámých jsou postupně dopočteny převýšení mezi jednotlivými body. Tím je naplněn vektor  $\bar{l}$ . Jako identifikátor při výpočtu slouží čísla bodů.

### 7.2.3 Funkce matice vah

Účelem této funkce je naplnit matici vah měření. Ta vypočte váhy podle vzorce (11). Délku a počet přestav bere ze vstupního souboru.

### 7.2.4 Funkce matice plánu

Při programování této funkce bylo využito skutečnosti, že parciální derivace v tomto případě vcházejí 0, 1 nebo -1. Ve vstupním souboru byly vyhledány čísla bodů a jejich pořadí. Pokud například bylo převýšení z bodu 3 na bod 4, dostalo místo v matici pro parciální derivaci hodnotu -1 na bod 4 hodnotu 1 a zbytek hodnot byl roven nule.

### 7.2.5 Výpočet MNČ

Tento výpočet nebyl volán ve funkci, ale ve výpočetním skriptu, který výše uvedené funkce používá. Musí sem být nahrány i vstupní soubory. Ve výše uvedených funkcích byly

uvedeny všechny potřebné věci pro výpočet vyrovnání MNČ. Tento výpočet proběhl podle kapitoly 5.1.5.

### **7.2.6 Výstup**

Výstup je v hlavním okně programu. Ve výstupu jsou vyrovnané výšky a jejich chyby, aposteriorní jednotková chyba vyrovnání, vyrovnaná převýšení a jejich přesnost a opravy. Vše je zaokrouhleno na patřičný počet desetinných míst a uvedené jednotky. Pokud by tento výstup byl nepostačující, stačí pouze přidat požadovanou výstupní veličinu ve skriptu.

## **8 Doporučení výpočtu a měření**

Ke konci by bylo vhodné doporučit některé z výše uvedených postupů měření a výpočtu. Bylo vyzkoušeno několik příkladů a ty neoptimálnější budou doporučeny. Návody na jejich aplikaci jsou ve výše uvedených kapitolách.

### **8.1 Doporučená metoda měření**

Pro dosažení přesnosti VPN I. řádu je vhodné dbát na metodiku měření a dodržet jisté zásady. Dodržením těch to zásad by měla být zaručena přesnost výsledku.

Před samotnou etapou je vhodné provést kalibraci používaných přístrojů a pomůcek. Tím se omezí vliv mnoha chyb. Na místě měření pak provést polní zkoušku přístroje pro zjištění odchylky způsobené nevodorovností záměrné přímkou.

Do nivelačního přístroje Leica DNA03 je možné nastavit výše uvedenou opravu, ale lze nastavit i jiné opravy.

Jestli jsou během měření používány dvě nivelační latě, je potřeba dbát na sudý počet přestav a správné střídání latí mezi jednotlivými přestavami při měření směrem tam a zpět. Jde o to, aby se snížil vliv systematické chyby z nestejného počátku laťového metru každé latě.

Délku i počet přestav je doporučeno rozvrhnout předem. Délku přestav, je vhodné rozměřit dopředu např. měřickým kolečkem a rovnou hlídat jejich počet. Označit místa pro postavení latí a stroje, kde si pomocí písmene T vyznačit umístění noh stativu.

U rozměřování je potřeba hlídat délku záměr a jejich výšku nad terénem. Délka záměr by neměla překročit 30 m a minimální výška nad terénem 0,8 m. Dodržením těchto zásad se snižuje vliv refrakce. Pokud to situace dovoluje, je vhodné vést nivelační pořad po stejném povrchu a zbytečně nevést záměru přes několik typů povrchů.

Digitální nivelační přístroje umí provést čtení jen za podmínek dostatečně velkého viditelného úseku latě. U používané nivelačního přístroje Leica DNA03 je minimální doporučený viditelný úsek latě  $\pm 20$  cm od středu zacílení.

Pro lepší udržení latě, je vhodné použít nohy nebo jiné podpěry, které pomohou udržet lať svisle. Výrobce tyto nohy dodává, ale jejich nevýhodou je váha a velikost, která omezuje přesun. Obdobným řešením je použití dřevěných výtyček, které se zaprou do madel latě. Výtyčky jsou lehčí, ale je to další věc, se kterou musí figurant manipulovat. Bez pomoci opěr může mít figurant problémy s urovnáním latě za špatných povětrnostních podmínek nebo se unavit a na konci měření se to může negativně projevit. Pro VPN jsou opěry povinné.

Pokud to povětrností podmínky a provozu elektrárny dovolí, je vhodné provádět měření směrem tam v jiný den a jinou denní dobu než směrem zpět. Kvůli provozu je vhodné si měření rozdělit na menší úseky a například pořad číslo jedna neměřit celý na jednou ale rozdělit na menší oddíly. Tím se snižuje riziko přerušování měření, kvůli přednosti provozu elektrárny.

Posledním doporučením je měřit všechny hlavní nivelační pořady, které budou mít stále ty samé body, tak aby byla možná jejich kontrola z různých etap. Jinak totiž ztrácí etapové měření hlavních nivelačních pořadů význam.

## **8.2 Kontrola měření**

Naměřená data je potřeba kontrolovat jak během měření, tak po něm. Nedojde tak situaci, kdy je před vyrovnáním v kanceláři nalezen chybně změřený nivelační pořad.

První kontroly je nutné provádět již během měření. Měřič by si měl hlídat délku záměr a jejich výšku nad terénem. Kontrolovat pozici figurantů s latěmi. Dále si hlídat rozdíl mezi dvojím čtením aby nepřekročil mezní hodnotu 0,2 mm.

Po měření je nutné provést korekce, které nivelační přístroj nedělá automaticky a vypočítat převýšení. Rozdíl převýšení oddílů i pořadů je nevhodněji provést podle stanov měření v ČSNS. Rozdíl tedy porovnat s mezními rozdíly určené v kapitole 4.2.1 a 4.2.4.

## **8.3 Určení výškového horizontu**

Doposud využívaná metoda určení výškového horizontu se jeví jako vhodná. Ale po určitém čase by měla být provedena kontrola posunu těžiště, zda nedošlo k nějakým změnám mezi posunem celé sítě a výškového horizontu.

Jediným problémem je malé množství ověřovacích bodů. Z nich bod 23 projevuje tendence posunu. Vyloučením tohoto bodu by zůstaly pouze dva body výškového horizontu, což je málo na ověření jeho stálosti nebo změny. Ve vnitřních předpisech elektrárny je minimální počet stanoven na šest. Proto by mělo být bodové pole výškového horizontu doplněno o další body. Je několik možností.

Asi nejjednodušší a vhodnou možností je doplnění stávajícího výškového horizontu o požadovaný počet bodů. Tyto body rozmístit do míst, kde nehrozí jejich zničení a ovlivnění jejich případného posunu objektem elektrárny. Tyto body je důležité vhodně stabilizovat.

Druhým způsobem je vybudování nového výškového horizontu v místech, kde nedochází k posunu a ani geologický průzkum nepředpokládá výrazné ovlivnění posunem objektu elektrárny. Tento způsob je ale časově i finančně náročnější než předešlý.

Třetím způsobem je vybudovat jeden nový výškový horizont a doplnit alespoň o jeden stávající. Nový výškový horizont umístit do oblasti s předpokládaným minimálním nebo žádným posunem. Výhodou dvou horizontů je kontrola a další veličina pro zpřesnění vyrovnání. Nevýhodou může být nestejný posun obou horizontů a celé sítě. Navíc i tento způsob je náročnější na vybudování.

#### **8.4 Určení vah měření**

Vyrovnání bylo provedeno v několika variantách použitých vah. Váhy byly určeny z předpisů, v závislosti na délce pořadu a v závislosti na počtu sestav. Tyto způsoby byly porovnány.

Váhy pro vliv délky je vhodné stanovit pro malé převýšení s relativně dlouhými záměry. Pro nivelační síť elektrárny Chvaletice, kde jsou různě dlouhé záměry kvůli třem výškovým úrovním, které procházejí prostorem elektrárny, není tento výpočet vah vhodný.

Výpočet vah ze závislosti vlivu chyby přestavy rovněž není vhodný. Musely by všechny záměry být stejně dlouhé a tím i vykazovat stejnou přesnost. Jenže vzdálenosti jsou různě dlouhé a rovněž i jejich chyba viz výpočet směrodatné odchylky přestavy v kapitole 6.2.2.

Digitální nivelační přístroje splňují svoji přesnost (stanovenou výrobcem) jen na určitou vzdálenost u přístroje Leica DNA03 je délka této záměry zhruba 30 m. Pro kratší vzdálenost se přesnost chová jinak (podle [22]).

Z výsledků uvedených v kapitole 6.3.4 je patrné, že vzorec (11) pro určení vah, který je uveden v předpisech, je přizpůsoben měření v elektrárně Chvaletice. A není tedy důvod ho přestat používat.



## 8.5 Výpočet a vyhodnocení výsledků

Nejoptimálnějším vstupem dat do vyrovnání je zkontrolované převýšení, délka pořadu a počet sestav. Nedoporučuje se vstup všech dat bez předchozí kontroly.

Jedním z vhodných programů pro vyrovnání nivelační sítě je program GaMa. Její výhodou je, že se jedná o volně přístupný software. Nevýhodou je to, že není zrovna „přátelská“ pro uživatele. Ale v této práci byla snaha najít vhodné řešení pro práci s tímto programem.

Další možností je využití matematického programu Matlab nebo některé jeho volně přístupné adaptace. Funkce pro výpočet byly sepsány a jsou plně funkční a pro relativně jednoduchou nivelační síť jakou je nivelační síť elektrárny Chvaletice je vhodné využít metodického návodu vyrovnání a využít těchto funkcí.

Výpočet posunů k redukci těžiště by byl vhodný v případě, že by nedocházelo k posunům výškového horizontu. Je to vhodné pro stanovení relativního posunu ve vnitřní síti, ale mohl by nastat problém při určení absolutní výšky bodů.

Sekvenční vyrovnání je na první pohled velmi obtížné a na tento postup není přímo určený software, ale z pokusu lze soudit, že dojde ke zpřesnění určení posunu bodu a lépe předpovídat následný vývoj posunu celé sítě.

Nejvhodnějším způsobem prokázání posunu je výpočet mezního rozdílu podle vzorce (26). Tento mezní rozdíl ovšem aplikovat na přesnosti jednotlivých bodů a nikoliv na přesnost celé sítě.(25)

## 9 Závěr

Cílem této práce bylo zpracovat a vyhodnotit měření nivelační sítě Elektrárny Chvaletice. Pro zpracování byly poskytnuty dvě etapy měření a to z roku 2014 a 2015. Dále byly poskytnuty používané metodické návody a technické zprávy ze zpracování do roku 2012. Z jejich zpracování byly stanoveny závěry a doporučení.

Byla zpracována dosavadní metodika měření a výpočtu. Z metodik byly uvedeny nejdůležitější části, které byly pro přehlednost sepsány v této práci.

Dále byly zpracovány postupy k měření posunů a přetvoření. Zde byl hlavní důraz kladen na metodu geometrické nivelace. Měření geometrické nivelace s přesností VPN I. řádu nivelace, byl napsán jako možný návod. Rovněž byl popsán způsob stanovení přesnosti a dosažených směrodatných odchylek geometrické nivelace.

Kapitola zabývající se metodou vyrovnání, byla sepsána, tak aby mohla sloužit jako návod pro vyrovnání nivelačních měření metodou nejmenších čtverců.

Dosavadní teorie výpočtu a zpracování byla použita na poskytnutá data. Nejvhodnější zpracování měření se jeví výpočet převýšení, která jsou kontrolována s mezními odchylkami mezi měřeními tam a zpět stanovených metodikou zpracování ZÚ.

Byla provedena kontrola určování dosavadních vah měřených převýšení. Byly použity tři způsoby stanovení vah. Výpočet vah pro jednotlivá převýšení prováděných dosavadním způsobem se nakonec jeví jako dostačující pro vyhodnocování měření nivelační sítě elektrárny Chvaletice. Pro jinou nivelační síť by nemusel být vhodný.

Pro vyrovnání a stanovení posunů bylo zvoleno několik metod. Stejně výsledky poskytuje vyrovnání v programu GaMa i ve vlastním výpočetním skriptu v programu Matlab. Bylo vyzkoušeno stanovení posunu bodů redukcí k těžišti z vyrovnaných dat. Poslední metodou vyrovnání bylo „sekvenční“ vyrovnání. Způsob tohoto vyrovnání je sice časově náročnější ale pokus ukázal, že by tento způsob mohl dosahovat větší šance na odhalení posunu. Ale tento způsob by musel být aplikován i v praxi a ne jenom na smyšlených údajích.

Shrnutím celé práce je, že měření nivelace by mělo probíhat podle metodických pokynů ZÚ. Vyrovnání bude pro aktuálního zpracovatele nejjednodušší v programu GNU GaMa, který již využívá. Ovšem mohlo by být využito i „sekvenčního“ vyrovnání více etap. Váhy použité pro vyrovnání je vhodné používat dosavadním způsobem ale dohledat vznik stanovení jejich výpočtu. Případné posuny prokazovat pomocí přesnosti daného bodu z vyrovnání etapy.

## 10 Seznamy

### 10.1 Seznam použité literatury

- [1] *Mapa Elektrárny Chvaletice* [online]. Most: Severní energetická a.s., 2013 [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: <http://www.sev-en.cz/cz/elektrina/prohlidka/index.html>
- [2] Elektrárna Chvaletice. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Elekt%C3%A1rna\\_Chvaletice](https://cs.wikipedia.org/wiki/Elekt%C3%A1rna_Chvaletice)
- [3] KELTNER, Oldřich. *Exkurze do elektrárny Chvaletice*. Kolín, 2011. Dostupné také z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/pro-media-2011/11-listopad/exkurze-do-elektarny-chvaletice.pdf>
- [4] BRÁTOVÁ, Kateřina. *Velmi přesná nivelace a nivelace obecně*. Brno, 2014. Dostupné také z: [http://fast.darmy.net/prezentace%20SZZ/01\\_vseobecne/08.%20Velmi%20presna%20nivelace.pdf](http://fast.darmy.net/prezentace%20SZZ/01_vseobecne/08.%20Velmi%20presna%20nivelace.pdf)
- [5] BÖHM, Josef a Jaroslav SVOBODA. *Geometrická nivelace*. I. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, n. p., 1960. bez ISBN.
- [6] BÖHM, Josef a Vladimír RADOUCH. *VYROVNÁVACÍ POČET*. 2. Praha: Kartografie, n. p., 1978. bez ISBN.
- [7] *IngGeo-Portál inženýrské geodézie* [online]. Praha, 2012 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://inggeo.fsv.cvut.cz/wiki/doku.php>
- [8] MOLNÁR, Jan. ČEZ, A.S. *METODIKA: PŘS měření sedání stavebních objektů*. Praha, 2013.
- [9] NUNVÁŘ, Martin a Milan CACEK. *Technická zpráva: o měření svislých posunu a statického přetvoření stavebních objektu v elektrárně CHVALETICE, provedeného v r. 2012*. Praha, 2012.
- [10] NUNVÁŘ, Martin a Jiří NOVOTNÝ. *Technická zpráva: Geodetické měření svislých posunů a statického přetvoření (měření sedání), Elektrárna Chvaletice*. Praha, 2013.
- [11] VOJTÍŠKOVÁ, Světlá a Radka TŮMOVÁ. *Technická zpráva: Geodetické měření svislých posunů a statického přetvoření stavebních objektů*. Most, 2015.
- [12] VOJTÍŠKOVÁ, Světlá. *Technická zpráva: Geodetické měření svislých posunů a statického přetvoření stavebních objektů*. Most, 2016.
- [13] HAMPACHER, Miroslav a Martin ŠTRONER. *Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii*. První. Praha: nakladatelství ČVUT (CTN), 2011. ISBN 978-80-01-04900-6.

- [14] URBAN, Rudolf. *Geodetické práce při měření posunů a deformací*. Praha: nakladatelství ČVUT (CTN), 2015. ISBN 978-80-01-05786-5.
- [15] ŠTRONER, Martin. *12. Měření posunů a přetvoření stavebních objektů*. Praha, 2014. Dostupné také z: <http://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/ING2/index.html>
- [16] *Národní geoportál Inspire* [online]. 2010 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>
- [17] ČSN 73 0405. *Měření posunů stavebních objektů*. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [18] SADÍLEK, Jakub. *Přesnost nivelačních převýšení určených digitálním nivelačním přístrojem Leica SPRINTER*. Praha, 2012. Diplomová práce. České Vysoké Učení Technické. Vedoucí práce Dr. Ing. Zdeněk Skořepa.
- [19] *METODICKÝ NÁVOD PRO PRÁCE V ZÁKLADNÍM VÝŠKOVÉM BODOVÉM POLI*. Zeměměřičský úřad. Praha, 2003.
- [20] ROKUSEK, Jaromír. *Zpracování nivelačních měření ve formátu Leica GSI*. Praha, 2014. Diplomová práce. České Vysoké Učení Technické. Vedoucí práce Prof. Ing. Aleš Čepek, CSc.
- [21] Matlab. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/MATLAB>
- [22] BRAUN, Jaroslav, Martin ŠTRONER a Pavel TŘASÁK. Experimentální určení přesnosti záměry při nivelaci. *Geodetický a kartografický obzor*. Praha, 2012, **58**(10), 11. ISSN 0016-7096.
- [23] *Geotech: Leica DNA* [online]. Bratislava: Geotech, 2008 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.geotech.sk/Produkty/Nivelacne%20pristroje/Geodeticke%20nivelacne%20pristroje/Leica-DNA.html>
- [24] *Leica Geosystems: VP Civil Surveying Instrument Pvt. Ltd.* [online]. VP Civil Surveying Instrument Pvt. Ltd., 2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.vpcivil.co.in/leica-geosystems/>
- [25] *GNU Gama* [online]. Free Software Foundation, Inc, 2013 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <https://www.gnu.org/software/gama/>

## 10.2 Seznam obrázků

Obrázek 1: mapa polohy elektrárny Chvaletice .....	- 10 -
Obrázek 2: výklopník paliva .....	- 11 -
Obrázek 3: ukázka stabilizace bodů .....	- 15 -
Obrázek 4: schéma nivelační sítě .....	- 16 -
Obrázek 5: používané nivelační přístroje (zprava Leica DNA03, Wild NAK2) ....	- 22 -
Obrázek 6: znázornění stlačitelnosti podloží .....	- 26 -
Obrázek 7: nivelace kupředu .....	- 30 -
Obrázek 8: nivelace ze středu .....	- 31 -
Obrázek 9: chyba ze zakřivení horizontu.....	- 33 -
Obrázek 10: hlavní okno programu DNAGR.....	- 49 -
Obrázek 11: grafické uživatelské rozhraní programu GNU GaMa .....	- 66 -
Obrázek 12: schéma vyrovnání dvou etap .....	- 69 -
Obrázek 13: schéma pro porovnání více etap s aktuální etapou .....	- 69 -
Obrázek 14: schéma porovnání vyrovnání více etap .....	- 70 -
Obrázek 15: graf porovnání posunů totožných bodů etap .....	- 73 -
Obrázek 16: tendence změny směrodatné odchylky při sekvenčním vyrovnání....	- 75 -
Obrázek 17: ukázka výpočetního skriptu v programu Matlab.....	- 76 -
Obrázek 18: ukázka vstupu dat do programu Matlab .....	- 77 -

## 10.3 Seznam tabulek

Tabulka 1: mezní odchylky pro pořadovou nivelaci I.-IV. řádu .....	- 29 -
Tabulka 2: výškový horizont z roku 2014 .....	- 50 -
Tabulka 3: výškový horizont 2015 .....	- 51 -
Tabulka 4: informace o pořadu č. 1 z roku 2014.....	- 52 -
Tabulka 5: informace o pořadu č. 2 z roku 2015.....	- 52 -
Tabulka 6: kontrola a přesnost měřených převýšení etapy 2014.....	- 53 -
Tabulka 7: kontrola a přesnost měřených převýšení etapy 2015.....	- 54 -
Tabulka 8: porovnání aposteriorní odchylky pro použití různých vah .....	- 57 -
Tabulka 9: porovnání oprav etapy 2014 za použití různých vah.....	- 58 -
Tabulka 10: porovnání oprav etapy 2015 za použití různých vah.....	- 59 -
Tabulka 11: vyrovnané výšky v programu Matlab etapy 2014 .....	- 60 -
Tabulka 12: vyrovnaná převýšení v programu Matlab etapy 2014.....	- 61 -
Tabulka 13: vyrovnané výšky v programu Matlab etapy 2015 .....	- 62 -
Tabulka 14: vyrovnaná měření v programu Matlab etapy 2015 .....	- 63 -
Tabulka 15: porovnání těžišť .....	- 64 -
Tabulka 16: testování kritické hodnoty pro těžiště .....	- 64 -
Tabulka 17: posuny bodů k redukovanému těžišti .....	- 65 -
Tabulka 18: vyrovnané výšky v programu GaMa etap 2014 a 2015 .....	- 68 -
Tabulka 19: posouzení přesnosti vyrovnání.....	- 71 -
Tabulka 20: stanovení posunu - porovnání etap .....	- 72 -
Tabulka 21: Porovnání dosažených přesností sekvenčním vyrovnáním .....	- 74 -