

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE
STUDIJNÍ OBOR GEODÉZIE A KARTOGRAFIE



Zaměření části měřické sítě VD Orlik, návrh doplnění a inovace metod pro sledování posunů a deformací při výstavbě skluzu bezpečnostního přelivu

Measurement of a Section of the Orlik Dam Measuring Network, Proposal for Addition and Innovation of Methods for Monitoring the Displacements and Deformations during the Construction of the Safety Overflow Slide

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Jiřikovský, Ph.D.

Bc. Jan Seidl

Praha 2019



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Seidl Jméno: Jan Osobní číslo: 396016
Zadávající katedra: Katedra speciální geodézie
Studijní program: Geodézie a kartografie
Studijní obor: Geodézie a kartografie

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Zaměření části měřické sítě VD Orlík, návrh doplnění a inovace metod pro sledování posunů a deformací při výstavbě skluzu bezpečnostního přelivu

Název diplomové práce anglicky: Measurement of a section of the Orlík dam measuring network, proposal for addition and innovation of methods for monitoring the displacements and deformations during the construction of the safety overflow slide

Pokyny pro vypracování:

Shromáždění podkladů, rekognoskace a příprava vybraných bodů sítě VD Orlík
Apriorní model přesnosti měření a výsledků
Zaměření zvolené části sítě a vybraných pozorovaných bodů
Výpočty, vyrovnání, posouzení přesnosti a praktických aspektů
Zhodnocení, závěry a doporučení pro další využití

Seznam doporučené literatury:


Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Tomáš Jiříkovský, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 22.2.2019

Termín odevzdání diplomové práce: 19.5.2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku


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“.

22. 02. 2019

Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)



Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Zaměření části měřické sítě VD Orlík, návrh doplnění a inovace metod pro sledování posunů a deformací při výstavbě skluzu bezpečnostního přelivu“ vytvořil samostatně a veškeré zdroje dat a informací jsem uvedl v použitých zdrojích na konci práce v souladu s Metodickým pokynem č. 1/2009 O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

Jan Seidl

.....

.....



Poděkování

Tímto způsobem bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Tomáši Jiříkovskému, Ph.D. a Ing. Tomáši Macháčkovi z firmy Vodní díla - TBD a.s. za odborné rady a pomoc při zpracování této práce. A kolegyni Bc. Markétě Kubelové a dalším pracovníkům firmy Vodní díla - TBD za pomoc během měření.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá zaměřením části měřické sítě VD Orlík. Cílem práce je zaměření, výpočet a statistické vyhodnocení posunů a deformací vztažné sítě a tělesa hráze. Druhotně se pak zabývá možností rozšíření vztažné sítě a inovací metod pro měření posunů a deformací.

Klíčová slova

Technickobezpečnostní dohled (TBD), prostorová geodetická síť, vyrovnání, záměrná přímka, model přesnosti, velmi přesná geodézie, inovace metod, posuny a přetvoření

Abstract

This diploma thesis is engaged in measurement of a section of the Orlík dam measuring network. The goal of this project is measurement, calculation and statistical evaluation the displacements and deformations of the reference network and dam body. Secondly, it deals with the possibility of extending reference network and innovation of methods for measuring displacements and deformations.

Key words

Technical security supervision, spatial surveying network, adjustment, measuring line, accuracy model, high accurate geodesy, method innovation, displacements and deformations



Obsah

ÚVOD	7
1 VODNÍ DÍLO ORLÍK	8
1.1 HISTORIE A VÝSTAVBA	8
1.2 POPIS VD ORLÍK.....	10
2 REKOGNOSKACE A PŘÍPRAVNÉ PRÁCE	11
2.1 REKOGNOSKACE TERÉNU	11
2.2 VZTAŽNÁ SÍŤ A POZOROVANÉ BODY	11
2.3 PODKLADY.....	14
2.3.1 <i>Archiválie</i>	14
2.3.2 <i>Program měření posunů</i>	15
2.4 ZÁMĚRNÁ PŘÍMKA	16
2.5 APRIORNÍ MODELY.....	20
2.5.1 <i>Záměrná přímka</i>	20
2.5.2 <i>Vztažná síť</i>	22
3 MĚŘENÍ	24
3.1 PŘÍPRAVA PŘED MĚŘENÍM.....	24
3.2 MĚŘICKÉ POMŮCKY	25
3.2.1 <i>Leica TM30</i>	25
3.2.2 <i>Trimble S8 HP</i>	26
3.3 MĚŘENÍ VZTAŽNÉ SÍTĚ A POZOROVANÝCH BODŮ.....	27
4 ZPRACOVÁNÍ A ÚPRAVA DAT	28
4.1 URČENÍ VÝŠKY	28
4.2 ÚPRAVA DAT TRIMBLE/LEICA	30
4.3 VNĚJŠÍ VLIVY PŮSOBÍCÍ NA MĚŘENÍ	33
5 VÝPOČTY	35
5.1 VYROVNÁNÍ.....	35
5.1.1 <i>Testování přesností</i>	39
5.1.2 <i>Posuny vztažné sítě a jejich testování</i>	42
5.2 VÝPOČET POZOROVANÝCH BODŮ	46
5.2.1 <i>Záměrná přímka</i>	46
5.2.2 <i>Minihranoly</i>	50
6 NÁVRH DOPLNĚNÍ A INOVACE	54
6.1 NÁVRH DOPLNĚNÍ VZTAŽNÉ SÍTĚ.....	54
6.2 INOVACE METOD	58
7 ZÁVĚR	60
POUŽITÉ ZDROJE	62
SEZNAM OBRÁZKŮ	63
SEZNAM TABULEK	64
SEZNAM ZKRATEK	66
SEZNAM PŘÍLOH	67

Úvod

Tato diplomová práce má za cíl zaměření části měřické sítě VD Orlick, pozorovaných bodů na tělese hráze a jejich následné vyhodnocení z hlediska posunů a deformací. Mimo jiné se zabývá i možností rozšíření stávající vztažné sítě z důvodu výstavby nového skluzu bezpečnostního přelivu a inovací metod pro sledování posunů a deformací pozorovaných bodů na tělese hráze.

V první kapitole této práce se pojednává o základních informacích o vodním díle Orlick. Především se jedná o historii oblasti, výstavbu vodního díla a základní popis samotného díla s náležitými technickými parametry.

Ve druhé kapitole je popsána rekognoskace terénu a přípravné práce před měřením. Jedná se zejména o popis samotné vztažné sítě, vyhledání dostupných podkladů v archivech, informace o projektu měření posunů a na závěr pak tvorba apriorních modelů pro měření.

Třetí kapitola pojednává o samotném průběhu měření. Popsány jsou zde přípravné práce v terénu, použité pomůcky (hlavně se jedná o popis totálních stanic využitých pro měření) a pak samotná metodika měření použitá ve všech etapách.

Ve čtvrté kapitole jsou rozebrána témata spojená se zpracováním a úpravou měřených dat. Jedná se zejména o stanovení výšek bodů vztažné sítě mezi etapami, stanovení koeficientů pro úpravu dat mezi totálními stanicemi Leica a Trimble a v neposlední řadě jsou zde pak probírány vnější vlivy působící na měření.

V páté kapitole jsou uvedeny veškeré výpočty, výsledné hodnoty a jejich grafické znázornění. Je zde rozebrán postup vyrovnání vztažné sítě, statistické hodnocení přesností a následně i výsledných posunů. Dále pak postup stanovení všech aspektů a vlivů ovlivňující záměrnou přímkou, výpočet posunů bloků hráze a jejich statistické testování. V závěru kapitoly je pak rozebrán postup výpočtu pozorovaných bodů osazených minihranoly a porovnání jejich posunů vůči posunům stanovených pomocí metody záměrné přímky.

V závěrečné šesté kapitole se pak pojednává o možnostech rozšíření současně měřené vztažné sítě využitím dalších pilířů původní měřické sítě VD Orlick a o možnostech inovace metod měření pro sledování posunů a deformací.



1 Vodní dílo Orlík

Vodní dílo Orlík se nachází v údolí středního toku Vltavy 91 km jižně od Prahy a jedná se o rozlohou největší přehradu v České republice. Hlavním účelem přehrady je výroba elektrické energie, akumulace vody pro nadlepšení průtoků na spodní části Vltavy, částečná ochrana území pod přehradou a také Prahy před velkými vodami. V dnešní době je vodní nádrž za přehradou jednou z největších rekreačních a sportovních oblastí v České republice.

1.1 Historie a výstavba

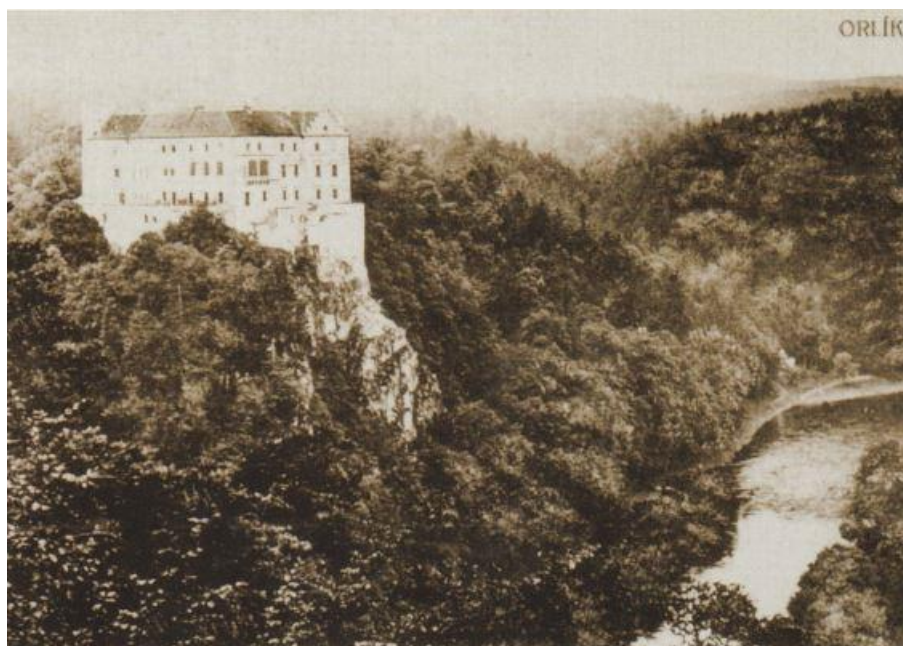
První zmínka o díle přehrazujícím Vltavu v místech dnešního VD Orlík se datuje již do roku 1911, kdy zde byl Dr. Ing. Radoušem poprvé navržen vysoký přehradní stupeň. Mělo se jednat o hráz vysokou 40 m a jejím primárním účelem bylo energetické využití. Dr. Ing. Radouš mimo jiné navrhoval i další vodní dílo po toku Vltavy – VD Kamýk a předpokládala se vzájemná spolupráce mezi oběma díly. Konečné rozhodnutí o umístění i spolupráci mezi vodními díly bylo dáno podrobným hydroenergetickým plánem Vltavy v roce 1953, vypracovaným Vodohospodářským rozvojovým střediskem v Praze.

Přípravné stavební práce probíhaly od 1. října 1954 až do roku 1957, během nich bylo nutno postavit železniční vlečku, betonárku, skládky štěrkopísku, tři lanové jeřáby a provizorní sociální a ubytovací zázemí v blízkých Solenicích pro cca 2 000 lidí. Původní podoba vodního díla měla 4 varianty a až v prosinci 1955 došlo vládou ČSR ke schválení konečné varianty a úvodního projektu VD Orlík. Samotná stavba pak začala v dubnu 1957 betonáží žlabu pro převedení řeky. Dne 29. září 1960 se začalo s napouštěním nádrže a samotná stavba nádrže pak skončila v prosinci téhož roku dobetonováním hráze. O tom, o jak velký a náročný projekt se jednalo, hovoří i statistické údaje o materiálech, kde na samotnou stavbu díla bylo spotřebováno 1,03 mil. m³ betonu a 12 000 t oceli pro jeho vyztužení. Během následujících 6 let pak byly do-
dělávány rekultivační práce, výstavba náhradních komunikací a zabezpečování památek.

Výstavbou VD Orlík vzniklo 68 km dlouhé jezero na Vltavě, 23 km na Otavě a 7 km na Lužnici s celkovou délkou břehů přes 300 km a objemem nádrže přes 717 mil. m³ vody. V rámci výstavby došlo k zatopení několika osad (Orlické Zlákovice, Zbenické Zlákovice, Těchnič, Podskalí, ...), hospodářských budov, mlýnů, pil i elektráren, což si vyžádalo náhradní výstavbu v přilehlých vesnicích. Mimo jiné bylo nutné zabezpečit základy a skalní podloží u hradu Orlík, jehož základy dříve ležely 67 m nad hladinou a nyní se zrcadlí v hladině vzedmuté



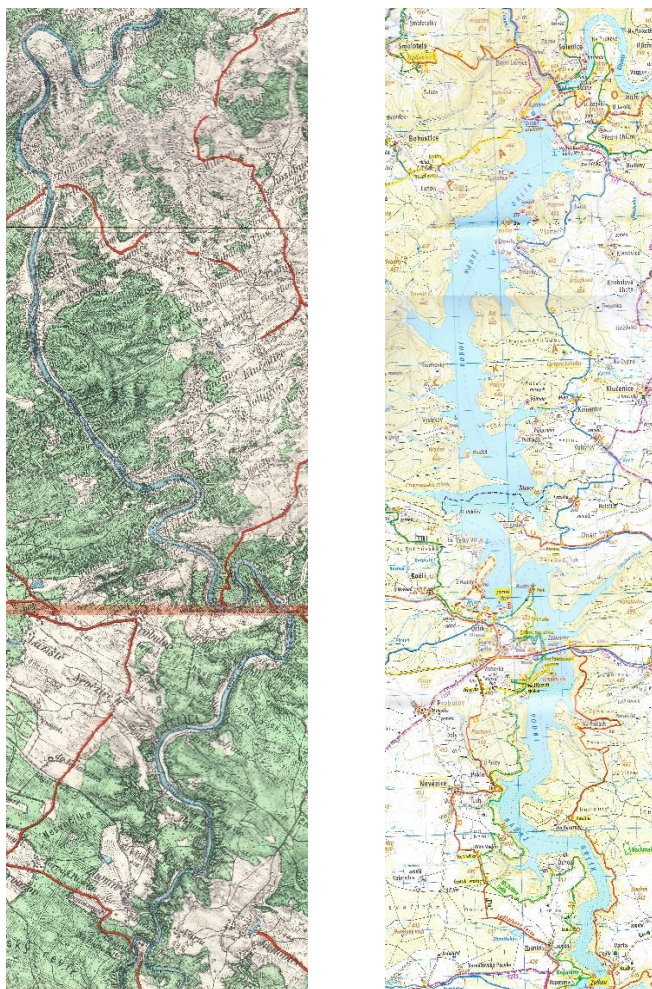
o 61 m, u hradu Zvíkov, zámku v Kolodějích a románském kostelíku sv. Bartoloměje v Červené nad Vltavou z roku 1190 [1].



Obr. 1 - Pohled na hrady Orlík a Zvíkov před rokem 1923

1.2 Popis VD Orlík

Vodní dílo Orlík je tvořeno přímou železobetonovou konstrukcí o délce hráze v koruně 450 m. Samotná hráz je rozdělena svislými dilatačními spárami na 33 bloků a nad nejnižším základem ve střední části je vysoká 90,5 m. V hrázi je umístěno několik revizních chodeb a na koruně hráze je vedena silnice II. třídy. V hrázi jsou zabudovány 3 korunové přelivy o šířce 15 m, které jsou přehrazeny segmentovými uzávěry o výšce 8 m, s celkovou kapacitou volného přepadu až 2 184 m³/s, a zakončeny jsou betonovými rozrážeci. Při levém břehu pod přehradou se nachází elektrárna se čtyřmi turbínami o výkonu generátorů 364 MW, ročně je tak schopna vyrobit tolik energie, na kolik by tepelná elektrárna potřebovala spálit 450 000 t uhlí. VD Orlík se svými vlastnostmi řadí mezi gravitační (tížné) přehradu a z pohledu technickobezpečnostního dohledu se řadí mezi vodní díla I. kategorie [1].



Obr. 2 - Porovnání toku Vltavy mezi Solenicemi a Zvíkovem z let 1947 [2] a současnosti [3]

2 Rekognoskace a přípravné práce

2.1 Rekognoskace terénu

Před samotným měřením bylo nutné provést rekognoskaci terénu a prakticky se seznámit s metodami měření na VD Orlick prováděnými technickobezpečnostním dohledem (dále jen TBD), který má tato měření na starosti a na něž by měla tato diplomová práce navazovat. Rekognoskace proběhla 1. 8. 2018, kdy zároveň došlo k zaměření další etapy firmou TBD a.s., která pro tuto diplomovou práci bude brána jako základní. V rámci rekognoskace byla prohlédnuta současná vztažná síť, pozorované body ve formě smaltovaných terčů umístěných na jednotlivých blocích hráze a dále pak nové pozorované body ve formě trnů s trvale nebo dočasně osazenými minihranoly pro testování alternativních metod sledování posunů a deformací na pěti blocích hráze.

2.2 Vztažná síť a pozorované body



Obr. 3 - Mapa znázorňující rozložení vztažné sítě [4]

Vztažná síť je stabilizována 7 betonovými pilíři usazenými do skály se dvěma typy nucené centrace. Na čtyřech pilířích je použita stabilizace pomocí válcové zděře (Obr. 4), na zbylých třech se pak využívá nucená centrace pomocí „pavouka“ (Obr. 5). Pro měření má každý pilíř vlastní neměnnou sestavu, která se na něj umísťuje, problém zde ale nastává u pilířů

s nucenou centrací pomocí válcové zděře, neboť v době měření firma Vodní díla - TBD nedisponovala dostatečným počtem hrotových nástavců. Aby nedocházelo ke stržení stroje otáčením kolem točné osy, musely na nich být různé sestavy pro cíl, a pak jedna stejná sestava s hroty pro stanoviško, kde stržení nenastává. Toto se změnilo v rámci měření 4. etapy, kdy došlo k vyrobění hrotových nástavců a každý pilíř dostal jak pro stanoviško, tak pro cíl jednotnou sestavu. Došlo tak nevyhnutelně ke změně jak výšek stanovisek, tak cílů, toto téma bude podrobněji rozebráno v kapitole 4.1. V tabulce Tab. 1 jsou uvedeny informace k jednotlivým pilířům, jejich využití a použitým sestavám.

Pilíř	Nucená centrace	Sestava	Změna ve 4. etapě	Využití
L	„pavouk“	3	3	Bod vztažné sítě, bod ZP
P	„pavouk“	1	1	Bod vztažné sítě, bod ZP
S	„pavouk“	2	2	Bod vztažné sítě
P5	válcová zděř	6/7	6	Bod vztažné sítě
P7	válcová zděř	6/7	7	Bod vztažné sítě
P8	válcová zděř	5/7	5	Bod vztažné sítě
P9	válcová zděř	4/7	4	Bod vztažné sítě

Tab. 1 - Informace k pilířům vztažné sítě

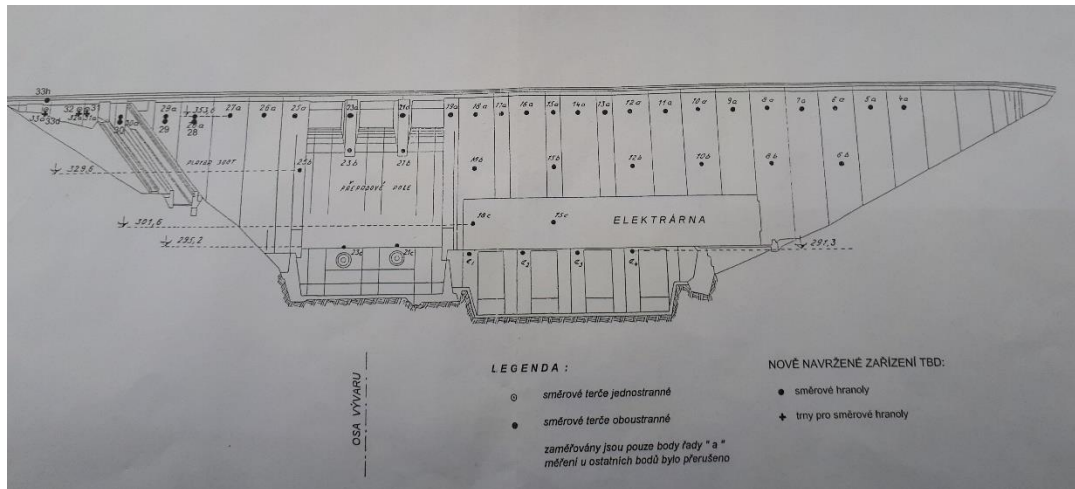


Obr. 4 - Nucená centrace stanoviska s válcovou zděří



Obr. 5 - Nucená centrace stanoviska s „pavoukem“

Těleso hráze je rozděleno svislými dilatačními spárami do 33 bloků. První 3 bloky hráze se nacházejí příliš blízko břehu a nebylo by je možné zaměřit ze stanoviska L, stejně tak poslední 3 bloky hráze jsou už mimo vhodnou konfiguraci pro záměrnou přímku ze stanoviska P, a proto také nejsou osazeny smaltovanými štítky. Zároveň pak v blocích 20, 22 a 24 jsou lokalizovány korunové přelivy, a z toho důvodu se taktéž nesledují. Na vzdušném líci je tak osazeno 24 bloků smaltovanými štítky, tvořícími záměrnou přímku sledovanou ze stanovisek L a P.



Obr. 6 - Schéma rozmístění kontrolních bodů na vzdušném líci hráze

S nově osazenými pozorovanými body pomocí minihranolů odpadá nutnost konfigurace na záměrnou přímku, a jelikož je nutná neměnnost natočení mezi etapami, kvůli nezanášení konstrukční odchylky minihranolu, dochází pouze k měření ze stanoviska S. Osazeny jsou zde bloky 28-34, zaměřovány jsou pomocí polární metody a prozatím slouží pouze k testování využití této metody. V této diplomové práci bude dané téma více rozebráno v kapitole 6.2.



Obr. 7 - Zachycení smaltovaného štítku a odrazného minihranolu na bloku 30



2.3 Podklady

2.3.1 Archiválie

Kromě rekognoskace terénu bylo pro tuto práci a její zadání stěžejní prohledání archivu za účelem získání starých měření. Toto bádání proběhlo v archivech firmy Vodní díla - TBD, kde bylo nutné v rámci dokumentů ze všech spravovaných vodních děl nalézt pouze dokumenty vztahující se k VD Orlík. Hlavním cílem tohoto bádání bylo získání souřadnic, případně pak surových měření pro určení přibližných souřadnic celé měřické sítě, nikoliv pouze části, která se dnes zaměřuje, a to pro zhodnocení vlivu na přesnost a využitelnost v případě rozšiřování sítě. Dokumentů zde bylo nalezeno velké množství, bohužel v rámci dřívějšího zpracování byly posuny a deformace určovány pouze pomocí rozdílů v úhlech a nebyly přepočítávány do místních souřadnic, které bylo proto potřeba vypočítat, nebo se podklady se souřadnicemi nepodařilo najít. Více informací o zpracování a využití nalezených dat je uvedeno v kapitole 6.

The image shows two pages of handwritten measurement records from 1960. The pages are titled "Zápisník měření vodovorových směrů" (Measurement Record Book for Water Direction Measurements). The left page is for "Orlík, etapa Ia" and the right page is for "Orlík, etapa Ia" (with a handwritten "Orlík" above it). Both pages contain tables with columns for "Směr na" (Direction to), "1. skupina" (Group 1), "2. skupina" (Group 2), "3. skupina" (Group 3), "4. skupina" (Group 4), "5. skupina" (Group 5), "6. skupina" (Group 6), "7. skupina" (Group 7), "8. skupina" (Group 8), "9. skupina" (Group 9), "10. skupina" (Group 10), "11. skupina" (Group 11), "12. skupina" (Group 12), "13. skupina" (Group 13), "14. skupina" (Group 14), "15. skupina" (Group 15), "16. skupina" (Group 16), "17. skupina" (Group 17), "18. skupina" (Group 18), "19. skupina" (Group 19), "20. skupina" (Group 20). The tables contain numerical values, likely representing measurements or coordinates. The handwriting is in black ink on a light-colored paper. The pages are numbered "1" and "5" in the top right corner.

Obr. 8 - Zápisník měření ze základní etapy 1960 [5]

2.3.2 Program měření posunů

Druhým zásadním podkladem, jenž upravuje a definuje používané metody, je Program TBD č.4 z roku 2012 [6], jenž je formou projektu měření posunů zpracovaném dle zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a změně některých předpisů (vodní zákon) [7], ve znění pozdějších předpisů a vyhlášky č. 471/2001 Sb., o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly [8], ve znění vyhlášky č. 255/2010 Sb. Program obsahuje základní technické údaje, účel, dispozice, využití vodního díla, hydrologické údaje, technické parametry a náplň programu a výkonu technickobezpečnostního dohledu na vodním díle. Dále je v něm obsaženo čistě nastínění používaných metod, kde posuzování přesností a používaných metod je zakládáno na odborných výpočtech či odborných odhadech v analogii k obdobným konstrukcím. Pro sledování vodorovných posunů ve směru toku, které jsou obsahem této práce, je v programu stanovena metoda oboustranné záměrné přímky, která se měří ze stanovisek L a P. Hlavní výstupní hodnotou, kterou bylo pro zpracování nutno znát, je hodnota požadované přesnosti, prokazatelného posunu či podobného parametru. Toto se setkalo s jistou komplikací, neboť v rámci Programu jsou definovány pouze 2 hodnoty:

- **Mez bdělosti** – informativní kritérium pro jevy a skutečnosti před dosažením mezních nebo kritických hodnot (± 10 mm k základnímu měření)
- **Mezní hodnota** – předem stanovená limitní hodnota veličin, popisující jevy a skutečnosti, popřípadě jejich časové vývoje pro zvolený zatěžovací stav (± 20 mm k základnímu měření)

Jak je z hodnot pro vodorovné posuny patrné, jsou jednak tyto meze velice nadsazené, a z toho důvodu nevhodné pro výpočet požadované přesnosti posunu, a za druhé nejsou jasně definovány vůči meznímu posunu či směrodatné odchylce. Nahlížet by se na ně dalo pomocí ČSN 73 04 05 - Měření posunů stavebních objektů [9], kde by se uvažovalo o hrázi jako existujícím objektu a o mezi bdělosti jako kritickém posunu, pak by se pomocí vztahu

$$\delta_M = \frac{2}{5} \cdot p_k \quad (2.1)$$

dala určit mezní odchylka posunu, v tomto případě vyčíslena hodnotou 4 mm, z které by se vypočetla směrodatná odchylka posunu pomocí koeficientu spolehlivosti a následně dopočítaly i přesnosti jednotlivých měření.

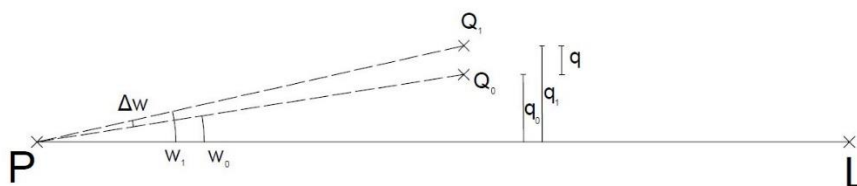
Druhý způsob, kterým by se dalo nahlížet na určení mezních hodnot pro posuny, byl získán po konzultaci s Ing. Davidem Richterem, jenž má na starosti VD Orlick a výše uvedené hodnoty stanovoval. Jelikož se dle jeho slov jedná o hodnoty (uvedené v Programu TBD), kdy je potřeba již uvědomit některá pracoviště, nejedná se proto o hodnoty, z kterých by měly být počítány základní požadavky na přesnost. Pro ně bylo jím navrženo řešení srovnávání k instalovaným kyvadlům uvnitř hráze, jež jsou schopna prokázat posun přibližně mezi 1-2 mm a měření záměrné přímky by mělo dosahovat podobné přesnosti. Problém zde ale opět nastává v neurčení jednoznačné hodnoty, ze které by se dalo vycházet.

Z tohoto důvodu se přistoupilo k opačnému postupu, tudíž nevyužít mezních hodnot pro určení přesnosti, ale využít znalosti používaných metod měření a přesností přístrojů ke stanovení přesnosti posunů a mezních hodnot, a to jak pro vztažnou síť, tak pro záměrnou přímku. Podrobněji je pak toto téma rozebráno v kapitole 2.5.

2.4 Záměrná přímka

Jak bylo naznačeno v předešlé kapitole 2.3.2, hlavním způsobem měření vodorovných posunů podrobných bodů je oboustranná záměrná přímka. Princip měření záměrné přímky v případě VD Orlick spočívá v nucené centraci s „pavoukem“ na 2 stabilizovaných bodech L a P. Stabilita těchto bodů je ověřována v rámci vyrovnaní vztažné sítě a během měření záměrné přímky dochází pouze k orientaci na druhý bod. Pozorované body jsou pak umístěny přibližně ve směru záměrné přímky, jejich umístění na vzdušném líci hráze je znázorněno na Obr. 6.

Pokud dojde na hrázi k vodorovným posunům pozorovaných bodů, projeví se to při každé etapě měření pomocí změny kolmé vzdálenosti od spojnice, která je v praxi realizována stanovisky L a P. Pro prostorovou představu se jedná o kolmici na svislou rovinu danou osou teodolitu a směrem na druhé stanovisko.



Obr. 9 - Znázornění principu záměrné přímky



Velikost vodorovného posunu q pozorovaného bodu je dána rozdílem mezi kolmou vzdáleností v n -té etapě q_n a vzdáleností určené v základní etapě q_1

$$q = q_n - q_1 \quad (2.2)$$

Obecně lze napsat vztah pro určení vzdálenosti bodu od záměrné přímky

$$q = s \cdot \tan \omega \quad (2.3)$$

Po dosazení do rovnice (2.2) lze pak vyjádřit vztah pro posun

$$q = s_n \cdot \tan \omega_n - s_1 \cdot \tan \omega_1 \quad (2.4)$$

Všeobecně se pro přehrady využívá metody, kdy jsou délky mezi pozorovanými body určeny v rámci prvních etap a v následujících se považují za neměnné. Jedinou proměnou ovlivňující tak velikost posunu je právě změna úhlu. Tímto poznatkem lze rovnici (2.4) upravit na vztah

$$q = s \cdot (\tan \omega_n - \tan \omega_1) \quad (2.5)$$

a jelikož posuny q jsou ve srovnání vůči vzdálenosti s k pozorovaným bodům velmi malé, lze výraz zjednodušit pomocí vztahu pro obloukovou míru

$$q = s \cdot \left(\frac{\omega_n}{\rho} - \frac{\omega_1}{\rho} \right) \quad (2.6)$$

Výše zmíněný vzorec platí pro jednostrannou záměrnou přímku, pokud budeme předpokládat oboustrannou, která se nachází na VD Orlick, výsledný posun se dostane váženým průměrem z posunu určeného ze stanoviska L (měřený úhel φ) a z posunu určeného ze stanoviska P (měřený úhel ω). Vážený průměr je zde brán vůči podílu vzdáleností podrobných bodů od stanovisek

$$q = \frac{\frac{1}{s_{Pn}} \cdot q_{Pn} + \frac{1}{s_{Ln}} \cdot q_{Ln}}{\frac{1}{s_{Pn}} + \frac{1}{s_{Ln}}} \quad (2.7)$$

Po dosazení do vzorce (2.7)

$$q = \frac{(\tan \omega_n - \tan \omega_1) + (\tan \varphi_n - \tan \varphi_1)}{\frac{1}{s_{Pn}} + \frac{1}{s_{Ln}}} \quad (2.8)$$



a po zjednodušení na obloukovou míru pak dostáváme výsledný vztah

$$q = \frac{\left(\frac{\omega_n}{\rho} - \frac{\omega_i}{\rho}\right) + \left(\frac{\varphi_n}{\rho} - \frac{\varphi_i}{\rho}\right)}{\frac{1}{s_{pn}} + \frac{1}{s_{ln}}} \quad (2.9)$$

Pro stanovení přesnosti posunu budeme vycházet ze vztahu (2.6), který zjednodušíme na diferenci úhlu

$$q = s \cdot \left(\frac{\Delta\omega}{\rho}\right) \quad (2.10)$$

a aplikací zákona hromadění směrodatných odchylek získáme směrodatnou odchylku vodorovného posunu

$$\sigma_q = \sqrt{\frac{q^2 \cdot \sigma_s^2}{s^2} + \frac{s^2 \cdot \sigma_{\Delta\omega}^2}{\rho^2}} \quad (2.11)$$

Jak bylo zmíněno výše, délka k pozorovaným bodům se pro záměrnou přímkou určuje pouze v rámci základní etapy a následně se bere za neměnnou, tudíž první člen v rovnici (2.11) je roven nule a výslednou směrodatnou odchylku vodorovného posunu pro jednostrannou záměrnou přímkou pak dostaneme vztahem

$$\sigma_q = \frac{s \cdot \sigma_{\Delta\omega}}{\rho} \quad (2.12)$$

Dosazením do rovnice (2.7), na kterou aplikujeme zákon hromadění směrodatných odchylek, získáme výsledný vztah pro směrodatnou odchylku vodorovného posunu měřeného oboustrannou záměrnou přímkou

$$\sigma_q = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{s_L}\right)^2 \cdot \sigma_{qL}^2}{\left(\frac{1}{s_P} + \frac{1}{s_L}\right)^2} + \frac{\left(\frac{1}{s_P}\right)^2 \cdot \sigma_{qP}^2}{\left(\frac{1}{s_P} + \frac{1}{s_L}\right)^2} + (\dots)^2 \cdot \sigma_S^2} \quad (2.13)$$



Tento vztah lze dále upravit dosazením z rovnice (2.12) a opětovným předpokladem bezchybnosti délek

$$\begin{aligned}\sigma_q &= \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{s_L}\right)^2 \cdot \frac{s_L^2 \cdot \sigma_{\Delta\omega L}^2}{\rho^2}}{\left(\frac{1}{s_P} + \frac{1}{s_L}\right)^2} + \frac{\left(\frac{1}{s_P}\right)^2 \cdot \frac{s_P^2 \cdot \sigma_{\Delta\omega P}^2}{\rho^2}}{\left(\frac{1}{s_P} + \frac{1}{s_L}\right)^2}} \\ &= \sqrt{\frac{\sigma_{\Delta\omega L}^2 + \sigma_{\Delta\omega P}^2}{\left(\frac{1}{s_P} + \frac{1}{s_L}\right)^2 \cdot \rho^2}}\end{aligned}\quad (2.14)$$

A za předpokladu měření úhlů z obou stanovisek se stejnou přesností lze výraz zjednodušit na

$$\sigma_q = \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_{\Delta\omega}^2}{\left(\frac{1}{s_P} + \frac{1}{s_L}\right)^2 \cdot \rho^2}} = \frac{\sigma_{\Delta\omega} \cdot \sqrt{2}}{\left(\frac{1}{s_P} + \frac{1}{s_L}\right) \cdot \rho} = \frac{\sqrt{2} \cdot s_P \cdot s_L \cdot \sigma_{\Delta\omega}}{(s_L + s_P) \cdot \rho}\quad (2.15)$$

kde $\sigma_{\Delta\omega}$ je přesnost difference dvou úhlů, jež lze obecně vyjádřit pomocí nominální přesnosti měřeného směru totální stanice $\sigma_{\varphi 0}$ v n skupinách (směr dán jako průměr dvou poloh dalekohledu) vztahem

$$\sigma_{\Delta\omega} = \sqrt{4 \cdot \sigma_{\varphi n}^2} = 2 \cdot \sigma_{\varphi n} = 2 \cdot \frac{\sigma_{\varphi 0}}{\sqrt{n}}\quad (2.16)$$

2.5 Apriorní modely

2.5.1 Záměrná přímka

Jak bylo zmíněno v kapitole 2.3.2, pro rozbor přesnosti byl zvolen obrácený postup, než je obvyklé, kdy se ze znalosti měřického postupu určí teoretická přesnost metody. Výchozím vztahem pro určení přesnosti metody oboustranné záměrné přímkou pro VD Orlick je rovnice (2.15). Pro určení přesnosti bylo potřeba převzít z kapitoly 3.2.1 směrodatnou odchylku měřického směru pro totální stanici Leica TM30 $\sigma_{\varphi 0} = 0,15 \text{ mgon}$ a při znalosti počtu měřických skupin $n = 2$ a vzdálenostech k pozorovaným bodům lze stanovit směrodatnou odchylku posunu určeného váženým průměrem ze 2 stanovisek. Komplikujícím faktorem je zde velký počet pozorovaných bodů, které nejsou rovnoměrně umístěny od obou stanovisek, a z toho důvodu je potřeba pro každý bod určit vlastní směrodatnou odchylku posunu a nevztahovat posuny k jedné střední hodnotě.

Kromě vlivu samotného úhlového měření bylo nutno počítat i s odchylkou v cílení, neboť záměrná přímka je měřena ručně a schopnost přesně cílit je zde vysoce ovlivňující faktor výsledné přesnosti. Pro stanovení této přesnosti pro apriorní model byla v rámci konzultace stanovena jednotná hodnota pro všechny záměry $\sigma_c = 0,1 \text{ mm}$. Pro výpočet skutečné přesnosti měřené záměrné přímkou pak došlo ke stanovení empirické hodnoty z měřených etap. Více k tomuto stanovení je uvedeno v kapitole 5.2.1 Záměrná přímka.

Výsledná přesnost posunů se pak určí ze vztahu (2.15), ke kterému se kvadraticky přičte odchylka v cílení

$$\sigma_q = \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_{\Delta\omega}^2}{\left(\frac{1}{s_p} + \frac{1}{s_L}\right)^2 \cdot \rho^2} + \sigma_c^2} \quad (2.17)$$

Ze směrodatné odchylky posunu se pak spočítá hodnota mezního posunu Δ_{Mp} , která slouží jako testovací kritérium pro stanovení prokazatelnosti posunu. Hodnota mezního posunu je dána vztahem [10]

$$\Delta_{Mp} = \sigma_p \cdot u_p \quad (2.18)$$

kde pro vodní díla se používá koeficient spolehlivosti $u_p = 2,5$ (pravděpodobnost 99 %).



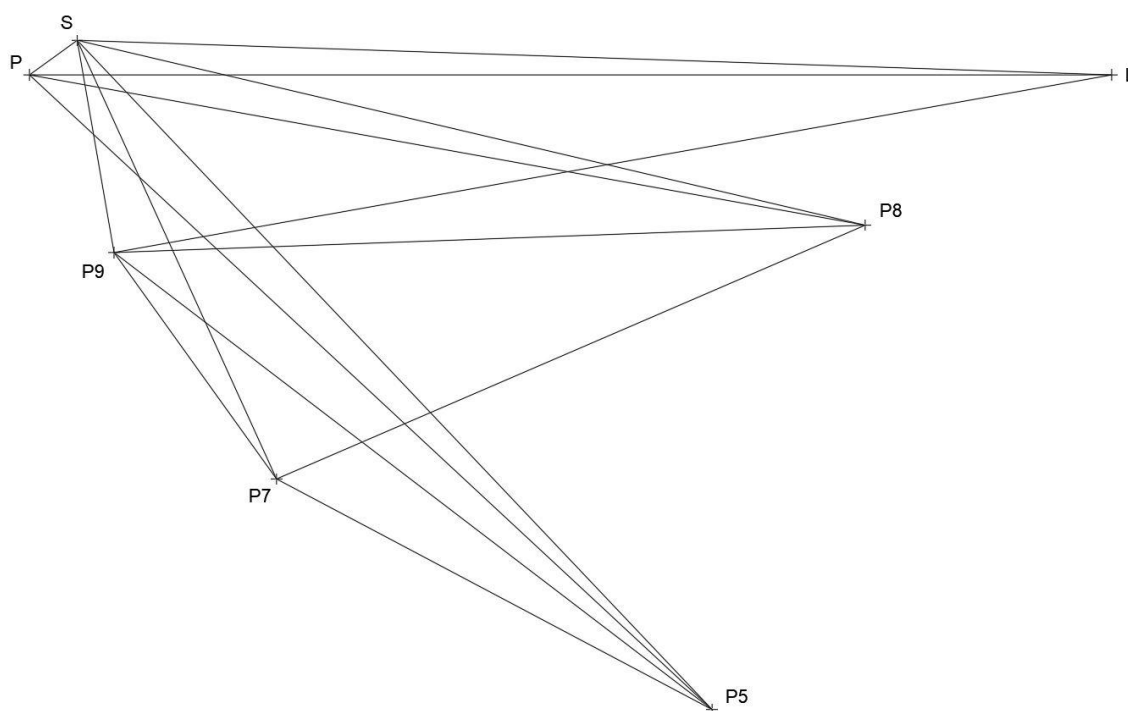
V tabulce Tab. 2 nalezneme apriorní směrodatné odchytky jednotlivých bodů s uvedením délek záměr z jednotlivých stanovisek a znázorněním vlivu apriorní odchytky cílení na výslednou přesnost.

Bod	Délka ze stanoviska		σ_p (bez vlivu cílení) [mm]	σ_p (s vlivem cílení) [mm]
	L [m]	P [m]		
4	107,84	381,84	0,40	0,41
5	121,39	367,58	0,43	0,44
6	136,62	351,77	0,46	0,47
7	150,37	337,61	0,49	0,50
8	165,33	322,32	0,51	0,52
9	179,11	308,19	0,53	0,54
10	194,11	292,97	0,55	0,56
11	209,54	277,29	0,56	0,57
12	224,28	262,37	0,57	0,58
13	236,05	250,48	0,57	0,58
14	247,01	239,40	0,57	0,58
15	259,42	226,89	0,57	0,58
16	269,89	216,39	0,57	0,57
17	281,21	204,99	0,56	0,57
18	292,59	193,63	0,55	0,56
19	304,34	181,75	0,54	0,55
21	326,01	160,05	0,51	0,52
23	347,40	138,72	0,47	0,48
25	368,67	117,49	0,42	0,43
26	385,15	101,19	0,38	0,39
27	399,54	86,96	0,34	0,35
28	414,22	72,57	0,29	0,31
29	428,51	58,76	0,24	0,26
30	451,26	34,50	0,15	0,18

Tab. 2 - Apriorní model přesnosti záměrné přímky

2.5.2 Vztažná síť

Pro určení přesnosti vztažné sítě byl využit program PreciPlanner 3D [11] (PPlanner) prof. Ing. Martina Štronera, Ph. D., vyvíjený katedrou speciální geodézie na Fakultě stavební Českého vysokého učení technického v Praze. Program na základě stanovení přibližných souřadnic bodů, na konfiguraci měření a na jejich přesnostech je schopen určit přibližnou přesnost výsledných souřadnic. Pro výpočet byly použity vyrovnané souřadnice základní etapy, pro které bylo potřeba stanovit jednak přesnost centrace, tak přesnost určení ve výšce. Jak bylo zmíněno v kapitole 2.2, na pilířích vztažné sítě se využívají 2 typy nucené centrace, kulová zděř a tzv. „pavouk“. V rámci měření bylo dbáno na totožné natočení jak hranolů, tak trojnožek mezi etapami z důvodu minimalizace vlivu odchylky materiálu a po konzultaci s vedoucím práce byla odchylka v centraci přístroje pro oba typy nucené centrace vyčíslena hodnotou $\sigma_c = 0,20 \text{ mm}$. Pokud se jedná o stanovení přesnosti určení výšky přístroje, nebyla tato hodnota uvažována, neboť i když síť byla vyrovnána prostorově, z důvodu vysokého vlivu refrakce (více v kapitole 4.3) není polární metoda vhodná pro určování výšek a muselo by se využít přesnějších metod (například nivelace). Co se týče stanovení konfigurace měření, došlo k převzetí ze skutečného zaměření a z výchozího počtu skupin $n = 3$.



Obr. 10 – Znáornění současné konfigurace měření vztažné sítě



Výpočet byl proveden dvakrát při stejné konfiguraci, pouze s rozdílnými přesnostmi měřených veličin, neboť v rámci zaměření byly použity 2 rozdílné totální stanice (Leica TM30 a Trimble S8 HP). Přesnosti jednotlivých přístrojů jsou uvedeny v kapitole 3.2 a jak je z obrázku Obr. 10 patrné, nedochází dnes z důvodu vysokého výskytu vegetace k provázání pilířů na levém břehu toku (pilíře L, P9 a P5), což výrazně ovlivňuje výslednou přesnost, a hlavně požadavky zejména na úhlovou přesnost, které jsou například u pilíře L z důvodu velice štíhlého trojúhelníku měření stěžejní.

Bod	Leica TM30		Trimble S8 HP	
	σ_x [mm]	σ_y [mm]	σ_x [mm]	σ_y [mm]
L	0,25	0,22	0,47	0,26
P	0,12	0,13	0,17	0,19
S	0,10	0,10	0,13	0,15
P5	0,20	0,17	0,34	0,27
P7	0,12	0,12	0,18	0,18
P8	0,22	0,17	0,40	0,21
P9	0,13	0,09	0,18	0,13

Tab. 3 - Apriorní model přesnosti vztažné sítě

Pro stanovení teoretické přesnosti posunu uvažujeme měření a pomůcky mezi etapami za stejné, tudíž pak přesnost polohy bodu v jedné etapě bude brána jako suma čtverců směrodatných odchylek souřadnic (neuvažujeme vliv souřadnice Z) a jejich kovariance

$$\sigma_B = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_{xy}^2} \quad (2.19)$$

Směrodatnou odchylku posunu pak při uvažování totožných přesností mezi etapami určíme vztahem

$$\sigma_q = \sqrt{2} \cdot \sigma_B \quad (2.20)$$

a dosazením do vzorce (2.18) určíme mezní hodnotu posunu.

Výše zmíněným postupem se sleduje posun v celkové poloze bodu, pro nás je ale důležitější sledovat posuny v jednotlivých osách, které znázorňují samostatný posun ve směru toku a kolmo na tok než v celkové poloze. Proto za předpokladu stejné přesnosti mezi etapami určíme směrodatné odchylky jednotlivých posunů ve směru souřadnicových os vztahem

$$\sigma_{qx} = \sqrt{2} \cdot \sigma_x \quad (2.21)$$

k tomu stejnou analogií pak pro osu Y. Mezní hodnotu pak určíme opět vztahem (2.18).

3 Měření

3.1 Příprava před měřením

Před měřením bylo potřeba projít jednotlivé pilíře vztažné sítě a připravit je pro měření. Jednalo se převážně o sundání krytu, chránícího pilíř před vlivy počasí, prokleštění záměry od větví, odšroubování krytu nucené centrace s válcovou zděří a následně její vyčištění, pokud to bylo nutné. Dále pak bylo potřeba připravit jednotlivá stanoviška a cíle, neboť každý pilíř zde má svoji neměnnou sestavu skládající se z kulového trnu nucené centrace, nebo speciálního adaptéru s hroty pod trojnožku, trojnožky a hranolu. Dále pak bylo potřeba pohledem zkontrolovat čistotu smaltovaných štítků a osazení trnů bez trvalých minihranolů. Více o jednotlivých pilířích, sestavách a bodech je uvedeno v kapitole 2.2 Vztažná síť a pozorované body.

Aby byly jednoznačně určeny výšky stanovišek a cílů (hlavně pro výpočet délek v programu EasyNet), bylo nutné přesně definovat systém, který by byl neměnný pro všechny etapy. Z toho důvodu je na každé trojnožce označen bod, signalizující neměnné umístění trnu hranolu do trojnožky (k definování neměnné excentricity mezi etapami), a dále pak šroub, jenž je při horizontaci stažen až na doraz (horizontuje se pouze zbývajícími 2 šrouby). Druhou podmínkou je pak jasné označení umístění tohoto šroubu v systému nucené centrace pro zajištění neměnné výšky mezi etapami.

3.2 Měřické pomůcky

V této podkapitole jsou zmíněny zejména technické parametry použitých totálních stanic při měření, kde některé z těchto parametrů byly využity v rámci výpočtů. Kromě nich došlo k využití i dalších pomůcek jako teploměru, barometru, odrazných hranolů, trojnožek, speciálních nástavců, centračních nástavců a dalších, které zde ale nebudou detailněji rozebírány.

3.2.1 Leica TM30

Totální stanice Leica TM30 byla využita z důvodu přesnějšího úhlového měření pro měření záměrné přímký, vztahné sítě a minihranolů ve všech 4 etapách. Totální stanice je ve vlastnictví firmy Vodní díla – TBD, která se dlouhodobě zabývá technickobezpečnostním dohledem nad vodními díly, a je vybavena systémem ATR (Automatic Target Recognition) pro automatické rozpoznávání cíle.



Obr. 11 - Totální stanice Leica TM30

Parametr	Leica TM30
Přesnost Hz, V	0,5" (0,15 mgon)
Přesnost délek	0,6 mm + 1 ppm
Kompenzátor (rozsah)	4' (0,07 gon)
Nejkratší měřitelná vzdálenost	1,5 m
Dosah ATR	3000 m
Zvětšení dalekohledu	30 x

Tab. 4 - Vybrané technické parametry Leicy TM30

3.2.2 Trimble S8 HP

Totální stanice Trimble S8 HP byla zapůjčena Fakultou stavební Českého vysokého učení v Praze a v rámci měření byla využita během 3. a 4. etapy pro zaměření vztažné sítě a mini-hranolů. Totální stanice je vybavena funkcemi AUTOLOCK a FINELOCK, které slouží k vyhledávání nejsilnějšího návratového signálu dálkoměru, a tudíž k přesnému cílení i na větší vzdálenosti. Systém FINELOCK je pro větší vzdálenosti lepší, avšak v rámci měření byl během 3. etapy opomenut a v následující 4. etapě s ním byly lehké komplikace, a proto bylo při obou etapách využito měření AUTOLOCK.



Obr. 12 - Totální stanice Trimble S8 umístěná na pilíři P7

Parametr	Trimble S8 HP
Přesnost Hz, V	1" (0,3 mgon)
Přesnost délek	0,8 mm + 1 ppm
Kompenzátor (rozsah)	5,4' (0,1 gon)
Nejkratší měřená vzdálenost	1,5 m
Dosah AUTOLOCK	3000 m
Zvětšení dalekohledu	30x

Tab. 5 - Vybrané technické parametry Trimble S8 HP



3.3 Měření vztažné sítě a pozorovaných bodů

Po přípravě vztažné sítě a pozorovaných bodů proběhlo samotné měření. Všeobecně měření probíhalo metodou, kdy bylo měřeno bezprostředně po sobě oběma totálními stanicemi na všechny viditelné body vztažné sítě, a před novou osnovou byly vždy zkontrolovány a případně upraveny hodnoty atmosférických korekcí. V rámci měření vztažné sítě byly ze stanoviska S zaměřeny i pozorované body osazené minihranoly. Záměrná přímka je měřena individuálně ze stanovisek L a P v co nejkratším časovém úseku, aby se minimalizoval vliv atmosférických změn. Na stanoviscích byly pro zajištění vyšší přesnosti umístěny přesné odrazné hranoly Leica GPH1P.

Vztažná síť a pozorované body v podobě minihranolů byly vždy měřeny oběma přístroji ve 3 skupinách, skupiny navíc se přidávaly pouze v případě vysokého rozptylu mezi skupinami. Záměrná přímka byla měřena pouze pomocí Leicy TM30 ve dvou skupinách a pouze v etapách, kdy dochází na kyvadlech uvnitř hráze k extrémním hodnotám náklonu, v tomto případě začátkem srpna a prosince. V tabulce Tab. 6 je uveden harmonogram měření s uvedením použitých přístrojů a měřených aspektů.

Etapa	Datum	Leica	Trimble	Vztažná síť	Pozorované body	
					Minihranoly	ZP
1.	1-2. 8. 2018	ANO	NE	ANO	ANO	ANO
2.	8. 10. 2018	ANO	NE	ANO	ANO	NE
3.	6-7. 12. 2018	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
4.	25. 3. 2019	ANO	ANO	ANO	ANO	NE

Tab. 6 - Harmonogram měření

4 Zpracování a úprava dat

4.1 Určení výšky

Tato diplomová práce se zabývá pouze polohovou složkou, avšak pro vyrovnání byl využit program EasyNet, jenž funguje na principu vyrovnání prostorové sítě. Reálně lze vyrovnávat i čistě rovinnou síť, ale pak zde vyvstává potřeba rozsáhlé úpravy dat před vyrovnáním. K tomuto kroku nebylo přistoupeno, a proto, pro správné zavádění korekcí a redukci při automatizovaném výpočtu v programu EasyNet, bylo potřeba co nejpřesněji stanovit výšky jednotlivých stanovisek a cílů. Jak bylo zmíněno v kapitole 2.2, vyskytují se zde dva typy nucené centrace. Centrace pomocí tzv. „pavouka“ měla pro nás tu výhodu, že bylo potřeba již v předešlých etapách měření mít speciální hrotový nástavec, a proto nedocházelo zde ke změně výšek stanoviska a cíle (použité hranoly měly stejnou výšku jako totální stanice) během všech čtyř etap. Rozdílně se oproti tomu chovaly výšky na centraci pomocí kulové zděře, kde docházelo ke změně trojnožek pro stanovisko a cíl. Tento rozdíl byl během III. etapy měřen 5x pomocí hloubkoměru, kde se pomocí oprav od průměru vyloučila odlehlá měření (stanovena zde byla mezní oprava $0,2\text{ mm}$), ale s podmínkou, aby výsledná výška byla určena alespoň ze tří měření. Tento postup se opakoval jak pro trojnožku s hranolem, tak pro trojnožku s totální stanicí. V tabulce Tab. 7 jsou uvedeny výsledné průměry a z kolika měření byly určeny. Výsledky zde jsou vztaženy k výšce hranolu, aby se určil přímo rozdíl mezi oběma trojnožkami.

Trojnožka	Počet měření	Průměr [mm]
Hranol	4	0,0
Totální stanice	3	15,1

Tab. 7 - Stanovení rozdílu výšky mezi stanoviskem a cílem

Tyto hodnoty nám určují rozdíl mezi výškou stanoviska a cíle na pilířích s centrací pomocí válcové zděře. Rozdíl zde je ale na pilíři P8, kdy v době měření nebyl dostatečný počet „velkých“ trnů a muselo se využít „malého“ trnu, mezi nimiž je rozdíl $16,7\text{ mm}$ (tato hodnota byla převzata od firmy Vodní díla – TBD), a proto se výsledný rozdíl mezi stanoviskem a cílem pro tento pilíř musí opravit ještě o tuto hodnotu.

Jak bylo zmíněno dříve, pro IV. etapu měření došlo již ke zhotovení zbylých nástavců (tvarem stejných jako na pilířích s „pavoukem“) pod trojnožky, a bylo tudíž nutné opět se zabývat výškami na některých bodech. Z důvodu opomenutí hloubkoměru na měření byl rozdíl tentokrát měřen zpětně posuvným měřítkem („šuplerou“), kde došlo k měření vzdálenosti mezi úplně

stočeným šroubem trojnožky (využíváno pro zachování výšky mezi etapami) a hrotem, jenž se umísťuje do vyraženého důlčiku na pilíři, aby nedošlo ke stočení trojnožky. Tento rozdíl byl měřen třikrát pro novou sestavu s trojnožkou a třikrát pro starou sestavu na stanoviště a výsledná hodnota se určila průměrem. V tabulce Tab. 8 je opět uvedena hodnota tohoto rozdílu vztažená k „nižší“ hodnotě.

Trojnožka	Průměr [mm]
Stará sestava	0,0
Nový nástavec	6,7

Tab. 8 - Stanovení rozdílu výšky pro nové nástavce během 4. etapy

Z těchto dat pak bylo možné sestavit výšky stanovištěk a cíle pro všechny etapy pouze pomocí sčítání jednotlivých komponentů a v závislosti, kde byla která sestava umístěna. Problematikou zde ale zůstává stanovení nulové hladiny, k čemuž nám ale dopomohl způsob výpočtu programu EasyNet, který neumožňuje pracovat se zápornými výškami bodů, tudíž pro všechny pilíře je vztažena výška k postavení hranolu z etap I-III, kde je trojnožka s hranolem umístěna přímo na hlavě pilíře (neplatí pro pilíře L, P a S, kde je systém nucené centrace pomocí „pavouka“ a nové nástavce tam byly již od začátku) – hlava pilíře s třemi mosaznými podložkami i s důlkem je zobrazena na Obr. 13. Důležité je zde si také připomenout, že pro pilíře P5, P7 a P9 jsou tyto výšky stejné, ale pro pilíř P8, kde byl hranol vždy umístěn na „krátkém“ trnu se tato hodnota liší. V tabulce Tab. 9 jsou uvedeny výsledné výšky stanovištěk a cíle vstupující do vyrovnání pro všechny etapy.



Obr. 13 - Znárodnění hlavy pilíře P5 s vyraženým důlkem



Pilíř	Etapa I (srpen 2018)		Etapa II (říjen 2018)	
	Stanovisko [m]	Cíl [m]	Stanovisko [m]	Cíl [m]
P	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
L	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
S	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
P5	0,0151	0,0000	0,0151	0,0000
P7	0,0151	0,0000	0,0151	0,0000
P8	0,0318	0,0000	0,0318	0,0000
P9	0,0151	0,0000	0,0151	0,0000
Pilíř	Etapa III (prosinec 2018)		Etapa IV (březen 2019)	
	Stanovisko [m]	Cíl [m]	Stanovisko [m]	Cíl [m]
P	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
L	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
S	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
P5	0,0151	0,0000	0,0218	0,0218
P7	0,0151	0,0000	0,0151	0,0151
P8	0,0318	0,0000	0,0385	0,0218
P9	0,0151	0,0000	0,0218	0,0218

Tab. 9 - Výšky stanovisek a cíle pro všechny etapy

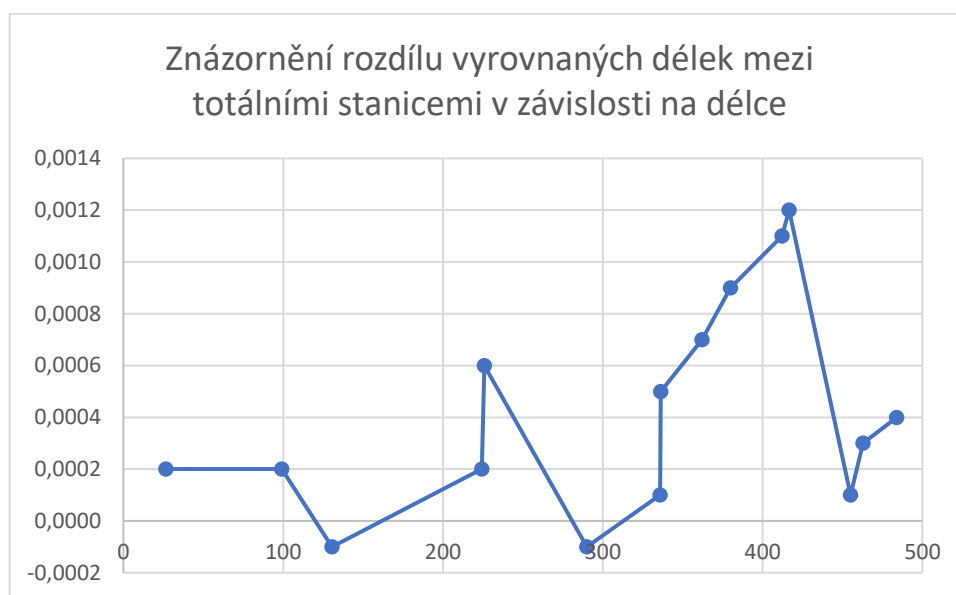
4.2 Úprava dat Trimble/Leica

Jak bylo zmíněno dříve, v rámci této práce došlo kromě měření totální stanicí Leica TM30, i k zaměření III. a IV. etapy totální stanicí Trimble S8 HP. Toto měření mělo sloužit pro zaměření podstatných částí, které by za normálních okolností nebyly zahrnuty do měření firmou Vodní díla – TBD, ale měly opodstatnění pro zpracování této diplomové práce. Totální stanicí Trimble byla vždy zaměřena vztažná síť a následně námi zvolené části.

Aby bylo možné tato měření porovnávat, bylo nutné upravit měřená data tak, aby odpovídala měřením totální stanice Leicy, čehož hlavní součástí je úprava měřených délek a stanovení difference systematické chyby dálkoměrů. Pro toto porovnání byly zvoleny vždy přímo měřené délky, aby se do stanovení korekcí nezanášela odchylka z určení zenitového úhlu, sloužícího ke korekcím na spojnici „kámen-kámen“. V rámci konzultace bylo usouzeno, že nejpravděpodobněji dojde k výskytu násobné chyby, ale z dalšího postupu vyplývá, že se přistoupilo i ke sledování možného výskytu součtové a cyklické chyby.

Pro stanovení systematické chyby bylo zvoleno několik přístupů, nejprve došlo pouze k určení podílu (pro součtovou konstantu případně rozdílu) mezi všemi měřenými délkami a stanovení jedné hodnoty aritmetickým průměrem. Tento přístup bohužel neposkytl jednoznačné

řešení, neboť jednak z vynesení podílů (případně diferencí) do grafu se nepodařilo vysledovat jasnou závislost, tak i při použití ve výpočtech vyrovnání se dospělo na některých bodech až k několikamilimetrovým posunům, což znemožňovalo jasné navázání na měření totální stanicí Leica. Další postup pak spočíval v určení průměrných délek ze všech skupin a z protilehlých měření a stanovení jednotné délky pro danou spojnici. Tento postup ale narazil na podobný problém jako předchozí. Na závěr pak byl zvolen postup, při kterém došlo k vyrovnání měření z daných etap a vysledování systematické chyby mezi vyrovnanými délkami. Tento postup by měl nejlépe posloužit k určení a stanovení možné systematické chyby, i když z výsledných hodnot a grafu diferencí (Obr. 14) nebylo možné jednoznačně prokázat průběh systematické chyby.



Obr. 14 - Graf spojnice trendu rozdílu vyrovnaných délek mezi totálními stanicemi

Z tohoto důvodu se přešlo k experimentální metodě, kdy se délky z totální stanice (dále jen TS) Trimble, opravené o předpokládanou násobnou konstantu, přiřadily k úhlům z TS Leica a délky přímo měřené TS Leica se přiřadily k úhlům určeným TS Trimble. Tímto způsobem by se mělo dojít k tomu, že při použití úhlů TS Trimble a „správných“ délek TS Leica, by v rámci vyrovnání měly vyjít podobné výsledky jako při vyrovnání pouze dat TS Leica. A naopak při využití opravených délek TS Trimble s úhly TS Leica by měly vyjít podobné výsledky jako při vyrovnání samostatných dat TS Trimble. Jak se však ukázalo na výsledných souřadnicích, vyrovnání pouze dat TS Leica a vyrovnání s úhly TS Leica a délkami TS Trimble se ve výsledku lišilo pouze v řádech desetin milimetru, kdežto vyrovnání s úhly TS Trimble a „správnými“ délkami TS Leica velice inklinovalo k vyrovnání dat čistě TS Trimble.



Z tohoto porovnání se dají vyvodit dva závěry. Prvním je, že použití násobné konstanty určené pouze z průměrů podílů délek odpovídá výsledkům vyrovnání s měřenými délkami TS Leica. Druhým závěrem z toho vyplývajícím je ale to, že měření TS Trimble obsahuje závažné chyby týkající se úhlového měření či nedostatečné přesnosti v měření úhlu. Problémy zde vyvstávají na bodě L, kde je patrné ve znázornění konfigurace vztažné sítě (Obr. 10), že stěžejními vlivy na přesnost ve směru toku není měřená délka, nýbrž úhel, a proto se přistoupilo k ověření, zda dosažený rozdíl v souřadnicích je v rámci mezních hodnot, či nikoliv. Pro stanovení rozdílů a jejich mezních hodnot byly převzaty výsledné vyrovnané souřadnice z kapitoly 5.1. a jejich teoretické přesnosti z kapitoly 2.5.2., kde mezní hodnota byla určena součtem mezních hodnot jednotlivých souřadnic.

Etapa	Bod	Rozdíl		Mezní	
		X [mm]	Y [mm]	X _M [mm]	Y _M [mm]
III.	L	-2,9	0,7	1,8	1,2
IV.	L	-1,8	0,1		

Tab. 10 - Porovnání rozdílů souřadnic na pilíři L mezi totálními stanicemi

Jak je z hodnot v tabulce Tab. 10 patrné, problém nastává zejména v ose X, která reprezentuje směr toku, kde v rámci III. etapy došlo k výraznému překročení a během IV. etapy došlo ke shodnosti s mezní odchylkou. Po uvážení se proto rozhodlo, že měření totální stanicí Trimble S8 HP bude využito pouze k vyrovnání vztažné sítě a výpočtu souřadnic některých pozorovaných bodů pro možnost inovace měření, ale nebude využito pro výsledné určování posunů vztažné sítě ani pozorovaných bodů.

4.3 Vnější vlivy působící na měření

Pokud se bude na toto téma nahlížet s odstupem, je vnějších vlivů působících na měření velké množství. Spadají sem vlivy způsobené odchylkou v centraci přístrojů, odchylkou v centraci a natočení cílů, boční a vertikální refrakcí a dalšími odchylkami způsobenými atmosférickými změnami. V rámci měření byl prováděn stejný postup přípravy napříč etapami, který většinu těchto odchylek minimalizoval, případně se při výpočtu posunů považoval za stejný, a proto došlo k jejímu vyloučení (další informace jsou uvedeny v kapitole 3.1). Stěžejními vlivy, které ale nelze takto jednoduše vyloučit, je vliv refrakce, a v případě měření dvěma totálními stanicemi pak i vliv atmosférických změn na elektronický dálkoměr.

Při měření na stanovisku byly vždy pro každou totální stanici před každou osnovou upraveny hodnoty tlaku a teploty, které však i při měření přímo po sobě mohly nabývat jistých změn, a ty mohly způsobit jisté odchylky při měření dálkoměru. V tabulce Tab. 11 je uveden příklad rozdílů atmosférických korekcí během IV. etapy měření pro jednotlivá stanoviska v době jejich měření. Jak ale bylo zjištěno v předcházející kapitole, možný vliv těchto rozdílů na výslednou délku (a při uvážení neznalosti přesného vzorce pro zavádění atmosférických korekcí jednotlivých výrobců) je minimální, a proto zde nebude dále rozebírán.

Stanovisko	Přibližný čas měření [h:min]	Leica TM30		Trimble S8 HP	
		t [°C]	p [hPa]	t [°C]	p [hPa]
P	10:00	7,5	971,8	7,6	971,5
S	10:20	8,3	971,5	7,5	971,9
P9	11:04	8,3	975,2	8,8	974,7
P7	11:48	8,6	979,4	8,9	979,6
P8	12:32	10,1	974,4	9,4	974,0
L	13:29	9,0	969,3	8,2	969,2
P5	13:58	9,6	973,1	10,4	973,1

Tab. 11 - Hodnoty teploty a tlaku pro obě totální stanice během IV. etapy měření

Druhým vlivem, který ale představuje limitující faktor pro přesnost a spolehlivost výsledků, je refrakce (v případě VD Orlík se jedná hlavně o její vertikální část). Problémů s refrakcí zde vyvstává hned několik, ať už jde přímo o prostorovou členitost vztažné sítě, kde se mnohokrát jedná o strmé záměry, které jsou refrakcí postiženy nejvíce, tak i o atmosférické vlivy, které způsobují hlavně v letních etapách velké rozpory. Problematické je zde přímo umístění vztažné sítě, kde pilíře L a P5 jsou díky své lokalizaci většinu dne „na slunci“, oproti tomu například pilíř S a částečně pilíř P jsou skoro po celý den ve stínu přehrady. Dalším problémem je zde i umístění



pilíře P7 dole na plavbě, která je pouze pár metrů nad vodou vytékající z přehrad, a i v letních měsících dosahuje teploty pouze pár °C nad bodem mrazu. Právě vlivy různých teplot v průběhu záměry a její případná strmost mají největší vliv na měřené veličiny. Během měření se využívá systému automatického cílení, který je sice schopný správně identifikovat umístění hranolu, ale vliv refrakce hlavně na polárně měřené výšky zde přetrvává. Z tohoto důvodu není vhodné využívat na VD Orlík polární zaměření pro určování svislých posunů, neboť bez zhotovení reálného modelu refrakce by byly zatíženy chybou. Proto by se mělo přistoupit k tradičnějším metodám, jako je například metoda VPN.

Vliv refrakce by se dal řešit několika způsoby, jako je například měření protisměrných veličin v co nejkratší době, což ale z důvodu členitosti sítě, kde se mezi stanovisky přechází i 15 minut, je velice obtížné. Měření atmosférických podmínek na obou koncích záměry, což by ale vyžadovalo buď několik systémů pro automatický odečet nebo velkou skupinu lidí čistě pro manuální odečty na všech bodech sítě. Dále pak pomocí umístění čidel pro určování teploty a tlaku v průběhu záměry, což by umožnilo podchytit jisté aspekty, ale reálně by to bylo jen na záměrech, které nejsou měřeny „přes vodu“ (délky přes vodu dosahují i přes 400 m), a kvůli tomu by se nepodařilo redukovat tento vliv v celé síti. Poslední možností by pak bylo dlouhodobé měření osnov ze stanovisek, čímž by se pro konkrétní podmínky dal částečně vysledovat a vyhotovit model průběhu vlivu refrakce na měření. Toto by se jevilo jako nejideálnější řešení, avšak časově velice náročné, neboť by bylo nutné měřit takto na všech stanoviscích. Je také důležité si uvědomit, že tento model by bylo možné aplikovat jen pro ta daná měření, protože pro jiný den mohou být již jiné podmínky a vliv refrakce by nabýval naprosto jiných hodnot, a bylo by proto nutné stanovit prakticky celoroční model z dlouhodobých měření. Z těchto důvodů se pak během výpočtu nijak nezaváděla oprava z vlivu refrakce, jejíž výskyt v měření se projeví v hodnotě vnější přesnosti měřených veličin.

5 Výpočty

5.1 Vyrovnání

Pro vyrovnání byl z důvodu velkého množství měřených dat zvolen program EasyNet [12], jenž je přímo určen pro zpracování velmi přesných dat v inženýrské geodézii. Program EasyNet kromě samotného vyrovnání umožňuje i analýzu měření, tudíž zde odpadá nutnost ručního výpočtu vnitřní a vnější přesnosti, kontroly skupin, redukci atp. Jeho hlavní přednost ale spočívá v iteračním robustním vyrovnání geodetických měření, z něhož se získávají opravy a na jejich základě dochází k identifikaci a vyloučení odlehlých měření.

Před samotným vyrovnáním bylo potřeba provést některé nezbytné kroky. Nejdříve upravit vstupní data do podporovaných formátů a zavést požadované opravy (více v kapitole 4.), dále pak pomocí automatické kontroly dle nastavených vstupních parametrů ověřit rozdíly v měřených datech a na závěr analyzovat měřená data, k čemuž posloužily nástroje programu EasyNet. Pro analýzu dat je potřeba nahrát přibližné souřadnice bodů (využívá se místní soustavy, kde osa Y představuje směr průběhu hráze), které byly pro základní etapu převzaty od firmy Vodní díla – TBD, a pro další etapy se za přibližné považovaly vyrovnané souřadnice základní etapy (viz. tabulka Tab. 12). Jak je z tabulky patrné, nenahrávají se sem veškeré body, neboť stejné souřadnice jsou pak využity pro transformaci výsledné sítě, která se může vlivem robustního vyrovnání volné sítě „stočit“, a je nutné ji proto transformovat. Pro určení, které body budou využity, se bral příklad jednak z poskytnutých přibližných souřadnic, tak poté i z vyrovnání II. etapy a testování dle reziduí, na které body síť nejlépe „pasuje“, případně pak jaké body se prokazatelně dlouhodobě pohybují (například pilíř P). Výsledkem analýzy jsou vnitřní a vnější přesnosti měřených veličin, popřípadě pak redukované měřené veličiny před vyrovnáním (na spojnicí „kámen-kámen“) a rozdíly na bodech sítě.

Bod	Přibližné souřadnice základní etapa		Přibližné souřadnice II. – IV. etapa	
	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
L	-0,0009	-0,0001	-0,0002	0,0002
S	-15,4002	462,2324	-15,4006	462,2328
P5	283,2652	178,5640	283,2650	178,5634
P8	67,1159	110,1652	67,1157	110,1649
P9	79,3243	445,7856	79,3244	445,7857

Tab. 12 - Tabulka s použitými přibližnými souřadnicemi pro vyrovnání a transformaci v programu EasyNet

Pro samotné vyrovnání je pak nutné určit přesnosti měřených veličin. Vypočtená vnitřní přesnost uvažuje pouze přesnost totální stanice a její rozptyl na stanoviscích v měřených datech, oproti tomu vnější přesnost se určuje z celé sítě, jsou do ní zahrnuty i vnější odchylky (refrakce, přesnost cílení, centrace, ...), a pro její výpočet se využívají uzávěry v trojúhelnících a protisměrná měření. Právě z hodnot vnějších přesností se pak dá odhadovat, zda v rámci měření dochází k systematickým odchylkám (hlavně pro zenitové úhly refrakce), či nikoliv. Pro vyrovnání byly voleny dva způsoby přístupu k přesnostem. Jelikož tato diplomová práce má navazovat na měření prováděná firmou Vodní díla – TBD, která pro vyrovnání využívá také program Easy-Net, volil se stejný postup jako u nich. Ten spočívá v tom, že pro výpočet se nevyužívá vnitřní ani vnější přesnost, ale empirická hodnota, která je dlouhodobě výsledovaná pro totální stanici Leica TM30 a vodní dílo Orlick. Druhý přístup je u vyrovnání dat Trimble, kde tato empirická hodnota není známá, a proto se volilo využití vnější přesnosti s následnou úpravou přesností jednotlivých vyloučených měření, aby byla do vyrovnání zahrnuta.

Totální stanice	Etapa	σ_{Hz} [mgon]	σ_z [mgon]	σ_d [mm]
TM30	I.	0,30	0,30	0,80
	II.	0,30	0,30	0,80
	III.	0,30	0,30	0,80
	IV.	0,30	0,30	0,80
S8 HP	III.	0,18	0,80	0,43
	IV.	0,24	0,65	0,65

Tab. 13 - Přesnosti měřených veličin vstupující do vyrovnání pro jednotlivé etapy

Výsledné vyrovnané souřadnice je pak potřeba transformovat do námi zvoleného souřadného systému. Využívá se pro to přibližných souřadnic dané etapy (uvedeny v tabulce Tab. 12) a volí se metoda transformace s vyrovnáním, kde se používá transformace na těžiště sítě s podmínkou MNČ na identických bodech. V tabulce Tab. 14 jsou uvedeny základní informace o vyrovnání (jedná se zejména o hodnotu apriorní a aposteriorní jednotkové směrodatné odchylky, jež slouží ke kontrole správnosti stanovení vah pro vyrovnání), podrobné protokoly z vyrovnání jsou přiloženy v přílohách.

	L – I.	L – II.	L – III.	L – IV.	T – III.	T – IV.
Apriorní	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Aposterioerní	1,106	0,899	0,967	0,825	1,012	1,059
Metoda robustního odhadu	Huber		Hladina významnosti	0,01		

Tab. 14 - Základní informace o vyrovnání vztažné sítě pro všechny etapy



Problémem se zde jeví výsledná přesnost souřadnic. Ta spočívá v tom, že program EasyNet pro vyrovnání využívá veškerá měření a nepracuje s průměry měřických skupin. Pokud by pracoval, došlo by v rámci analýzy ke stanovení vnějších přesností přímo pro zprůměrovaná měření, a ne pro jednu skupinu, což by nebyl problém, pokud by následně nepředpokládal nárůst přesnosti s dalšími měřenými skupinami. Pro „bezchybná“ měření by tento předpoklad platil, ale pokud by byla měření zatížena systematickou chybou, došlo by ke zkreslení výsledných přesností. Pro ověření této myšlenky byl nasimulován experiment s využitím měření z I. etapy, kde byly voleny varianty vstupních dat se všemi měřeními a pak pouze zprůměrovaná měření ze všech skupin. Pro obě varianty se nejdříve volila jednotná hodnota přesností 1 mgon pro směry a 1 mm pro délky, a když se sledovaly apriorní přesnosti měření a souřadnic, jejich poměr odpovídal přibližně hodnotě odmocniny z počtu měřických skupin (v tomto případě 3 skupiny). Následně pak došlo k úpravě přesnosti zprůměrovaných měření o zmíněnou odmocninu ze tří a novému porovnání, kde pak apriorní přesnosti měření i souřadnic vycházely prakticky stejně, což s předešlým tvrzením potvrzuje myšlenku metodiky výpočtu přesností programu EasyNet.

Důvodem pro tyto dohady byly právě vnější přesnosti stanovené programem EasyNet. Neboť při pohledu na hodnoty stanovené pro všechna a pro zprůměrovaná měření, rozdíl v jejich hodnotách je minimální, což svědčí o tom, že měření byla zatížena systematickou chybou a při měření ve více skupinách ve skutečnosti prakticky nedochází ke zvýšení přesnosti měření, kterou ale program EasyNet i tak předpokládá a počítá s ní. Jelikož byl tento trend sledován i u dalších etap měření, rozhodlo se o zavedení násobného koeficientu pro umělé rozšíření přesností výsledných souřadnic z programu EasyNet. Pro jeho stanovení se využilo vyrovnání s použitím vnějších přesností a sledovaly se zde hodnoty směrodatných odchylek vyrovnaných souřadnic (Tab. 15). Z jejich poměru se pak pomocí kvadratického průměru stanovila jednotná hodnota **1,729**, která byla využita pro úpravu všech přesností z programu EasyNet.

Bod	Určeno ze všech měření		Určeno z průměrů skupin	
	σ_x [mm]	σ_y [mm]	σ_x [mm]	σ_y [mm]
L	0,32	0,16	0,45	0,31
P	0,13	0,13	0,23	0,25
S	0,10	0,10	0,18	0,17
P5	0,25	0,19	0,37	0,31
P7	0,17	0,15	0,29	0,27
P8	0,28	0,13	0,42	0,26
P9	0,14	0,10	0,26	0,17

Tab. 15 - Hodnoty přesností z obou variant vyrovnání pro I. etapu



Etapa	Pilíř	X [m]	Y [m]	σ_x [mm]	σ_y [mm]
I.	L	-0,0002	0,0002	0,80	0,31
	P	-0,0018	483,6368	0,28	0,28
	S	-15,4006	462,2328	0,21	0,22
	P5	283,2650	178,5634	0,61	0,45
	P7	180,3852	373,1969	0,36	0,33
	P8	67,1157	110,1649	0,69	0,26
	P9	79,3244	445,7857	0,29	0,22
II.	L	-0,0012	-0,0004	0,73	0,26
	P	-0,0015	483,6357	0,19	0,22
	S	-15,4000	462,2323	0,16	0,19
	P5	283,2653	178,5643	0,50	0,38
	P7	180,3830	373,1983	0,26	0,26
	P8	67,1159	110,1652	0,61	0,24
	P9	79,3242	445,7856	0,21	0,17
III.	L	-0,0008	0,0000	0,78	0,29
	P	-0,0018	483,6356	0,21	0,24
	S	-15,4008	462,2324	0,16	0,21
	P5	283,2656	178,5638	0,55	0,41
	P7	180,3817	373,1987	0,28	0,28
	P8	67,1156	110,1660	0,64	0,26
	P9	79,3246	445,7848	0,22	0,19
IV.	L	-0,0007	-0,0011	0,66	0,22
	P	-0,0027	483,6378	0,21	0,21
	S	-15,4006	462,2332	0,16	0,17
	P5	283,2663	178,5636	0,47	0,35
	P7	180,3825	373,2002	0,22	0,22
	P8	67,1150	110,1653	0,54	0,21
	P9	79,3242	445,7859	0,22	0,17

Tab. 16 - Výsledné souřadnice se směrodatnými odchylkami z měření totální stanicí TM 30 pro jednotlivé etapy

Etapa	Pilíř	X [m]	Y [m]	σ_x [mm]	σ_y [mm]
III.	L	-0,0035	0,0007	0,61	0,21
	P	-0,0016	483,6355	0,16	0,16
	S	-15,4008	462,2324	0,12	0,16
	P5	283,2651	178,5634	0,38	0,29
	P7	180,3813	373,1986	0,21	0,21
	P8	67,1157	110,1662	0,45	0,16
	P9	79,3245	445,7844	0,16	0,12
IV.	L	-0,0025	-0,0010	0,81	0,29
	P	-0,0027	483,6384	0,22	0,24
	S	-15,4007	462,2337	0,17	0,22
	P5	283,2669	178,5633	0,52	0,40
	P7	180,3823	373,2001	0,28	0,26
	P8	67,1157	110,1651	0,64	0,24
	P9	79,3244	445,7859	0,26	0,19

Tab. 17 - Výsledné souřadnice se směrodatnými odchylkami z měření totální stanicí S8 HP pro jednotlivé etapy

5.1.1 Testování přesnosti

Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole, program EasyNet automaticky v rámci analýzy měření počítá vnitřní a vnější přesnost. Tyto přesnosti by se měly společně s aposteriorní směrodatnou odchylkou měřených veličin statisticky testovat jak s nominální přesností deklarovanou výrobcem (posouzení, zda přesnost měření odpovídá nominální přesnosti), tak i s použitou druhou totální stanicí, pro ověření, zda lze předpokládat totožnou přesnost obou totálních stanic [10]. Pro výpočty byl použit program MO Excel a jeho příslušné funkce.

Nejprve bylo potřeba vypočítat aposteriorní přesnost měřených veličin, k čemuž nám posloužila vyrovnaná měření a jejich opravy. Z nich se pomocí rovnice (5.1) vypočítaly aposteriorní přesnosti měřených veličin. V tabulce Tab. 18 jsou uvedeny výsledné aposteriorní přesnosti společně se zbylými přesnostmi pro jednotlivé etapy.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum vv}{n-1}} \quad (5.1)$$

Etapa	Přesnost	σ_{Hz} [mgon]	σ_z [mgon]	σ_d [mm]
Leica – I.	Nominální	0,150	0,150	0,60
	Vnitřní	0,187	0,237	0,08
	Vnější	0,215	0,653	0,75
	Aposteriovní	0,246	0,435	0,68
Leica – II.	Nominální	0,150	0,150	0,60
	Vnitřní	0,168	0,15	0,08
	Vnější	0,274	0,528	0,58
	Aposteriovní	0,218	0,321	0,61
Leica – III.	Nominální	0,150	0,150	0,60
	Vnitřní	0,113	0,131	0,07
	Vnější	0,117	0,445	0,52
	Aposteriovní	0,170	0,402	0,55
Leica – IV.	Nominální	0,150	0,150	0,60
	Vnitřní	0,318	0,180	0,15
	Vnější	0,346	0,352	0,64
	Aposteriovní	0,167	0,285	0,64
Trimble – III.	Nominální	0,300	0,300	0,80
	Vnitřní	0,094	0,121	0,17
	Vnější	0,179	0,799	0,43
	Aposteriovní	0,235	0,761	0,46
Trimble – IV.	Nominální	0,300	0,300	0,80
	Vnitřní	0,188	0,191	0,20
	Vnější	0,242	0,652	0,65
	Aposteriovní	0,358	0,638	0,73

Tab. 18 - Tabulka s přesnostmi pro jednotlivé etapy



Pro testování shodnosti přesností měřených veličin s nominální přesností totální stanice se využívá χ^2 test. Nulová hypotéza je formulovaná $H_0: \sigma = \sigma_0$ a v našem případě se bude využívat pravostranný test, kde testovacím kritériem je veličina

$$\chi^2 = \frac{n - 1}{\sigma_0} \cdot \sigma^2 \quad (5.2)$$

Test bude proveden na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ a nulovou hypotézu budeme zamítat, pokud

$$\chi^2 > \chi_{\alpha}^2 \quad (5.3)$$

Pro testování byly využity veškeré hodnoty a v tabulce Tab. 19 je uvedeno pro jednotlivé přesnosti, zda došlo k zamítnutí nulové hypotézy o shodnosti s nominální přesností, či nikoliv.

Etapa	Přesnost	σ_{Hz}	σ_Z	σ_d
Leica – I.	Vnitřní	NE	NE	NE
	Vnější	NE	ANO	NE
	Aposteriorní	ANO	ANO	NE
Leica – II.	Vnitřní	NE	NE	NE
	Vnější	ANO	ANO	NE
	Aposteriorní	ANO	ANO	NE
Leica – III.	Vnitřní	NE	NE	NE
	Vnější	NE	ANO	NE
	Aposteriorní	NE	ANO	NE
Leica – IV.	Vnitřní	ANO	NE	NE
	Vnější	ANO	ANO	NE
	Aposteriorní	NE	ANO	NE
Trimble – III.	Vnitřní	NE	NE	NE
	Vnější	NE	ANO	NE
	Aposteriorní	NE	ANO	NE
Trimble – IV.	Vnitřní	NE	NE	NE
	Vnější	NE	ANO	NE
	Aposteriorní	ANO	ANO	NE

Tab. 19 - Testování nulové hypotézy o shodnosti s nominální přesností totální stanice (χ^2 test)

Pro snadnější orientaci ty hypotézy, kdy došlo k zamítnutí nulové hypotézy, a tudíž měření neodpovídá svojí přesností nominální přesnosti totální stanice, byly zvýrazněny oranžově. Jak je z výsledků patrné, pokud se jedná o přesnosti měřených délek, ve všech případech dochází k přijetí nulové hypotézy, tudíž svojí přesností statisticky odpovídají nebo nabývají nižších hodnot, než je nominální přesnost udávaná výrobcem. Pokud nahlédneme na úhlové přesnosti, tak pro vnitřní přesnost kromě přesnosti horizontálního úhlu během IV. etapy nedochází k zamítnutí nulové hypotézy, což bylo očekávané, neboť vnitřní přesnost sleduje pouze rozptyl měření

ve skupinách. Co se týká vnějších přesností, zde je naopak patrný vliv vnějších podmínek na měření, hlavně se to týká zenitových úhlů, které jsou nejvíce zatíženy odchylkou z vertikální refrakce, a pro které byly všechny hypotézy o shodnosti zamítnuty. Pro měřené horizontální úhly došlo k zamítnutí pouze ve dvou etapách, kde v rámci II. a IV. etapy došlo patrně k vyššímu vlivu boční refrakce. Při sledování aposteriorních přesností je opět vidět, že měřené zenitové úhly jsou zatíženy chybou, neboť byly opět všechny hypotézy zamítnuty. Pro horizontální úhly došlo k zamítnutí nulové hypotézy ve třech etapách.

Pro testování shodnosti přesností měřených veličin mezi jednotlivými totálními stanicemi byl využit Fischerův test, kde nulová hypotéza je formulována shodností směrodatných odchylek dvou výběrů ($H_0: \sigma_1 = \sigma_2$) o rozsahu n_1 a n_2 měření na hladině významnosti $\alpha = 0,01$. Při testování bude využit jednostranný test s testovacím kritériem

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \quad (5.4)$$

kde vždy volíme $\sigma_1 > \sigma_2$ a nulovou hypotézu budeme zamítat, pokud

$$F > F_{\alpha/2} \quad (5.5)$$

Pro testování se použily vnitřní a vnější přesnosti ze III. a IV. etapy, kdy bylo měřeno oběma přístroji současně. V tabulce Tab. 20 je uvedeno, zda pro jednotlivé přesnosti došlo k zamítnutí nulové hypotézy.

Etapa	Přesnost	σ_{Hz}	σ_Z	σ_d
III.	Vnitřní	NE	NE	NE
	Vnější	NE	NE	NE
	Aposteriovní	ANO	ANO	NE
IV.	Vnitřní	NE	NE	NE
	Vnější	NE	NE	NE
	Aposteriovní	ANO	ANO	NE

Tab. 20 - Testování hypotéz o shodnosti přesností totálních stanic (F-test)

Jak je z hodnot patrné, pokud se jedná o srovnání vnitřní a vnější přesnosti měřených veličin určených pomocí analýzy měření programu EasyNet, lze předpokládat statisticky totožnou přesnost měřených veličin pro obě totální stanice. Když se ale podíváme na aposteriorní přesnost, zde se již výsledky mezi stanicemi rozcházejí. Z toho lze předpokládat, že měřená data jsou zatížena systematickou chybou (aposteriorní přesnost je určena přímo z oprav vyrovnaných měření), a nejsou proto vhodná pro porovnání výsledných souřadnic mezi totálními stanicemi. Další otázky k tomuto tématu byly probrány v kapitole 4.



5.1.2 Posuny vztažné sítě a jejich testování

Pro sledování posunů vztažné sítě se využívají vyrovnané a transformované souřadnice z programu EasyNet a jsou sledovány a testovány samostatně pro jednotlivé osy. Tyto posuny nám slouží ke sledování sezónních posunů vztažné sítě a její stability pro vyhodnocení měření. Posuny se sledují jednak k základní etapě a zároveň i k etapě předchozí.

Hodnota posunu je určena přímo rozdílem souřadnic, kde kladná hodnota posunu představuje posun ve směru osy souřadného systému. Souřadnicový systém pak je definován tak, že kladná osa X představuje posun ve směru toku a kladná osa Y představuje posun ve směru kolmém na tok (v našem případě pak kladný směr je definován ve směru z levého břehu na pravý). Pro testování a zhodnocení posunu se použije hladina významnosti $\alpha = 0,01$, čemuž odpovídá koeficient spolehlivosti $u_p = 2,5$. Mezní hodnota Δ_M se pak určí pomocí vzorce

$$\Delta_M = u_p \cdot \sigma_p \quad (5.6)$$

kde σ_p představuje směrodatnou odchylku posunu. Ta se stanoví pomocí zákona hromadění směrodatných odchylek, do kterého nám budou vstupovat upravené přesnosti dané souřadnice z jednotlivých etap

$$\sigma_{p_{ij}} = \sqrt{\sigma_{x_i}^2 + \sigma_{x_j}^2} \quad (5.7)$$

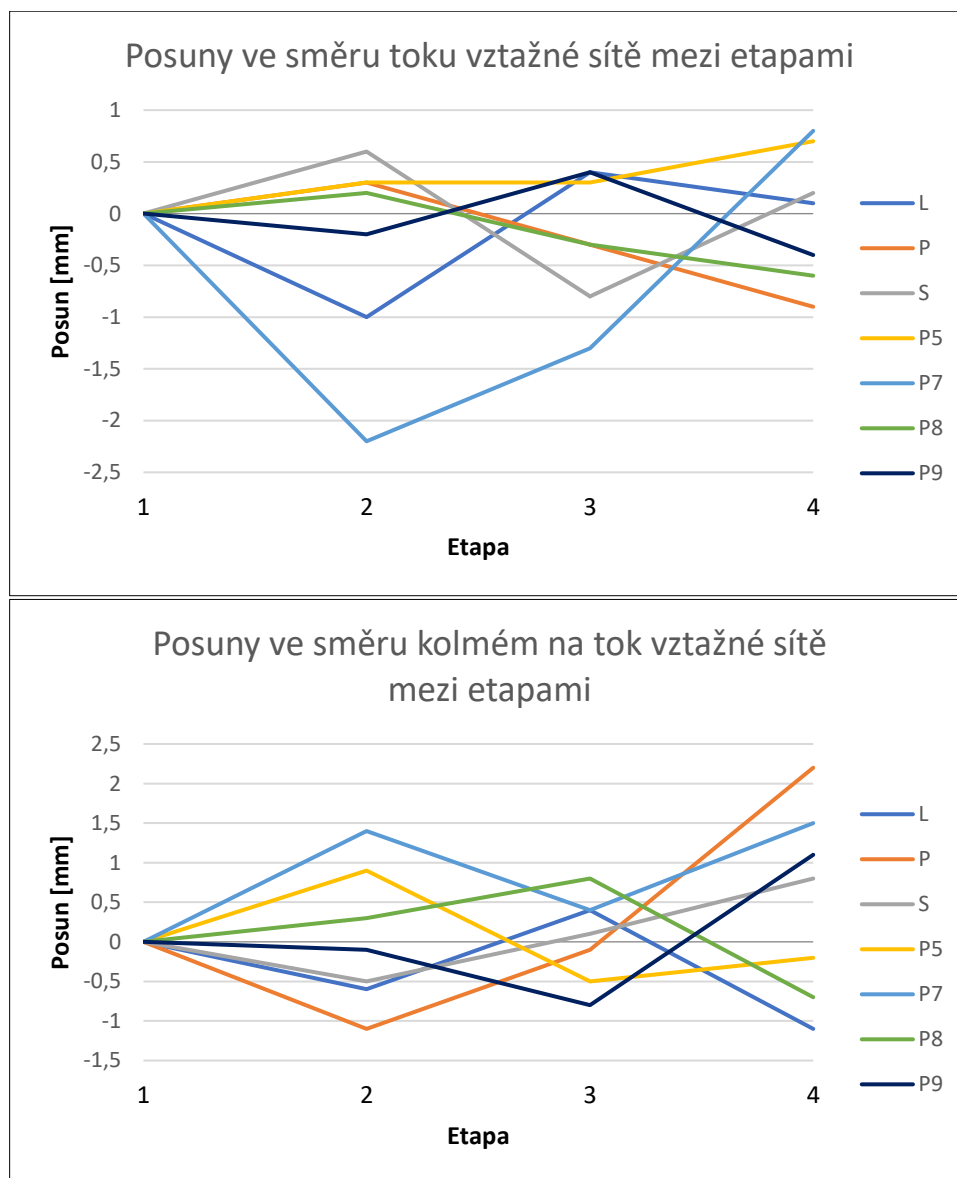
Pokud pak hodnota posunu je větší než mezní hodnota Δ_M , lze s 99% pravděpodobností prohlásit, že byl prokázán posun daného bodu. V tabulce Tab. 21 jsou uvedeny posuny i s mezními hodnotami. Pokud pak došlo k překročení mezní hodnoty, a tudíž prokázání posunu, je posun zvýrazněn oranžově.

Bod	E2-E1				E3-E1			
	dX [mm]	dY [mm]	mX [mm]	mY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	mX [mm]	mY [mm]
L	-1,00	-0,60	2,69	1,01	-0,60	-0,20	2,78	1,07
P	0,30	-1,10	0,84	0,89	0,00	-1,20	0,86	0,92
S	0,60	-0,50	0,65	0,74	-0,20	-0,40	0,65	0,76
P5	0,30	0,90	1,96	1,47	0,60	0,40	2,05	1,53
P7	-2,20	1,40	1,12	1,05	-3,50	1,80	1,14	1,07
P8	0,20	0,30	2,30	0,89	-0,10	1,10	2,36	0,92
P9	-0,20	-0,10	0,90	0,71	0,20	-0,90	0,93	0,74
Bod	E3-E2				E4-E1			
	dX [mm]	dY [mm]	mX [mm]	mY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	mX [mm]	mY [mm]
L	0,40	0,40	2,66	0,98	-0,50	-1,30	2,58	0,96
P	-0,30	-0,10	0,70	0,83	-0,90	1,00	0,86	0,86
S	-0,80	0,10	0,55	0,70	0,00	0,40	0,65	0,71
P5	0,30	-0,50	1,87	1,41	1,30	0,20	1,91	1,42
P7	-1,30	0,40	0,95	0,95	-2,70	3,30	1,07	1,00
P8	-0,30	0,80	2,20	0,89	-0,70	0,40	2,19	0,83
P9	0,40	-0,80	0,76	0,64	-0,20	0,20	0,93	0,71
Bod	E4-E3							
	dX [mm]	dY [mm]	mX [mm]	mY [mm]				
L	0,10	-1,10	2,55	0,93				
P	-0,90	2,20	0,73	0,80				
S	0,20	0,80	0,55	0,68				
P5	0,70	-0,20	1,81	1,35				
P7	0,80	1,50	0,89	0,89				
P8	-0,60	-0,70	2,09	0,83				
P9	-0,40	1,10	0,79	0,64				

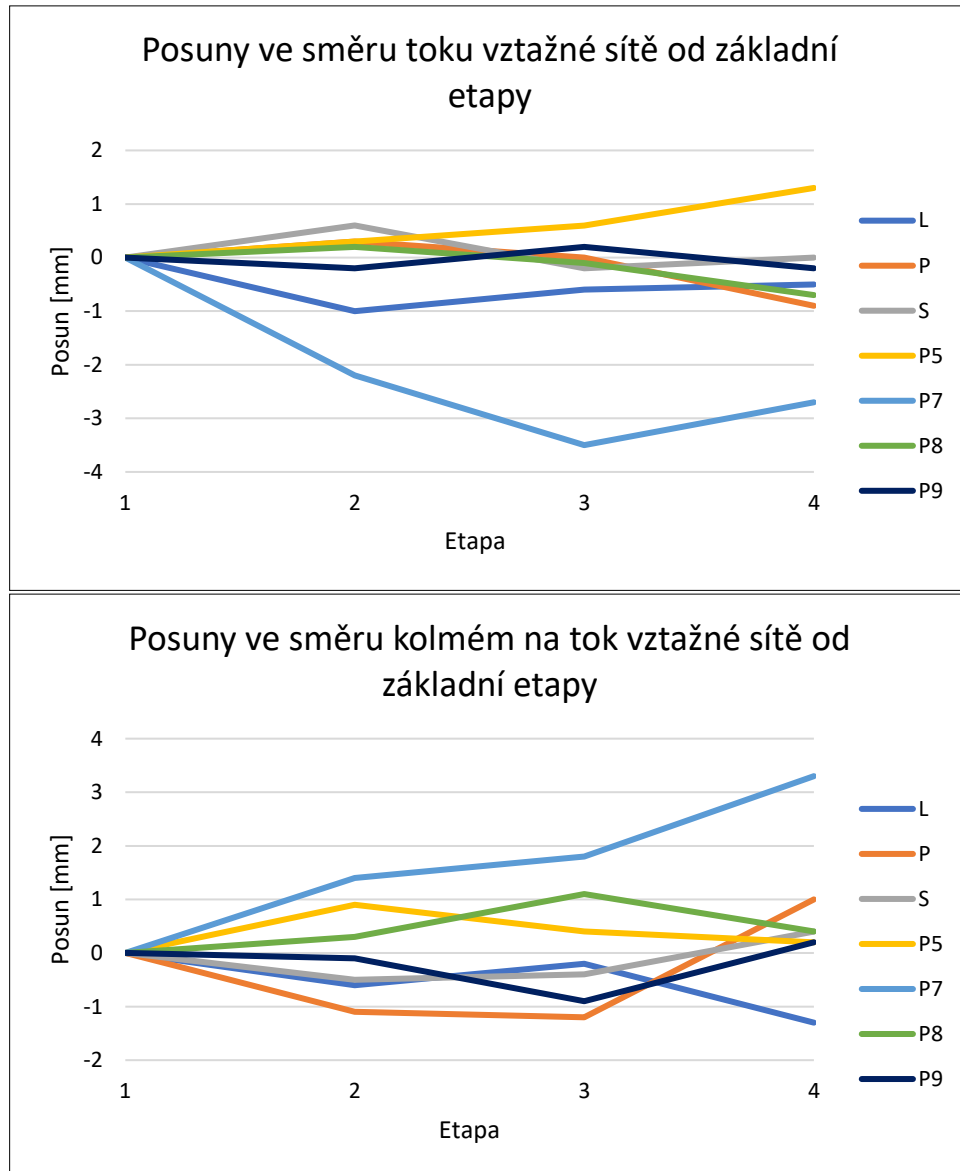
Tab. 21 - Posuny vztažné sítě s mezními hodnotami

Jak je z výsledků patrné, u některých bodů dochází k systematickému posunu od základní etapy. Jedná se hlavně o pilíř P, kde však byl posun očekáván a byl už dříve označen jako nestabilní, a o pilíř P7, který však kvůli umístění na spodní části lodního výtahu byl taktéž považován za podezřelý z nestability. Zajímavostí je zde IV. etapa měření, kde dochází k velkému rozdílu od III. etapy. Zde se bohužel může projevit vliv nových centračních podložek a nepodchycení všech konstrukčních nedostatků, kterými ovlivňují měření a pro jednoznačné ověření správnosti by byly nutné další etapy měření.

Jelikož v rámci přehrad dochází hlavně k sezónním posunům, nelze z tohoto množství dat jednoznačně vysledovat, které posuny jsou způsobeny právě sezónními vlivy a které skutečným pohybem pilířů, a tudíž vyhodnotit celkovou stabilitu sítě.



Obr. 15 - Grafické znázornění vodorovných posunů vztažné sítě mezi jednotlivými etapami



Obr. 16 - Grafické znázornění vodorovných posunů vztažné sítě od základní etapy

5.2 Výpočet pozorovaných bodů

5.2.1 Záměrná přímka

Jak bylo zmíněno v předešlých kapitolách, pro měření záměrné přímky byly využity pilíře L a P. Pilíř L je v rámci výpočtu považován za pevný, avšak pilíř P se z dlouhodobého hlediska posouvá, a tudíž jej za pevný považovat nelze. Z tohoto důvodu je potřeba opravit měřené úhly nejen z uzávěru, který zde byl měřen, ale i z excentricity stanoviska (v případě úhlů měřených ze stanoviska P) a z excentricity cíle (v případě úhlů měřených ze stanoviska L). K tomu nám poslouží rozdíly vyrovnaných souřadnic vztažené sítě mezi danými etapami měření záměrné přímky (I. a III. etapa) [13]. Z těchto rozdílů se pak určí délka excentricity e

$$e = \sqrt{\Delta_X^2 + \Delta_Y^2} \quad (5.8)$$

a pomocí úhlů v trojúhelníku (dány směrem na pozorovaný bod φ_i a směrem na centr φ_c) a přibližné vzdálenosti k pozorovaným bodům d , se vypočte oprava pro všechny měřené úhly

$$\delta_{Ei} = \arcsin\left(\frac{e}{d_i}\right) \cdot \sin(\varphi_i - \varphi_c) \quad (5.9)$$

Tímto způsobem se opraví osnova měřená na excentrickém stanovisku P. Jak je z tabulky Tab. 23 patrné, během druhé etapy měření dochází pouze k posunu bodu P ve směru bodu L, a proto tento posun nemá vliv na excentricitu cíle a není nutné opravovat měření ze stanoviska L. Výsledné směry z II. etapy měření záměrné přímky jsou uvedeny v tabulce Tab. 24.

Stano- visko	E1 (Z1) - 8		E2 - 12	
	Souřadnice		Souřadnice	
	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
L	-0,0002	0,0002	-0,0008	0,0000
P	-0,0018	483,6368	-0,0018	483,6356

Tab. 22 - Vyrovnané souřadnice stanic L a P pro výpočet záměrné přímky

Stanovisko	E2 - E1			
	Excentricita			
	dX [m]	dY [m]	e [m]	směr na centr[gon]
P	0,0000	-0,0012	0,0012	199,99861

Tab. 23 - Parametry pro výpočet opravy z excentricity stanoviska P pro záměrnou přímku



Stanovisko	Cíl	E2		Stanovisko	Cíl	E2	
		Oprava [mgon]	Výsledný [gon]			Oprava [mgon]	Výsledný [gon]
L	P	---	399,99893	P	L	---	399,99861
L	4	0,00	18,91045	P	4	0,02	394,73121
L	5	0,00	16,41214	P	5	0,02	394,63212
L	6	0,00	14,28727	P	6	0,02	394,48900
L	7	0,00	12,73578	P	7	0,02	394,35652
L	8	0,00	11,34857	P	8	0,02	394,20106
L	9	0,00	10,25997	P	9	0,02	394,05217
L	10	0,00	9,29477	P	10	0,03	393,85186
L	11	0,00	8,39203	P	11	0,03	393,66367
L	12	0,00	7,67643	P	12	0,03	393,43965
L	13	0,00	7,14656	P	13	0,03	393,26388
L	14	0,00	6,70958	P	14	0,03	393,07364
L	15	0,00	6,27699	P	15	0,04	392,81634
L	16	0,00	5,90894	P	16	0,04	392,62123
L	17	0,00	5,57939	P	17	0,04	392,33532
L	18	0,00	5,29975	P	18	0,05	391,97880
L	19	0,00	4,92764	P	19	0,05	391,73124
L	21	0,00	4,44755	P	21	0,07	390,91265
L	23	0,00	4,01690	P	23	0,09	389,90061
L	25	0,00	3,64435	P	25	0,12	388,50443
L	26	0,00	3,42219	P	26	0,15	386,88249
L	27	0,00	3,21963	P	27	0,20	385,07053
L	28	0,00	3,00966	P	28	0,28	382,60914
L	29	0,00	2,83481	P	29	0,42	378,93110
L	30	0,00	2,57267	P	30	1,08	367,65353

Tab. 24 - Oprava z excentricity stanoviska P a výsledné směry vstupující do výpočtu záměrné přímky

Ze směrů opravených z uzávěru a z excentricity stanoviska (potažmo cíle) se následně určí vnitřní úhly k pozorovaným bodům a s využitím přibližné vzdálenosti se pomocí zjednodušení na obloukovou míru stanoví posun z obou stanovisek. Výsledný posun se pak určí váženým průměrem s uvážením vzdálenosti k pozorovaným bodům. Veškeré vzorce pro výpočet jsou uvedeny v kapitole 2.4 a nebudou zde uváděny. Výsledné posuny záměrné přímky jsou uvedeny v tabulce Tab. 25.

Stanovisko	Cíl	Posun [mm]	Stanovisko	Cíl	Posun [mm]	Vážený průměr [mm]
L	4	3,7	P	4	3,7	3,71
L	5	3,9	P	5	5,4	4,28
L	6	5,5	P	6	5,6	5,53
L	7	5,0	P	7	5,6	5,16
L	8	4,9	P	8	5,7	5,17
L	9	5,0	P	9	6,3	5,47
L	10	6,2	P	10	6,2	6,21
L	11	4,7	P	11	6,1	5,30
L	12	4,7	P	12	5,3	4,96
L	13	5,1	P	13	5,7	5,37
L	14	4,3	P	14	4,8	4,53
L	15	4,0	P	15	5,2	4,62
L	16	4,7	P	16	5,5	5,17
L	17	4,1	P	17	5,3	4,80
L	18	4,6	P	18	6,4	5,71
L	19	5,1	P	19	5,2	5,17
L	21	4,8	P	21	5,3	5,16
L	23	3,8	P	23	5,3	4,85
L	25	3,0	P	25	4,6	4,18
L	26	4,7	P	26	5,4	5,27
L	27	4,5	P	27	3,8	3,95
L	28	2,8	P	28	2,5	2,58
L	29	0,7	P	29	1,0	0,95
L	30	-3,3	P	30	-0,9	-1,08

Tab. 25 - Posuny z jednotlivých stanovisek a výsledný posun určený ze záměrné přímky

Pro testování posunů se využije stejných vzorců jako v kapitole 2.5.1. Důležité je zde ale stanovení skutečných hodnot přesnosti měřených směrů a směrodatné odchylky v cílení. Pro určení směrodatné odchylky měřeného směru se po konzultaci využilo vnější přesnosti horizontálních úhlů. Výsledná přesnost se stanovila kvadratickým průměrem z obou etap měření. Samozřejmě tato přesnost není daná pro ruční měření, nýbrž je určená pro měření s využitím cílení ATR, ale pro naše potřeby nejlépe reflektuje vnější vlivy na měření.

Etapa	Vnější přesnost σ_{Hz} [mgon]	Výsledná přesnost [mgon]
I.	0,215	0,173
III.	0,117	

Tab. 26 - Stanovení přesnosti měření horizontálního směru záměrné přímky



Pro určení směrodatné odchytky v cílení byly využity obě etapy jejího měření, v nichž se sledoval horizontální úhlový rozdíl mezi skupinami. Pro každou skupinu zvlášť byly zpracovány obě polohy dalekohledu, následně došlo k opravě uzávěru a stanovení diference mezi dvěma skupinami měření. Jelikož se jednalo pouze o dvě etapy měření, jednalo se o malý soubor měření a nebylo možné zde vysledovat systematickou odchytku v cílení. Z toho důvodu se přešlo na stanovení střední hodnoty rozdílu, pro kterou se určila i střední vzdálenost k pozorovaným bodům a pomocí vzorce na výpočet obloukové míry se stanovila střední hodnota posunu, která zde reprezentuje směrodatnou odchytku v cílení a pro všechna měření byla použita stejná hodnota.

Průměrný rozdíl mezi skupinami [mgon]	0,07
Průměrná délka k pozorovaným bodům [m]	243,45
Směrodatná odchytky v cílení [mm]	0,28

Tab. 27 - Stanovení směrodatné odchytky v cílení

Cíl	Posun [mm]	Směrodatná odchytky [mm]	Mezní hodnota [mm]
4	3,71	0,54	1,34
5	4,28	0,57	1,42
6	5,53	0,60	1,51
7	5,16	0,63	1,58
8	5,17	0,66	1,64
9	5,47	0,68	1,69
10	6,21	0,69	1,73
11	5,30	0,71	1,77
12	4,96	0,71	1,79
13	5,37	0,72	1,79
14	4,53	0,72	1,79
15	4,62	0,71	1,79
16	5,17	0,71	1,78
17	4,80	0,70	1,76
18	5,71	0,69	1,73
19	5,17	0,68	1,70
21	5,16	0,65	1,62
23	4,85	0,61	1,52
25	4,18	0,56	1,40
26	5,27	0,52	1,29
27	3,95	0,48	1,20
28	2,58	0,44	1,09
29	0,95	0,40	0,99
30	-1,08	0,33	0,82

Tab. 28 - Výsledné posuny (kladné ve směru toku) a mezní hodnoty pro záměrnou přímkou



Jak je z výsledků vodorovných posunů záměrné přímky patrné, většina posunů je s 99% pravděpodobností prokázána (jsou označeny oranžově). Jelikož záměrná přímka je měřena vždy v extrémech měření kyvadel, jsou vysoké hodnoty posunů očekávané, a i z vlivu teplotní roztažnosti a tlaku způsobeném objemem vody v přehradě dochází oproti letnímu měření k posunu ve směru toku a „vyboulení“ přehrady. Zajímavý zde je posun posledního sledovaného bloku 30, který dle výsledku měření „utíká“ oproti všem zbylým blokům proti vodě. Tento blok je od zbytku přehrady oddělen malým lodním výtahem, a tudíž zde může docházet k jinému pohybu než u zbytku přehrady, avšak spíše zde lze předpokládat nevhodnou konfiguraci pro využití záměrné přímky. Pro lepší posouzení by bylo podobně jako u vztažné sítě potřeba více etap měření pro vysledování sezónních pohybů hráze a stanovení očekávaných posunů.

5.2.2 Minihranoly

Kromě klasické záměrné přímky dochází na VD Orlík k měření části přehrady i pomocí minihranolů Leica. Ty zde jsou osazeny od srpna 2018 (od základní etapy této práce) a slouží k testování měření posunů pomocí polární metody. Minihranoly byly zaměřeny v rámci měření osnov sítě, a proto by se mohly určit přímo při výpočtu vyrovnání vztažné sítě. K tomu by ale bylo potřeba upravit náležitě přesnosti měření na pozorované body, aby nedocházelo k ovlivnění tvaru výsledné sítě. Právě z neznalosti přesných vlivů bylo od metody hromadného výpočtu upuštěno a přistoupilo se k samostatnému vyrovnání, které proběhlo za stejných podmínek jako při výpočtu vyrovnání vztažné sítě totální stanicí Leica (kapitola 5.1). Rozdíl oproti předchozímu postupu spočívá ve vyrovnání pomocí vázané sítě, kde za fixní body posloužily právě vyrovnané souřadnice vztažné sítě z dané etapy. Samotný výpočet formou vyrovnání byl potřebný pouze u první etapy, kdy došlo k zaměření ze stanovisek P a S. Ve zbylých etapách byly hranoly zaměřeny pouze ze stanoviska S, a proto výpočet vyrovnáním zde již možný není, a jedná se čistě o výpočet prostorové polární metody. Výsledné souřadnice hranolů i s upravenou přesností pro jednotlivé etapy jsou uvedeny v tabulce Tab. 29.

bod	Etapa I (8)				Etapa II (10)			
	X [m]	Y [m]	σ_x [mm]	σ_y [mm]	X [m]	Y [m]	σ_x [mm]	σ_y [mm]
28A	-19,6383	413,7453	0,16	0,45	-19,6363	413,7452	0,16	0,48
29A	-19,0941	428,0866	0,12	0,45	-19,0927	428,0867	0,12	0,48
30A	-18,2785	450,8460	0,12	0,43	-18,2791	450,8456	0,12	0,48
31A	-17,7341	466,2814	0,21	0,38	-17,7345	466,2803	0,24	0,41
32A	-17,6645	467,9405	0,16	0,41	-17,6646	467,9397	0,17	0,45
33A	-16,8214	482,7367	0,07	0,41	-16,8220	482,7342	0,07	0,47



bod	Etapa III (12)				Etapa IV (03)			
	X [m]	Y [m]	σ_x [mm]	σ_y [mm]	X [m]	Y [m]	σ_x [mm]	σ_y [mm]
28A	-19,6355	413,7446	0,10	0,33	-19,6369	413,7444	0,16	0,50
29A	-19,0928	428,0863	0,09	0,33	-19,0944	428,0857	0,12	0,50
30A	-18,2800	450,8449	0,09	0,31	-18,2798	450,8462	0,12	0,48
31A	-17,7347	466,2791	0,16	0,26	-17,7350	466,2803	0,24	0,41
32A	-17,6650	467,9393	0,12	0,29	-17,6650	467,9405	0,17	0,45
33A	-16,8220	482,7347	0,05	0,31	-16,8216	482,7355	0,07	0,47

Tab. 29 - Souřadnice minihranolů ve všech etapách

Následně došlo k testování posunů, kde byl využit stejný postup jako při testování vztažné sítě (kapitola 5.1.2). Výsledné posuny i s mezními hodnotami jsou uvedeny v tabulce Tab. 30. Posuny, kde byl s 99% pravděpodobností prokázán posun, jsou označeny oranžově.

bod	E2-E1				E3-E1			
	dX [mm]	dY [mm]	mX [mm]	mY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	mX [mm]	mY [mm]
28A	2,0	-0,1	0,55	1,65	2,8	-0,7	0,47	1,39
29A	1,4	0,1	0,43	1,65	1,3	-0,3	0,37	1,39
30A	-0,6	-0,4	0,43	1,62	-1,5	-1,1	0,37	1,33
31A	-0,4	-1,1	0,80	1,41	-0,6	-2,3	0,65	1,15
32A	-0,1	-0,8	0,58	1,53	-0,5	-1,2	0,49	1,27
33A	-0,6	-2,5	0,24	1,56	-0,6	-2,0	0,22	1,30
bod	E3-E2				E4-E1			
	dX [mm]	dY [mm]	mX [mm]	mY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	mX [mm]	mY [mm]
28A	0,8	-0,6	0,47	1,46	1,4	-0,9	0,55	1,68
29A	-0,1	-0,4	0,37	1,46	-0,3	-0,9	0,43	1,68
30A	-0,9	-0,7	0,37	1,44	-1,3	0,2	0,43	1,62
31A	-0,2	-1,2	0,72	1,22	-0,9	-1,1	0,80	1,41
32A	-0,4	-0,4	0,53	1,34	-0,5	0,0	0,58	1,53
33A	0,0	0,5	0,22	1,40	-0,2	-1,2	0,24	1,56
bod	E4-E3							
	dX [mm]	dY [mm]	mX [mm]	mY [mm]				
28A	-1,4	-0,2	0,47	1,50				
29A	-1,6	-0,6	0,37	1,50				
30A	0,2	1,3	0,37	1,44				
31A	-0,3	1,2	0,72	1,22				
32A	0,0	1,2	0,53	1,34				
33A	0,4	0,8	0,22	1,40				

Tab. 30 - Testování posunů minihranolů



Využití minihranolů nám umožňuje oproti záměrné přímce sledovat i posuny ve směru kolmém na tok. Jak je z přesností a mezních hodnot patrné, tyto posuny velice záleží na přesnosti měřené délky, neboť v nynější situaci, kdy se minihranoly zaměřují ze stanoviska S, je konfigurace velice obdobná záměrné přímce, a právě délková přesnost se zde projevuje nejvíc. Oproti tomu pro sledování posunů ve směru toku se pak nejvíce projeví úhlová přesnost, která i s uvážením, že se jedná o velice krátké záměry, dosahuje vysokých hodnot. Bohužel z praktického hlediska se tato přesnost nedá považovat za reálnou, a to právě díky měření na velice krátké záměry. Problematika zde spočívá v tom, že pro cílení bylo využito systému ATR, který na krátké vzdálenosti má proměnnou hodnotu úhlové přesnosti. Pro ověření se využila měření ze všech 4 etap, kdy se pomocí rozdílů od průměru měřických skupin určily výběrové směrodatné odchylky řádkového průměru pro každý bod v jednotlivých etapách, a poté se pomocí kvadratického průměru stanovila výběrová směrodatná odchylka horizontálního úhlu ze všech etap pro každý bod [14]. Tyto hodnoty jsou sice ovlivněny působením refrakce, ale její vliv na měření byl v průběhu etapy považován za stejný a lze jej proto zanedbat. Jak je z tabulky Tab. 31 patrné, dochází k rozptylu přesnosti v závislosti na přibližné vzdálenosti. Pro úpravu výsledků by muselo být využito pomocných základů, na kterých by se pro právě přibližně měřené vzdálenosti určila odchylka v cílení systému ATR z většího souboru měření. Jelikož se jedná pouze o testování využitelnosti, nebylo dané téma dále rozebíráno.

Bod	Přibližná vzdálenost [m]	Vyb. Sm. odchylka průměru [mgon]				Vyb. Sm. odchylka cílení ATR [mgon]
		E1	E2	E3	E4	
31A	5	1,67	1,66	1,94	1,63	2,00
32A	6	0,37	0,08	0,21	0,22	0,28
30A	12	0,30	0,14	0,34	0,09	0,28
33A	22	0,27	0,50	0,79	0,08	0,57
29A	34	0,25	0,16	0,22	0,12	0,22
28A	49	0,15	0,44	0,45	0,12	0,38

Tab. 31 - Stanovení výběrové směrodatné odchylky cílení ATR v závislosti na měřené délce



Z výsledných hodnot v tabulce Tab. 30 je patrné, že během etap dochází hlavně k posunu ve směru toku. V rámci etap je důležité podotknout, že minihranoly na blocích 31 a 32 se oproti zbylým pokaždé nasazují a natáčejí, takže jejich výsledné posuny mohou být ovlivněny chybou z různého nasazení a natočení mezi etapami. Zajímavostí je, že výsledky z pozorování minihranolů podněcují teorii, která vznikla při vyhodnocování záměrné přímky a to, že dochází k opačnému posunu bloků hráze za malým lodním výtahem. Vidět to je na posunech na blocích 28-30, kde posuny nabývají podobných hodnot mezi oběma metodami a na blocích 31-33 (potažmo jen 33) dochází k potvrzení, že se tato část hráze hýbe proti toku. Pro srovnání byly posuny mezi záměrnou přímkou a minihranoly testovány, zda lze obě tato měření vzájemně hodnotit pomocí mezního rozdílu.

	28	29	30
ZP [mm]	2,58	0,95	-1,08
Minihranoly [mm]	2,80	1,30	-1,50
Rozdíl [mm]	0,22	0,35	0,42
Mezní rozdíl [mm]	1,46	1,27	1,00

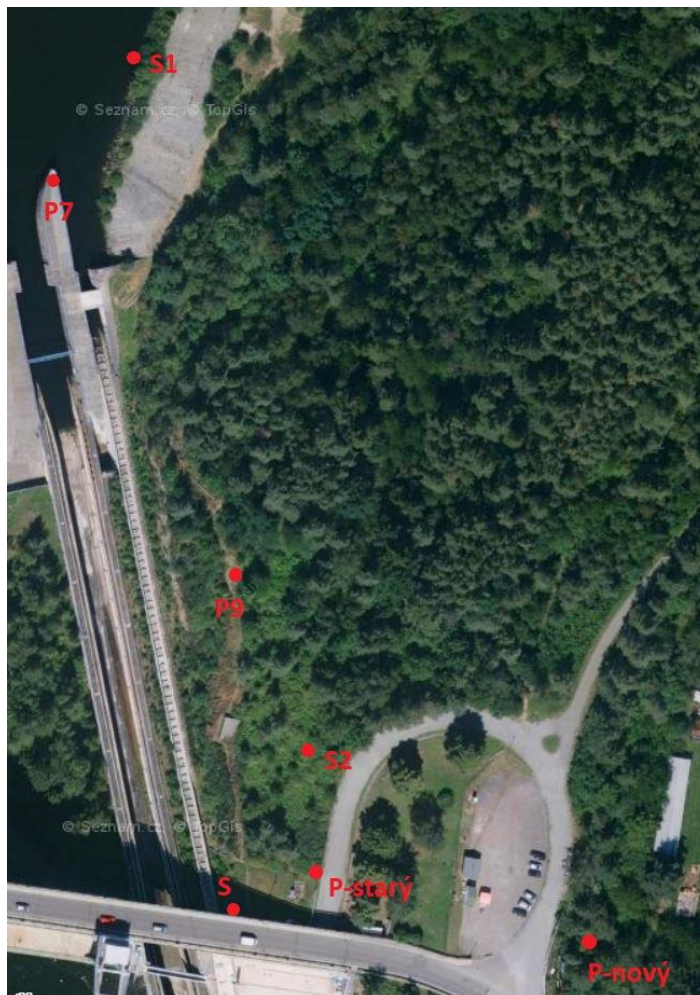
Tab. 32 - Testování rozdílu na blocích 28, 29 a 30

Jak lze vidět v tabulce Tab. 32, rozdíl mezi metodami je v rámci přesnosti obou metod, a lze tedy výsledky považovat statisticky za věrohodné. Pro přesné vysledování posunů hráze by však bylo nutné delší sledování, případně znát informace o geologickém podloží a jeho pohybech, aby se dal určit důvod neobvyklého pohybu hráze na pravém břehu Vltavy.

6 Návrh doplnění a inovace

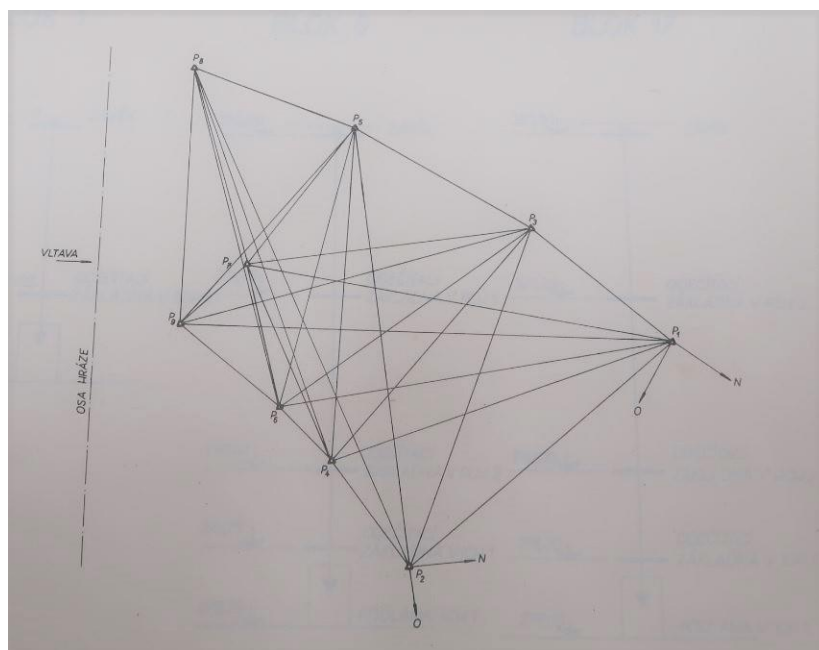
6.1 Návrh doplnění vztažné sítě

V rámci této práce bylo uvažováno i o rozšíření stávající sítě, kde by se využily původní pilíře měřické sítě, které se dnes nepoužívají. Hlavní důvod pro rozšíření je výstavba nového skluzu bezpečnostního přelivu a zajištění vhodné konfigurace měření vztažné sítě i do budoucna. V rámci výstavby se uvažuje o vzniku tří nových měřických pilířů - P, S1 a S2 - a předpokládá se odstranění stávajícího pilíře P. Nový pilíř P by měl být umístěn mimo těleso hráze, přibližně v úrovni stávajícího pilíře L, pilíře S1 a S2 by pak měly být umístěny přímo na tělese skluzu (přibližné umístění nových pilířů je znázorněno na obrázku Obr. 17).



Obr. 17 - Znázornění umístění nových pilířů

Pro případné rozšíření bylo potřeba určit přibližné souřadnice bývalé vztažné sítě. K tomu bylo využito bádání v archivech firmy Vodní díla – TBD (kapitola 2.3.1), z nichž se pomocí protnání ze směrů a s uvážením vhodné konfigurace trojúhelníku dopočítaly přibližné souřadnice všech bodů měřické sítě (tvar sítě je znázorněn na obrázku Obr. 18). Pro určení souřadnic nových bodů bylo využito znalosti přibližného rozmístění a následné transformace do místní soustavy. Přibližné souřadnice byly určeny programem Groma a jsou uvedeny v tabulce Tab. 33.



Obr. 18 - Znázornění tvaru a rozmístění piliřů původní měřické sítě

Pilíř	X [m]	Y [m]
L	0,000	0,000
P - starý	0,000	483,636
P1	693,677	434,969
P2	377,867	729,625
P3	513,292	302,205
P4	272,437	604,405
P5	283,265	178,564
P6	208,399	536,223
P7	180,382	373,199
P8	67,116	110,165
P9	79,324	445,786
S	-15,400	462,232
P - nový	-5,67	574,85
S1	30,44	471,45
S2	248,97	394,26

Tab. 33 - Přibližné souřadnice všech piliřů pro doplnění sítě

Využití staré měřické sítě znesnadňuje velice hustá vegetace a pro případné využití pilířů by byly nutné rozsáhlé úpravy porostu. Z tohoto důvodu se pro doplnění sítě uvažuje pouze nad pilíři P6 a P3, kde bod P3 je v blízkosti silnice a nebyly by nutné velké úpravy. Pilíř P6 se nachází v blízkosti budoucího staveniště skluzu, a nebylo by proto obtížné případné záměry prokázat. Pro představu stavu okolí měřických pilířů je přiložen obrázek Obr. 19, jenž zachycuje okolí a pohled směrem k hrázi z pilíře P2.



Obr. 19 - Ukázka stavu okolí a pohled směrem k hrázi z pilíře P2

Pro návrh doplnění měřické sítě byl opět využit program PrecisPlanner, do nějž se nahrály přibližné souřadnice a nasimulovalo měření. Pro měření mezi dnes využívanými pilíři se převzala současná konfigurace měření. Pro měření na nové body, jelikož není známa přesná výšková členitost, došlo k odhadu možné viditelnosti, která byla využita stejná pro všechny modely. Pro zjištění vlivu zahrnutí pilířů staré měřické sítě došlo nejprve k výpočtu s uvážením pouze stávající sítě s novými pilíři, což poslouží jako výchozí řešení, a následně pak uvážením s pilíři P3 a P6. Pro výpočet se volily stejné parametry jako pro výpočty totální stanice Leica TM30. Model byl vyhotoven ve dvou variantách, kdy se uvažuje se zrušením, nebo zachováním stávajícího pilíře P. Výsledné přesnosti souřadnic pilířů jednotlivých modelů jsou uvedeny v tabulce Tab. 34.

Jak je z výsledků patrné, současný pilíř P zajišťuje větší stabilitu uvnitř sítě, bohužel se předpokládá jeho odstranění, vyhodnocovat se proto bude varianta s jeho vyloučením. Pokud dojde ke srovnání mezi modely, je patrné, že využití dřívějších pilířů zajišťuje vyšší stabilitu, a to úměrně k počtu pilířů. To ale na druhou stranu s sebou nese vyšší ekonomické náklady na měření. S přihlédnutím k oběma variantám, nejekonomičtěji se jeví varianta s přidáním pouze

pilíře P6, jenž zajišťuje dostatečnou přesnost. Pokud by se ale mělo přihlídnout k metodě měření záměrné přímkou, jevila by se za výhodnější méně ekonomická a časově náročnější varianta s přidáním obou pilířů, aby byl nový pilíř P určen alespoň stejně přesně jako nynější pilíř P.

Stávající síť	Pilíř	Bez pilíře P		S pilířem P	
		s(x)/mm	s(y)/mm	s(x)/mm	s(y)/mm
	L	0,26	0,22	0,24	0,20
S	0,11	0,11	0,10	0,10	
P5	0,19	0,16	0,18	0,16	
P7	0,12	0,11	0,13	0,12	
P8	0,21	0,16	0,20	0,15	
P9	0,13	0,11	0,13	0,11	
P-nový	0,14	0,15	0,12	0,13	
S1	0,11	0,10	0,10	0,09	
S2	0,13	0,13	0,13	0,13	
Stávající síť s P6	Pilíř	Bez pilíře P		S pilířem P	
		s(x)/mm	s(y)/mm	s(x)/mm	s(y)/mm
	L	0,24	0,20	0,22	0,18
	S	0,11	0,10	0,09	0,10
	P5	0,18	0,15	0,17	0,15
	P6	0,13	0,12	0,12	0,11
	P7	0,11	0,11	0,11	0,11
	P8	0,20	0,15	0,19	0,15
	P9	0,11	0,10	0,12	0,10
	P-nový	0,15	0,15	0,13	0,13
S1	0,10	0,10	0,09	0,09	
S2	0,12	0,12	0,11	0,12	
Stávající síť s P3 a P6	Pilíř	Bez pilíře P		S pilířem P	
		s(x)/mm	s(y)/mm	s(x)/mm	s(y)/mm
	L	0,24	0,18	0,22	0,17
	S	0,08	0,07	0,06	0,06
	P3	0,16	0,16	0,15	0,15
	P5	0,15	0,14	0,14	0,13
	P6	0,09	0,09	0,10	0,09
	P7	0,08	0,07	0,08	0,07
	P8	0,17	0,14	0,16	0,13
	P9	0,08	0,06	0,08	0,06
	P-nový	0,10	0,12	0,08	0,11
S1	0,07	0,06	0,06	0,05	
S2	0,09	0,08	0,09	0,08	

Tab. 34 - Přesnosti souřadnic pilířů pro jednotlivé modely doplnění vztažné sítě



6.2 Inovace metod

V rámci této práce bylo probíráno téma nahrazení metody záměrné přímky pomocí polární metody s využitím odrazných hranolů (kapitola 5.2.2). Tato metoda byla použita pouze pro část hráze, v této kapitole dojde k teoretickému ověření a srovnání metod pro celou hráz.

Pro výpočet byly ze směrů záměrné přímky a přibližných vzdáleností k pozorovaným bodům určeny přibližné souřadnice smaltovaných štítků na vzdušném líci. Tyto souřadnice pak byly využity do programu PPlanner, ve kterém došlo k vytvoření modelu měření stávající vztažné sítě, do nějž byla zahrnuta měření na pozorované body. Z důvodu konfigurace vztažné sítě se za nejlepší volbu jevil pilíř P7, který však není možné považovat za stabilní, což by se ale za předpokladu, že se společně s pozorovanými body zaměří i celá vztažná síť, nepovažovalo za obtíž. Druhou možností pak byl pilíř P5, jenž sice vykazuje vyšší stabilitu, ale je od pravé strany hráze mnohem dál, a musela by se ověřit schopnost cílení ATR na minihranoly Leica pro tuto vzdálenost. Zároveň s tím by pak muselo dojít k vykácení části porostu na levém břehu Vltavy, jenž zastíňuje záměry na první bloky hráze.

Tvorba modelu probíhala za stejných podmínek, jako v kapitole 2.5.2 a konfigurace měření se přebrala ze stávající metody měření. Pro vyhodnocení bude brán zřetel pouze na přesnost v ose X, která reprezentuje posun ve směru toku, jenž je určován v rámci záměrné přímky. Pro porovnání bude využita teoretická přesnost záměrné přímky (více v kapitole 2.5.1). Jak je z výsledků v tabulce Tab. 35 patrné, zaměření z pilíře P7 dosahuje v ose X vyšší přesnosti než z pilíře P5. Pro porovnání se předpokládá přesnost posunu totožná mezi etapami, určí se tedy vynásobením přesnosti v ose X odmocninou ze 2. Pokud jej srovnáme s teoretickou přesností záměrné přímky, je vidět, že měření pomocí polární metody dosahuje skoro jednotné hodnoty přesnosti po celé délce hráze, ale i tak je skoro o 50 % nižší, než je přesnost záměrné přímky. Zde nyní vyvstává otázka reálné přesnosti, jíž dosáhneme během měření. Pro srovnání nám poslouží blok 29, kde byl v rámci IV. etapy zaměřen minihranol z pilíře P7 a následně vyrovnán, a porovnáme jej s přesností záměrné přímky ze III. etapy. Hodnotit se zde bude právě rozdíl reálné oproti teoretické přesnosti. Jak je z tabulky Tab. 36 patrné, pokud se jedná o polární metodu, rozdíl mezi teoretickou a reálnou přesností posunu je prakticky roven nule. Při pohledu na přesnost posunu ze záměrné přímky, tak vnější vlivy, zejména pak skutečná přesnost v měření směru a přesnost v cílení, skoro dvojnásobně snížily výslednou přesnost. Pokud budeme předpokládat obdobný rozdíl i na zbytku záměrné přímky, pak se přesnost posunu určeného polárně a metodou záměrné



přímky již tolik nerozcházejí a mohlo by se poukázat na možnost využití polární metody pro měření a určování posunů a deformací vodních děl na úkor metody záměrné přímky.

Pozorovaný bod	Stanovisko P5 [mm]	Stanovisko P7 [mm]	Záměrná přímka [mm]
4	0,77	0,74	0,41
5	0,77	0,73	0,44
6	0,77	0,72	0,47
7	0,78	0,72	0,50
8	0,78	0,71	0,52
9	0,78	0,70	0,54
10	0,79	0,70	0,56
11	0,79	0,69	0,57
12	0,79	0,69	0,58
13	0,79	0,68	0,58
14	0,79	0,68	0,58
15	0,79	0,69	0,58
16	0,79	0,68	0,57
17	0,78	0,68	0,57
18	0,80	0,68	0,56
19	0,79	0,69	0,55
21	0,79	0,68	0,52
23	0,80	0,68	0,48
25	0,80	0,68	0,43
26	0,80	0,68	0,39
27	0,80	0,68	0,35
28	0,81	0,67	0,31
29	0,82	0,67	0,26
30	0,83	0,66	0,18

Tab. 35 - Porovnání teoretické přesnosti posunu určeného trigonometrickou metodou ze stanovisek P5 a P7 s metodou záměrné přímky

Blok 29	Teoretická přesnost [mm]	Reálná přesnost [mm]
Minihranol	0,67	0,62
Záměrná přímka	0,26	0,49

Tab. 36 - Porovnání teoretické a reálné přesnosti mezi metodami pro určení posunů a deformací

7 Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo zaměření části měřické sítě vodního díla Orlík, návrh jejího doplnění pro výstavbu skluzu bezpečnostního přelivu a inovace metod pro měření posunů a deformací pozorovaných bodů. Pro měření byly využity totální stanice Trimble S8 HP a Leica TM30, ale v průběhu zpracování se zjistilo, že měření z obou stanic k sobě nesedí. Proto není možné je využít pro porovnání výsledků mezi stanicemi a zároveň zachovat požadovanou přesnost. Tento rozpor byl v rámci III. etapy způsoben nutností využití ručního cílení některých záměr a v rámci IV. etapy pravděpodobně technickou poruchou v cílení. Z těchto důvodů se pak měření z totální stanice Trimble S8 HP využilo pouze pro výpočet některých dílčích částí potřebných pro zpracování této práce, ale pro posuzování stability a posunů bylo využito pouze měření totální stanicí Leica TM30.

Při vyhodnocování vodorovných posunů bylo vždy uvažováno s hladinou významnosti $\alpha = 0,01$ a posuny byly sledovány vůči základní a předchozí etapě. Komplikací spojenou se stanovením stability vztažné sítě i vnějších vlivů působících na vodorovné posuny bylo nedostatečně dlouhé období měření. Hlavní příčinou posunů je totiž teplotní roztažnost a množství vody v přehradě, druhotnou pak může být například právě pohyb podloží, jenž může, nebo nemusí být periodický. Stanovení právě těchto druhotných příčin má vliv na stabilitu vztažné sítě, kdežto hlavní příčiny pak na posuny samotné hráze. Pro stanovení stability vztažné sítě by tak bylo potřeba delšího časového rozpětí, i když z výsledků je i nyní patrná nestabilita některých pilířů v průběhu roku. Pokud se jedná o stanovení posunů samotné hráze, testované využití polární metody se svými hodnotami přibližuje záměrné přímce a ověřilo se díky němu i zvláštní chování bloků v blízkosti pravého břehu, které se oproti zbytku přehrady v zimním období pohybují proti směru toku. Pro ověření, zda se jedná o normální chování, či nikoli, by bylo opět zapotřebí delšího sledování posunů.

Při uvažování o doplnění stávající vztažné sítě bylo díky modelům zjištěno, že při doplnění o pilíře P3 a P6 vykazuje síť vyšší přesnost uvnitř sítě než s využitím pouze jednoho pilíře. K sledovaným aspektům zde patřila přesnost nových pilířů na samotném skluzu a zejména pak nového pilíře P, ze kterého by měla být v budoucnu měřena záměrná přímka. Problematikou modelů však je výškové členění samotného skluzu a jeho okolí, neboť nebylo v průběhu zpracování známo, a mohlo tak dojít k přidání nebo vynechání realizovatelných záměr.



V rámci inovace metod měření bylo uvažováno o polární metodě s měřením na minihranoly osazené v místech dnešních smaltovaných štítků na jednotlivých blocích hráze. Z výsledků teoretických modelů se dospělo k závěru, že pro měření je díky konfiguraci za nejlepší stanovisko považován pilíř P7. Při srovnání teoretických přesností mezi záměrnou přímkou a polární metodou je patrná znatelně vyšší přesnost záměrné přímky. Pro stanovení reálné přesnosti se využilo zaměření jednoho hranolu v rámci IV. etapy, a bylo zjištěno, že reálná přesnost polární metody odpovídá teoretické, kdežto přesnost záměrné přímky se znatelně zhoršila. Při uvážení tohoto trendu po celé hrázi pak lze přesnost polární metody a záměrné přímky pro VD Orlík považovat za srovnatelnou, a proto by mohlo dojít k nahrazení měření posunů hráze pomocí polární metody. Pro definitivní rozhodnutí by bylo vhodné osazení některých dalších bloků hráze minihranoly a sledování vývoje posunů a jejich reálných přesností v dalších etapách.



Použité zdroje

- [1] BROŽA, Vojtěch. *Přehrady Čech, Moravy a Slezska*. Liberec: Knihy 555, 2005. ISBN 80-86660-11-7
- [2] *Vltava jižně od Prahy* [1:75 000]. 1. Praha: Nakladatelství Jindřich Plichta, 1947.
- [3] *Střední Povltaví - Zvíkov a Orlík: turistická mapa 1:50 000*. 6. vyd. Praha: Trasa, 2014. Edice Klubu českých turistů (Trasa). ISBN 978-80-7324-408-8.
- [4] Seznam Mapy. *Mapy.cz* [online]. [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: www.mapy.cz
- [5] ŠVEC. *ORLÍK – DEFORMACE: Trigonometrie – manuály I. etapa*. 1960.
- [6] *VD ORLÍK - PROGRAM TBD č. 4*. Praha 1: Vodní díla – TBD a.s., 2012
- [7] *Zákon č. 254/2001 Sb. ze dne 28. června 2001, o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)*.
- [8] *Vyhláška č. 471/2001 Sb. Ministerstva zemědělství ze dne 14. prosince 2001, o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly*.
- [9] *ČSN 73 0405: Měření posunů stavebních objektů*, 1997. Český normalizační institut.
- [10] HAMPACHER, Miroslav a Martin ŠTRONER. *Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii*. Vydání druhé, upravené a doplněné. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2015. ISBN 978-80-01-05843-5.
- [11] *PrecisPlanner 3D* [online]. [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: <http://k154.fsv.cvut.cz/~stro-ner/PPlanner/#li>
- [12] *Ing. P. Třasák, Ph.D.: EasyNet* [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <http://adjustsolutions.cz/easynet/>
- [13] RATIBORSKÝ, Jan. *Geodézie 1: měření a výpočty*. 3. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04788-0.
- [14] PROCHÁZKA, Jaromír. *SYLABUS PŘEDNÁŠKY 10 Z GEODÉZIE 1: Souřadnicové výpočty 4, Orientace osnovy vodorovných směrů*. Praha: ČVUT, 2015.



Seznam obrázků

Obr. 1 - Pohled na hrady Orlik a Zvíkov před rokem 1923	9
Obr. 2 - Porovnání toku Vltavy mezi Solenicemi a Zvíkovem z let 1947 [2] a současnosti [3]	10
Obr. 3 - Mapa znázorňující rozložení vztažné sítě [4]	11
Obr. 4 - Nucená centrace stanoviska s válcovou zděří.....	12
Obr. 5 - Nucená centrace stanoviska s „pavoukem“	12
Obr. 6 - Schéma rozmístění kontrolních bodů na vzdušném líci hráze	13
Obr. 7 - Zachycení smaltovaného štítku a odrazného minihranolu na bloku 30	13
Obr. 8 - Zápisník měření ze základní etapy 1960 [5].....	14
Obr. 9 - Znázornění principu záměrné přímky	16
Obr. 10 – Znázornění současné konfigurace měření vztažné sítě	22
Obr. 11 - Totální stanice Leica TM30.....	25
Obr. 12 - Totální stanice Trimble S8 umístěná na pilíři P7	26
Obr. 13 - Znázornění hlavy pilíře P5 s vyraženým důlčikem.....	29
Obr. 14 - Graf spojnice trendu rozdílu vyrovnaných délek mezi totálními stanicemi	31
Obr. 15 - Grafické znázornění vodorovných posunů vztažné sítě mezi jednotlivými etapami ..	44
Obr. 16 - Grafické znázornění vodorovných posunů vztažné sítě od základní etapy.....	45
Obr. 17 - Znázornění umístění nových pilířů	54
Obr. 18 - Znázornění tvaru a rozmístění pilířů původní měřické sítě	55
Obr. 19 - Ukázka stavu okolí a pohled směrem k hrázi z pilíře P2	56



Seznam tabulek

Tab. 1 - Informace k pilířům vztažné sítě	12
Tab. 2 - Apriorní model přesnosti záměrné přímky	21
Tab. 3 - Apriorní model přesnosti vztažné sítě	23
Tab. 4 - Vybrané technické parametry Leicy TM30	25
Tab. 5 - Vybrané technické parametry Trimble S8 HP	26
Tab. 6 - Harmonogram měření	27
Tab. 7 - Stanovení rozdílu výšky mezi stanoviskem a cílem	28
Tab. 8 - Stanovení rozdílu výšky pro nové nástavce během 4. etapy	29
Tab. 9 - Výšky stanovisek a cíle pro všechny etapy	30
Tab. 10 - Porovnání rozdílu souřadnic na pilíři L mezi totálními stanicemi	32
Tab. 11 - Hodnoty teploty a tlaku pro obě totální stanice během IV. etapy měření	33
Tab. 12 - Tabulka s použitými přibližnými souřadnicemi pro vyrovnání a transformaci v programu EasyNet	35
Tab. 13 - Přesnosti měřených veličin vstupující do vyrovnání pro jednotlivé etapy	36
Tab. 14 - Základní informace o vyrovnání vztažné sítě pro všechny etapy	36
Tab. 15 - Hodnoty přesností z obou variant vyrovnání pro I. etapu	37
Tab. 16 - Výsledné souřadnice se směrodatnými odchylkami z měření totální stanicí TM 30 pro jednotlivé etapy	38
Tab. 17 - Výsledné souřadnice se směrodatnými odchylkami z měření totální stanicí S8 HP pro jednotlivé etapy	38
Tab. 18 - Tabulka s přesnostmi pro jednotlivé etapy	39
Tab. 19 - Testování nulové hypotézy o shodnosti s nominální přesností totální stanice (χ^2 test)	40
Tab. 20 - Testování hypotéz o shodnosti přesností totálních stanic (F-test)	41
Tab. 21 - Posuny vztažné sítě s mezními hodnotami	43
Tab. 22 - Vyrovnané souřadnice stanovisek L a P pro výpočet záměrné přímky	46
Tab. 23 - Parametry pro výpočet opravy z excentricity stanoviska P pro záměrnou přímku	46
Tab. 24 - Oprava z excentricity stanoviska P a výsledné směry vstupující do výpočtu záměrné přímky	47
Tab. 25 - Posuny z jednotlivých stanovisek a výsledný posun určený ze záměrné přímky	48
Tab. 26 - Stanovení přesnosti měření horizontálního směru záměrné přímky	48



Tab. 27 - Stanovení směrodatné odchylky v cílení	49
Tab. 28 - Výsledné posuny (kladné ve směru toku) a mezní hodnoty pro záměrnou přímku	49
Tab. 29 - Souřadnice minihranolů ve všech etapách.....	51
Tab. 30 - Testování posunů minihranolů.....	51
Tab. 31 - Stanovení výběrové směrodatné odchylky cílení ATR v závislosti na měřené délce .	52
Tab. 32 - Testování rozdílů na blocích 28, 29 a 30	53
Tab. 33 - Přibližné souřadnice všech pilířů pro doplnění sítě.....	55
Tab. 34 - Přesnosti souřadnic pilířů pro jednotlivé modely doplnění vztažné sítě	57
Tab. 35 - Porovnání teoretické přesnosti posunu určeného trigonometrickou metodou ze stanovisek P5 a P7 s metodou záměrné přímky.....	59
Tab. 36 - Porovnání teoretické a reálné přesnosti mezi metodami pro určení posunů a deformací	59



Seznam zkratek

VD	Vodní dílo
TBD	Technickobezpečnostní dohled
TS	Totální stanice
ZP	Záměrná přímka
ČSN	Česká státní norma
ATR	(Automatic Target Recognition) Automatické vyhledávání cíle
VPN	Velmi přesná nivelace
MNČ	Metoda nejmenších čtverců



Seznam příloh

Příloha č. 1 - Vyrovnané souřadnice vztažné sítě a minihranolů se směrodatnými odchylkami ve všech etapách	68
Příloha č. 2 - Hodnoty teploty a tlaku pro všechny body vztažné sítě v jednotlivých etapách ...	70
Příloha č. 3 - Ukázka vstupního souboru do programu EasyNet pro totální stanici Leica.....	71
Příloha č. 4 - Ukázka vstupního souboru do programu EasyNet pro totální stanici Trimble	72
Příloha č. 5 - Ukázka výstupního protokolu z vyrovnání programem EasyNet	73
Příloha č. 6 – Výkres: Posuny pozorovaných bodů na vzdušném líci určené metodou záměrné přímky	75
Příloha č. 7 – Výkres: Posuny pozorovaných bodů na vzdušném líci stabilizované minihranoly Leica	76
Příloha č. 8 – Výkres: Posuny vztažné sítě s elipsami chyb vyrovnaných souřadnic z programu EasyNet	77

Digitální přílohy na CD:

1_Merena_data_Leica	- surová měřená data z totální stanice
2_Merena_data_Trimble	- surová měřená data z totální stanice
3_PPlanner	- vstupní a výstupní data z programu PPlanner
4_EasyNet	- vstupní a výstupní data z programu EasyNet
5_Zamerna_primka	- výpočet posunů a přesností záměrné přímky
6_Testovani_hypotez.xlsx	- testování statistických hypotéz v programu MO Excel
7_Posuny_vztazne_site.xlsx	- výpočet posunů pilířů vztažné sítě
8_Diplomova_prace	- diplomová práce a přílohy ve formátu *.pdf



Příloha č. 1 - Vyrovnané souřadnice vztažné sítě a minihranolů se směrodatnými odchylkami ve všech etapách

Etapa	Pilř	X [m]	Y [m]	σ_x [mm]	σ_y [mm]
I.	L	-0,0002	0,0002	0,80	0,31
	P	-0,0018	483,6368	0,28	0,28
	S	-15,4006	462,2328	0,21	0,22
	P5	283,2650	178,5634	0,61	0,45
	P7	180,3852	373,1969	0,36	0,33
	P8	67,1157	110,1649	0,69	0,26
	P9	79,3244	445,7857	0,29	0,22
	28A	-19,6383	413,7453	0,16	0,45
	29A	-19,0941	428,0866	0,12	0,45
	30A	-18,2785	450,8460	0,12	0,43
	31A	-17,7341	466,2814	0,21	0,38
	32A	-17,6645	467,9405	0,16	0,41
	33A	-16,8214	482,7367	0,07	0,41
II.	L	-0,0012	-0,0004	0,73	0,26
	P	-0,0015	483,6357	0,19	0,22
	S	-15,4000	462,2323	0,16	0,19
	P5	283,2653	178,5643	0,50	0,38
	P7	180,3830	373,1983	0,26	0,26
	P8	67,1159	110,1652	0,61	0,24
	P9	79,3242	445,7856	0,21	0,17
	28A	-19,6363	413,7452	0,16	0,48
	29A	-19,0927	428,0867	0,12	0,48
	30A	-18,2791	450,8456	0,12	0,48
	31A	-17,7345	466,2803	0,24	0,41
	32A	-17,6646	467,9397	0,17	0,45
	33A	-16,8220	482,7342	0,07	0,47
III.	L	-0,0008	0,0000	0,78	0,29
	P	-0,0018	483,6356	0,21	0,24
	S	-15,4008	462,2324	0,16	0,21
	P5	283,2656	178,5638	0,55	0,41
	P7	180,3817	373,1987	0,28	0,28
	P8	67,1156	110,1660	0,64	0,26
	P9	79,3246	445,7848	0,22	0,19
	28A	-19,6355	413,7446	0,10	0,33
	29A	-19,0928	428,0863	0,09	0,33
	30A	-18,2800	450,8449	0,09	0,31
	31A	-17,7347	466,2791	0,16	0,26
	32A	-17,6650	467,9393	0,12	0,29
	33A	-16,8220	482,7347	0,05	0,31



IV.	L	-0,0007	-0,0011	0,66	0,22
	P	-0,0027	483,6378	0,21	0,21
	S	-15,4006	462,2332	0,16	0,17
	P5	283,2663	178,5636	0,47	0,35
	P7	180,3825	373,2002	0,22	0,22
	P8	67,1150	110,1653	0,54	0,21
	P9	79,3242	445,7859	0,22	0,17
	28A	-19,6369	413,7444	0,16	0,50
	29A	-19,0944	428,0857	0,12	0,50
	30A	-18,2798	450,8462	0,12	0,48
	31A	-17,7350	466,2803	0,24	0,41
	32A	-17,6650	467,9405	0,17	0,45
	33A	-16,8216	482,7355	0,07	0,47



Příloha č. 2 - Hodnoty teploty a tlaku pro všechny body vztažné sítě v jednotlivých etapách

Etapa	Datum	Pilíř	Přibližný čas měření [h:min]	Teplota [°C]	Tlak [hPa]
I.	1.8. 2018	L	19:15	28,8	972,9
	2.8. 2018	P	6:30	19,3	977,5
		S	7:00	20,6	977,6
		P9	8:00	23,7	980,8
		P7	8:50	27,6	985,1
		P8	9:45	32,0	979,9
		P5	18:25	29,7	978,1
II.	8.10. 2018	S	8:50	10,0	980,2
		P	9:10	11,0	980,0
		P9	9:30	12,4	983,1
		P7	10:10	12,1	987,8
		P8	10:40	12,9	982,6
		P5	11:50	14,5	981,8
		L	12:10	14,8	977,8
III.	7.12. 2018	P5	9:10	10,7	973,1
		L	9:50	10,7	968,6
	6.12. 2018	P	10:50	2,0	976,9
		S	11:25	2,3	977,0
		P9	14:25	3,0	979,6
		P7	15:05	3,6	984,6
		P8	16:00	2,7	979,2
IV.	25.3. 2019	P	10:00	7,5	971,8
		S	10:20	8,3	971,5
		P9	11:00	8,3	975,2
		P7	11:50	8,6	979,4
		P8	12:30	10,1	974,4
		L	13:30	9,0	969,3
		P5	14:00	9,6	973,1



Příloha č. 3 - Ukázka vstupního souboru do programu EasyNet pro totální stanici Leica

1 S 0 L 0 399.99996 97.09587 462.9738
1 S 0 P 0 158.17719 92.22454 26.5644
1 S 0 P 9 0 86.93495 115.73267 99.1538
1 S 0 P 5 0 49.51904 101.98354 412.1100
1 S 0 P 8 0 12.53615 103.15152 362.0521
1 S 0 P 8 0 212.53552 296.84826 362.0519
1 S 0 P 5 0 249.51812 298.01656 412.1100
1 S 0 P 9 0 286.93566 284.26732 99.1538
1 S 0 P 0 358.17612 307.77556 26.5644
1 S 0 L 0 199.99905 302.90418 462.9737
1 S 0 L 0 399.99998 97.09612 462.9740
1 S 0 P 0 158.17684 92.22488 26.5646
1 S 0 P 9 0 86.93455 115.73200 99.1538
1 S 0 P 5 0 49.51875 101.98384 412.1098
1 S 0 P 8 0 12.53592 103.15195 362.0520
1 S 0 P 8 0 212.53540 296.84891 362.0520
1 S 0 P 5 0 249.51815 298.01690 412.1099
1 S 0 P 9 0 286.93492 284.26776 99.1539
1 S 0 P 0 358.17620 307.77577 26.5644
1 S 0 L 0 199.99899 302.90441 462.9739
1 S 0 L 0 399.99973 97.09659 462.9739
1 S 0 P 0 158.17651 92.22490 26.5647
1 S 0 P 9 0 86.93477 115.73256 99.1537
1 S 0 P 5 0 49.51864 101.98397 412.1100
1 S 0 P 8 0 12.53589 103.15214 362.0520
1 S 0 P 8 0 212.53519 296.84872 362.0520
1 S 0 P 5 0 249.51800 298.01730 412.1099
1 S 0 P 9 0 286.93480 284.26837 99.1539
1 S 0 P 0 358.17585 307.77597 26.5642
1 S 0 L 0 199.99871 302.90450 462.9738
2 P 0 L 0 399.99998 97.64826 483.9701
2 P 0 P 8 0 11.31986 103.54539 380.0438
2 P 0 P 5 0 47.64103 102.45708 416.6157
2 P 0 S 0 360.29611 107.77418 26.5644
2 P 0 S 0 160.29590 292.22596 26.5642
2 P 0 P 5 0 247.64033 297.54262 416.6157
....
9 L 0 S 0 2.12060 102.90793 462.9742
9 L 0 P 9 0 388.78944 106.36103 455.0603
9 L 0 P 9 0 188.78877 293.63847 455.0603
9 L 0 S 0 202.12005 297.09206 462.9740
9 L 0 P 0 200.00029 297.64412 483.9708



Příloha č. 4 - Ukázka vstupního souboru do programu EasyNet pro totální stanici Trimble

1 P 0

-1

L 483.9710 0 0.00000 97.64929

P8 380.0437 0.0218 11.32015 103.54250

P5 416.6168 0.0218 47.64189 102.45387

S 26.5659 0 360.29898 107.77531

S 26.5664 0 160.30206 292.22375

P5 416.6171 0.0218 247.64241 297.54854

P8 380.0431 0.0218 211.32077 296.46025

L 483.9714 0 200.00071 302.35277

L 483.9709 0 0.00000 97.64890

P8 380.0434 0.0218 11.32044 103.54173

P5 416.6173 0.0218 47.64211 102.45394

S 26.5666 0 360.29935 107.77515

S 26.5664 0 160.30231 292.22330

P5 416.6171 0.0218 247.64246 297.54845

P8 380.0435 0.0218 211.32095 296.45981

L 483.9710 0 200.00087 302.35266

L 483.9711 0 0.00000 97.64868

P8 380.0434 0.0218 11.32034 103.54198

P5 416.6171 0.0218 47.64197 102.45366

S 26.5663 0 360.29923 107.77505

S 26.5664 0 160.30274 292.22356

P5 416.6174 0.0218 247.64272 297.54833

P8 380.0429 0.0218 211.32101 296.46007

L 483.9713 0 200.00096 302.35291

/

1 S 0

-1

P8 362.0498 0.0218 12.53606 103.14766

P5 412.1102 0.0218 49.51902 101.98009

P7 224.3005 0.0151 70.70781 118.32195

P9 99.1473 0.0218 86.93421 115.71613

P 26.5659 0 158.17817 92.22269

P 26.5659 0 358.18039 307.77388

P 416.6170 0 0.00000 97.55155

S 412.1112 0 3.99733 98.02473

P7 225.9545 0.0151 383.31383 114.45460

P9 336.3490 0.0218 393.85879 102.16490

...

S 412.1114 0 203.99797 301.97715

P 416.6175 0 199.99985 302.45063

/

-2



Příloha č. 5 - Ukázka výstupního protokolu z vyrovnání programem EasyNet

EasyNET 3.5.1 Demo (19.06.2016)

Kontakt: Ing. Pavel Třasák, Ph.D. (pavel.trasak@gmail.com)

Protokol A - Zpracování surových měření

Vytvořeno: 15.03.2019 15:40:01

A-01 Surová měření

=====

....

Protokol B - Analýza měření

Vytvořeno: 15.03.2019 15:40:01

B-01 Hodnoty přímé spojnice značek bodů

=====

....

Protokol C - Vyrovnání sítě

Vytvořeno: 15.03.2019 15:40:01

C-01 Základní informace o vyrovnání sítě

=====

Vyloučení odlehlých hodnot

Metoda robustního odhadu:	Huber
Hladina významnosti:	0.01
Počet vyloučených odlehlých hodnot:	24/297 [0.081]
Vodorovný směr:	1/99 [0.010]
Zenitový úhel:	20/99 [0.202]
Šikmá délka:	3/99 [0.030]
Šikmá délka (doplňk):	-
Směrník:	-
Převýšení:	-
Svislé provažování:	-

Vyrovnání sítě

Apriorní jednotková směrodatná odchylka:	1.000
Aposteriorní jednotková směrodatná odchylka:	1.106
Počet fixních bodů:	0
Počet vyrovnaných bodů:	7
Počet vyrovnaných orientačních posunů:	9



Počet vyrovnaných měření:	273
Vodorovný směr:	98
Zenitový úhel:	79
Šikmá délka:	96
Šikmá délka (doplňk):	0
Směrník:	0
Převýšení:	0
Svislé provažování (X + Y):	0 (0)
Počet nadbytečných měření:	247
....	

C-02 Vyrovnané souřadnice (Apriorní / Aposteriorní přesnost)

Legenda:

~~~~~

A: Pořadové číslo

B: Číslo bodu

C: Souřadnice X [m]

D: Souřadnice Y [m]

E: Souřadnice Z [m]

F: Souřadnice X - Směrodatná odchylka [mm]

G: Souřadnice Y - Směrodatná odchylka [mm]

H: Souřadnice Z - Směrodatná odchylka [mm]

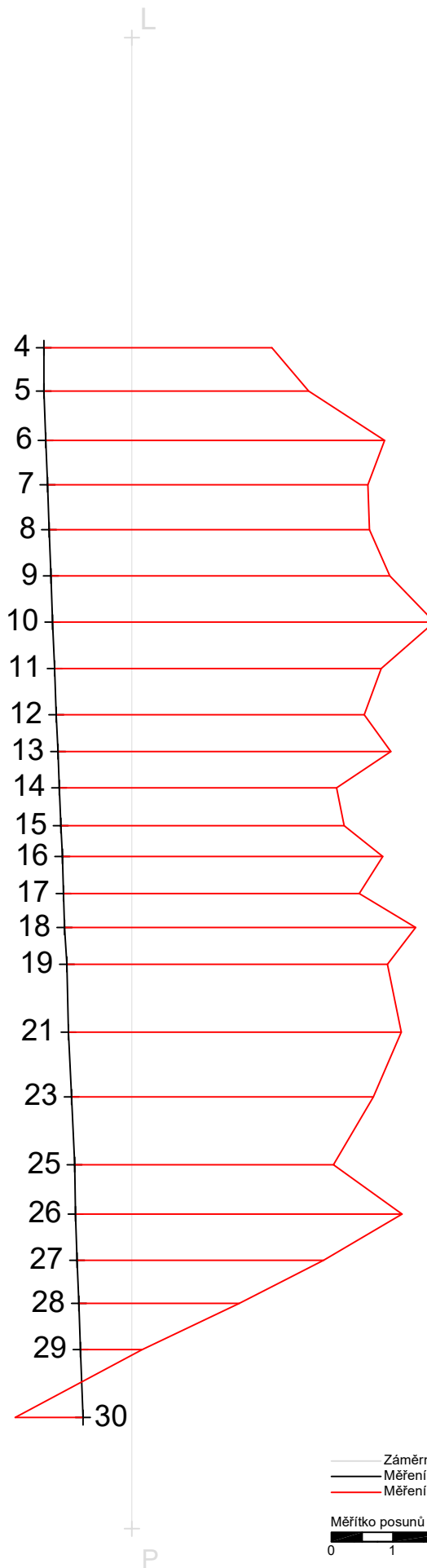
#### Data:

~~~~~

A	B	C[m]	D[m]	E[m]	F[mm]	G[mm]	H[mm]
---	---	------	------	------	-------	-------	-------

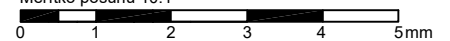
1	L	-0.0006	0.0006	117.8902	0.42 : 0.46	0.16 : 0.18	0.48 : 0.53
2	P	-0.0022	483.6372	99.9980	0.14 : 0.16	0.14 : 0.16	0.14 : 0.16
3	S	-15.4010	462.2331	96.7620	0.11 : 0.12	0.12 : 0.13	0.14 : 0.15
4	P5	283.2646	178.5638	83.9342	0.32 : 0.35	0.24 : 0.26	0.35 : 0.38
5	P7	180.3849	373.1972	33.0868	0.19 : 0.21	0.17 : 0.19	0.21 : 0.23
6	P8	67.1153	110.1652	78.8546	0.36 : 0.40	0.14 : 0.15	0.29 : 0.32
7	P9	79.3240	445.7861	72.5086	0.15 : 0.17	0.11 : 0.13	0.16 : 0.17

....

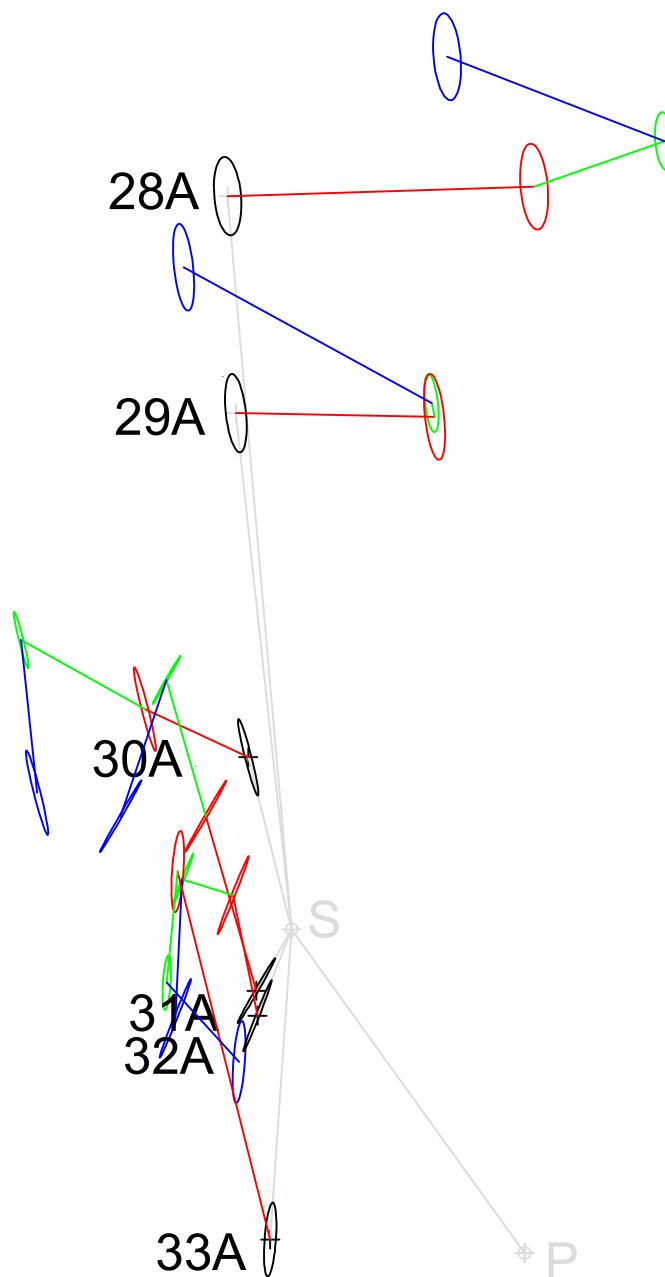


— Záměrná přímka
 — Měření záměrné přímky, srpen 2018
 — Měření záměrné přímky, prosinec 2018

Měřítko posunů 10:1

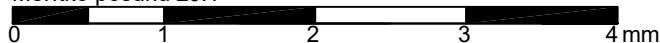


Formát A4	Příloha číslo 6	Měřítko výkresu 1:2000	Fakulta stavební ČVUT
Zpracoval Jan Seidl			
Výkres: Posuny pozorovaných bodů na vzdušném líci určené metodou záměrné přímky			

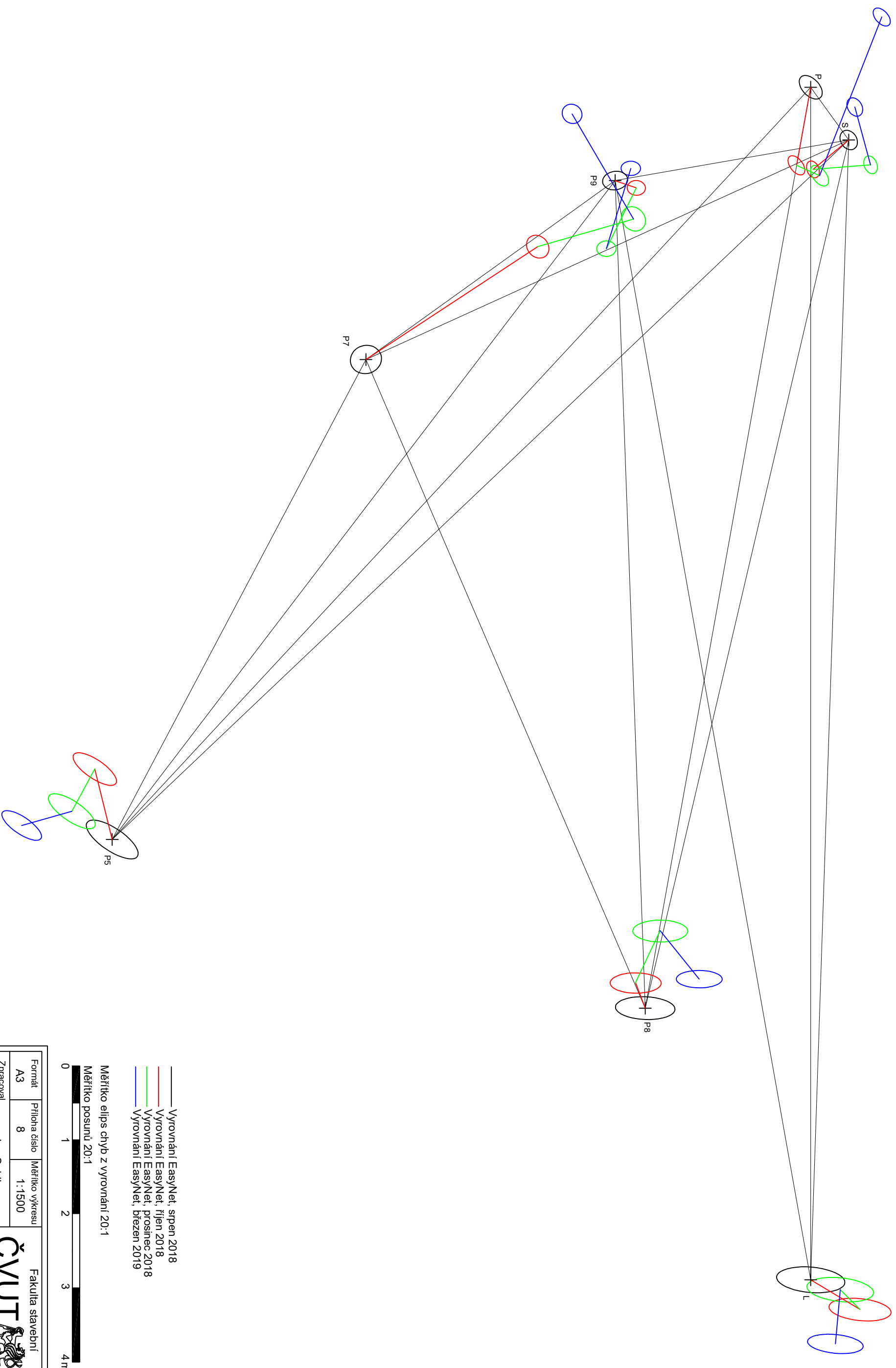


- Měření a fixní body
- Vyrovnání EasyNet, srpen 2018
- Vyrovnání EasyNet, říjen 2018
- Vyrovnání EasyNet, prosinec 2018
- Vyrovnání EasyNet, březen 2019

Měřítko elips chyb z vyrovnání 20:1
 Měřítko posunů 20:1



Formát A4	Příloha číslo 7	Měřítko výkresu 1:500	Fakulta stavební ČVUT
Zpracoval Jan Seidl			
Výkres: Posuny pozorovaných bodů na vzdušném líci stabilizované minihranoly Leica			



- Vyrovnání EasyNet, srpen 2018
- Vyrovnání EasyNet, říjen 2018
- Vyrovnání EasyNet, prosinec 2018
- Vyrovnání EasyNet, březen 2019

Měřitko elips chyb z vyrovnání 20:1

Měřitko posunu 20:1



Formát	Příloha číslo	Měřitko výkresu	Fakulta stavební
A3	8	1:1500	
Zpracoval	Jan Seidl		
Výkres:	Posuny vztážné síť s elipsami chyb vyrovnaných souřadnic z programu EasyNet		