

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

STUDIJNÍ OBOR GEODÉZIE A KARTOGRAFIE



**ZAMĚŘENÍ A ZHODNOCENÍ VYUŽITELNOSTI ČÁSTI
PŮVODNÍ MĚŘICKÉ SÍTĚ VD SLAPY**

**MEASUREMENT AND USABILITY EVALUATION OF THE
PART OF ORIGINAL SLAPY DAM SURVEY NETWORK**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

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

Katedra speciální geodézie

Praha, 2019

Bc. Markéta Kubelová



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Kubelová Jméno: Markéta Osobní číslo: 439261
Zadávající katedra: Katedra speciální geodézie
Studijní program: Geodézie a kartografie
Studijní obor: Geodézie a kartografie

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Zaměření a zhodnocení využitelnosti části původní měřické sítě VD Slapy
Název diplomové práce anglicky: Measurement and Usability Evaluation of the Part of Original Slapy Dam Survey Network

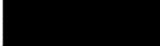
Pokyny pro vypracování:
Shromáždění podkladů, rekonstrukce a obnova vybraných vztahných a pozorovaných bodů původní sítě VD Slapy
Apriorní model přesnosti měření a výsledků
Nové zaměření alespoň jedné etapy vybrané části sítě
Výpočty, vyrovnání, posouzení přesnosti a praktických aspektů
Zhodnocení, závěry a doporučení pro další využití

Seznam doporučené literatury:
Hampacher, M. - Štroner, M.: 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)



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem č. 1/2009 O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Týnci nad Sázavou dne

Podpis



Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucímu své diplomové práce Ing. Bc. Tomáši Jiříkovskému, Ph.D. a prof. Ing. Martinu Štronerovi, Ph.D. za poskytnuté konzultace. Velké díky patří mému spolužákovi Bc. Janu Seidlovi za pomoc při rekognoskaci a měření. Dále bych chtěla poděkovat firmě VODNÍ DÍLA – TBD a.s. především Ing. Tomáši Macháčkovi za umožnění přístupu k dochovaným materiálům, poskytnutí totální stanice spolu s měřickými pomůckami a za spoustu cenných rad. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině a příteli za oporu a trpělivost během celého studia.

Abstrakt

Na VD Slapy má dojít k zániku pozorovaných bodů, které jsou aktuálně využívány pro sledování posunů a deformací. Cílem této diplomové práce je zaměření a následné zhodnocení využitelnosti části původní aktuálně nevyužívané geodetické sítě. Na základě shromážděných materiálů, provedené rekognoskace a apriorních modelů byla pro zaměření vybrána část vztažné sítě a 4. revizní chodba. Zaměření vybrané části sítě proběhlo přístrojem Leica TM30 ve dvou etapách. Získaná data byla zpracována v programu EasyNET 3D. Bylo provedeno zhodnocení dosažené přesnosti, různých způsobů zpracování a v závěru byla navržena možná řešení pro budoucí sledování posunů a deformací na tomto vodním díle.

Klíčová slova

EasyNET 3D, etapové měření, geodetický monitoring, Leica TM30, nucená centrace, posuny a přetvoření, pozorovaný bod, vnější přesnost měření, vnitřní přesnost měření, vztažná síť

Abstract

Observed points on the Slapy Dam, currently used to monitor displacements and deformations, are supposed to disappear. The aim of the dissertation is to measure and subsequently evaluate usability of a part of the original currently unused survey network. A part of a reference network and the 4th control tunnel were chosen for measurement on the ground of collected materials, completed terrain reconnaissance and a priori models. The measurement of the chosen part was realized in two epochs by Leica TM30 device. The acquired data were processed in EasyNET 3D program. We evaluated the accuracy achieved, various processing methods and in the end we suggested possible arrangements for future monitoring of displacements and deformations on the dam.

Keywords

EasyNET 3D, measurement in epochs, geodetic monitoring, Leica TM30, forced centering, displacements and deformations, observed point, total accuracy of measurement, precision of measurement, reference network



Obsah

| | |
|---|-----------|
| Úvod | 8 |
| 1 Vodní dílo Slapy..... | 9 |
| 1.1 Historie splavnění Vltavy..... | 9 |
| 1.2 Výstavba VD Slapy..... | 10 |
| 1.3 Základní údaje..... | 12 |
| 2 Přípravné práce | 14 |
| 2.1 Shromáždění podkladů..... | 14 |
| 2.1.1 Program TBD | 14 |
| 2.1.2 Původní měřická síť | 16 |
| 2.1.3 Historická a aktuální měření | 18 |
| 2.2 Rekognoskace terénu | 19 |
| 2.2.1 Informace o jednotlivých pilířích vztažné sítě..... | 22 |
| 3 Rozbor přesnosti před měřením..... | 24 |
| 3.1 Požadovaná přesnost | 24 |
| 3.2 Vztažná síť | 26 |
| 3.2.1 Výběr bodů pro plánované měření | 29 |
| 3.3 Revizní chodba..... | 29 |
| 4 Provedená měření..... | 32 |
| 4.1 Přesná totální stanice Leica TM30 | 32 |
| 4.2 Použité pomůcky..... | 33 |
| 4.3 Základní etapa | 35 |
| 4.3.1 První den – zaměření vztažné sítě..... | 35 |
| 4.3.2 Druhý den – zaměření pozorovaných bodů | 38 |
| 4.4 Ověřovací etapa..... | 39 |
| 5 Zpracování měření | 41 |
| 5.1 Příprava dat | 41 |
| 5.2 Postup práce v program EasyNET | 43 |
| 5.2.1 Detekce odlehlých měření..... | 45 |



| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.3 | Zpracování základní etapy | 46 |
| 5.3.1 | Vyrovnání vztažné sítě spolu s přípojovacími body | 46 |
| 5.3.2 | Společné vyrovnání vztažných i pozorovaných bodů | 49 |
| 5.3.3 | Vyrovnání měření v revizní chodbě | 51 |
| 5.4 | Zpracování ověřovací etapy | 53 |
| 5.4.1 | Vyrovnání vztažné sítě spolu s přípojovacími body | 53 |
| 5.4.2 | Společné vyrovnání vztažných i pozorovaných bodů | 54 |
| 5.4.3 | Vyrovnání měření v revizní chodbě | 55 |
| 6 | Zhodnocení výsledků | 57 |
| 6.1 | Zhodnocení přesnosti vyrovnaných souřadnic | 57 |
| 6.2 | Porovnání očekávané a dosažené přesnosti | 58 |
| 6.3 | Vyhodnocení stability bodů | 59 |
| 6.3.1 | Vyhodnocení stability pomocí mezního souřadnicového rozdílu | 60 |
| 6.3.2 | Vyhodnocení stability pomocí polohového posunu | 61 |
| 6.4 | Zhodnocení různých způsobů vyrovnání | 64 |
| 6.5 | Shrnutí | 66 |
| | Závěr | 68 |
| | Seznam použité literatury | 70 |
| | Seznam zkratk | 72 |
| | Seznam obrázků | 73 |
| | Seznam tabulek | 74 |
| | Seznam elektronických příloh | 75 |
| | Seznam příloh v tištěné formě | 75 |

Úvod

Aktuální geodetické měření deformací a posunů na vodním díle Slapy je prováděno metodou záměrné přímky. Určovány jsou vodorovné posuny ve směru toku u 5 pozorovaných bodů, které jsou umístěny na koruně hráze. Z důvodu plánované rekonstrukce mostovky, během které dojde k zániku aktuálních pozorovaných bodů, je zapotřebí navrhnout novou metodiku měření pro období samotné rekonstrukce a také vhodné řešení pro dlouhodobé sledování posunů po jejím dokončení. Na VD Slapy byla kromě aktuálně využívaných pilířů a pozorovaných bodů vybudována také další měřická síť. Cílem této diplomové práce je zhodnocení využitelnosti původní nyní nepoužívané měřické sítě. Práce se zabývá pouze polohovým řešením.

Nejdříve byly k danému tématu shromážděny historické materiály. Jednalo se především o náčrty geodetické sítě a také záznamy z měření. Hlavním zdrojem těchto dokumentů byl archiv firmy VODNÍ DÍLA – TBD a.s., která nad daným vodním dílem vykonává technickobezpečnostní dohled. V součinnosti se zaměstnanci této firmy byla vykonána také většina praktické části této práce. Posouzení aktuálního stavu geodetické sítě bylo provedeno na základě vlastní rekognoskace.

Podle provedených apriorních modelů a informací zjištěných při samotném průzkumu terénu bylo navrženo zaměření části vybrané vztažné sítě a pozorovaných bodů ve 4. revizní chodbě. Zajímavostí ve zvolené části sítě jsou dvířka na vzdušném líci hráze, která umožňují propojení měření uvnitř chodby se vztažnou sítí. Zaměření základní etapy bylo provedeno v únoru 2019. S odstupem jednoho měsíce byla zaměřena ještě ověřovací (první) etapa. Zaměření bylo provedeno přístrojem Leica TM30 s využitím funkce automatického rozpoznání cíle (ATR). Informace o měření a použitém přístroji a pomůckách se nalézají v kapitole 4.

Ve zbývajících dvou kapitolách je popsáno zpracování měřených dat a následné zhodnocení dosažených výsledků. Zpracování bylo provedeno v programu EasyNET 3D ve 3 různých variantách.



1 Vodní dílo Slapy

1.1 Historie splavnění Vltavy

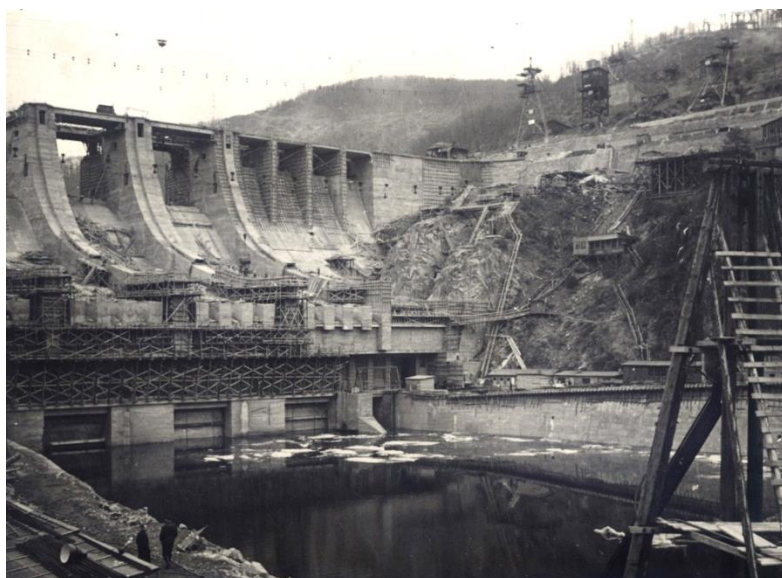
Již od středověku se Vltava hojně využívala pro přepravu materiálu a zboží. Nejdříve se splavovalo především dřevo, později za doby Habsburků se dopravovala po vodě často také sůl. Splavování po řece bylo velmi náročné a nebezpečné. Pro zajištění lepší splavnosti se prováděly různé úpravy toku, jako stavba jezů a odstřelování skalisek. Jednou z nejnáročnějších překážek, kterou musely vory a lodě překonat, byly proudy nazývané Vltavské nebo Štěchovické. Cestu mnohých plavců zde ukončila velká skaliska zvaná Sedla, jež zasahovala téměř do poloviny řečiště. V 17. století byla tato skála rozstřílena a na paměť zde byl vztyčen Ferdinandův sloup, též zvaný solný. Přesto zůstala tato část řeky nebezpečná a budila u lidí respekt. O několik desetiletí později byla nedaleko postavena socha svatého Jana Nepomuckého, jako patrona plavců a proudům se začalo říkat Svatojánské. Svatojánské proudy byly vyhledávaným místem nejen trampů, ale také vodáků, turistů a všech milovníků přírody. [1]

Od konce 19. století bylo vytvořeno několik projektů na splavnění Vltavy z Českých Budějovic do Mělníka. Hlavním důvodem bylo tehdy zlepšení plavebních podmínek. Později se přidal také požadavek na využití vodní energie a nové návrhy proto počítaly i s vybudováním vodních elektráren. Bohužel tyto dva hospodářské zájmy se vzájemně střetávaly a projekty se značně lišily, proto byl veden vleklý spor o vltavských přehradách. Až v roce 1930 se začalo se stavbou zdymadla u Vraného nad Vltavou, jež je posledním stupněm Vltavské kaskády. Poté byla postavena přehrada Štěchovice, při jejímž zatopení zanikla většina Svatojánských proudů. Následovala výstavba dalších vodních děl, která byla ukončena v roce 1991. Celá Vltavská kaskáda se skládá z 9 stupňů. Je mezi nimi i z hlediska objemu největší přehrada v zemi Orlik, s objemem přes 700 mil. m³. Původně měly být vystavěny ještě další přehrady: Český Krumlov, Dívčí Kámen a Rájov. Jejich výstavba se však nikdy nerealizovala. [2]

1.2 Výstavba VD Slapy

Již během 2. světové války začal probíhat geologický průzkum a podrobné zaměření břehů s cílem vybrání vhodného místa na umístění přehrady. Po skončení války se původní projekt přehrady změnil, stejně tak i její plánované umístění. Především dva stupně Vltavské kaskády byly postaveny zejména za účelem plavby, nově měly být však postaveny co největší VD s účelem akumulacním a vodohospodářským. Na základě provedených měření byla pro vybudování přehrady nově vybrána úzká soutěska nacházející se na konci vzdutí VD Štěchovice. Vzhledem k úzkému údolí bylo nutné umístit elektrárnu přímo v tělese hráze pod přelivy, což bylo v té době ojedinělé. [2]

Přípravné práce byly započaty v červenci roku 1949. Nejprve byl do skály na pravém břehu vyražen obtokový tunel z důvodu odklonění toku Vltavy od staveniště. Zároveň docházelo k výstavbě dvou sypaných hrází před budoucí přehradou, které odváděly řeku do tunelu. Tunel byl zprovozněn v únoru 1951 a je 360 m dlouhý. Ve stejném roce byly zahájeny výlomy pro základy hráze a elektrárny. O rok později začaly stavebně-montážní práce na samotné přehradě a elektrárně. Stavba přehrady je znázorněna na Obr. 1. Pro přepravu kameniva a cementu na staveniště byly postaveny 3 lanovky, jež dopravily materiál na přípravu 347 320 m³ betonu. [2]



Obr. 1 Stavba přehrady Slapy 15. března 1954 (zdroj: Archiv Honzy a Blanky Reichardtových)

Před napouštěním nádrže byla provedena prohlídka území určeného k zatopení a vybrané drobné památky byly přesunuty nad hranici zátopové čáry. Mezi zachráněnými památkami byl i Ferdinandův sloup a socha sv. Jana Nepomuckého. Obě upomínky byly po dostavbě přehrady umístěny na skálu pod hrází. V roce 1954 byl pomocí železobetonové skříně uzavřen obtokový tunel a již v dubnu začalo napouštění nádrže, které bylo plánované na několik let. Následkem padesátileté povodně v červenci téhož roku však došlo k jejímu předčasnému naplnění, a to ještě před jejím úplným dokončením. Díky tomu, že byla nádrž téměř prázdná ochránila Prahu před povodní. Výstavba vodního díla Slapy byla ukončena v roce 1955. [2]

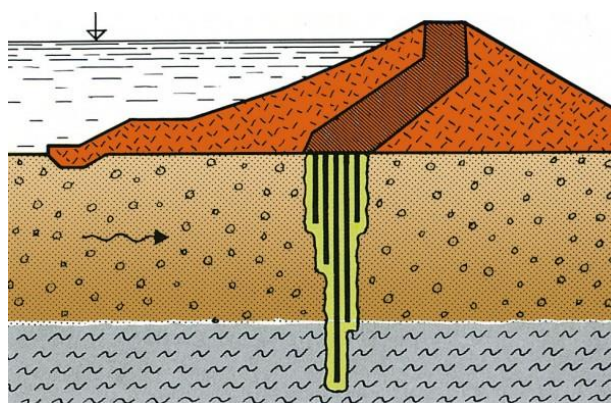
Již od prvních návrhů vodního díla Slapy bylo počítáno s vybudováním plavebního zařízení. Podle projektu přijatého k realizaci mělo být postaveno vertikální lodní zdvihadlo pro přepravu lodí o nosnosti 300 tun. Z důvodu nedostatku času a velkých finančních nákladů byla postavena pouze část plavební komory. Od dokončení výstavby přehrady bylo vytvořeno několik nových návrhů na plavební zařízení. Žádný z nich však nebyl dosud realizován. [2]



Obr. 2 Vodní dílo Slapy – pohled od piliře M

1.3 Základní údaje

Vodní dílo Slapy, viz Obr. 2, se nachází na říčním kilometru 91,61 řeky Vltavy u obce Slapy ve vzdálenosti přibližně 40 km jižně od Prahy. Spadá do správního obvodu rozšířené působnosti obce Černošice a jejím vlastníkem a provozovatelem je Povodí Vltavy s. p. Přehrada byla budována v pořadí jako třetí z Vltavské kaskády. Přehradní hráz byla vystavěna jako přímá, betonová, gravitační a je založená na pevném skalním podloží. Koruna hráze je ve výšce 67,5 m nad základy na kótě 279,2 m. n. m. v systému Balt po vyrovnání. Po koruně vodního díla vede silnice II. třídy o délce 260 m a je na ní umístěn portálový jeřáb s nosností 50 t. Pro bezpečné převedení povodňových průtoků je přehrada vybavena čtyřmi korunovými přelivy o šířce 15 m, které jsou schopny převést celkem 3 000 m³ vody za sekundu. Pro převedení vody nebo k vypuštění nádrže se v krajních blocích nachází také dvě výpustě o jmenovité světlosti 4 000 mm. Průměrný dlouhodobý roční průtok činí 84,7 m³/s. Uvnitř hráze se nachází šest revizních chodeb, z nichž ta nejnižší položená je injekční. Z této chodby byla provedena injekční clona¹ sahající až do hloubky 30 m viz Obr. 3. Zatopením údolí vznikla nádrž o objemu 269 mil. m³ a rozloze 1 162 ha, jenž dosahuje až k výše položenému vodnímu dílu Kamýk. Vedou přes ni tři silniční mosty u Vestce, Cholína a Živohoště. Jak již bylo řečeno výše dosud není realizováno žádné plavební zařízení, které by umožnilo přepravu lodí přes přehradu. Přeprava malých plavidel do 4 t probíhá provizorním způsobem na speciálních vlecích tažených traktorem. [2]



Obr. 3 Schématické znázornění injekční clony (zdroj: http://www.soletanche.cz/technologie_injektaze/)

¹„Těsnící prvek podloží hráze vytvořený vhněním vhodné těsnící směsi (pod tlakem) pomocí vrtů do puklin a dutin horninového prostředí.“ [2]



Součástí VD Slapy je přeléváná vodní elektrárna, která je zajímavá svým umístěním přímo v tělese hráze pod přelivnými poli. Strojovna spolu s rozvodnami se rozkládá po celé šířce tělesa a jsou v ní instalovány tři turbíny typu Kaplan o celkovém výkonu 144 MW. Voda k jednotlivým turbínám je přiváděna ocelovým potrubím o průměru 5 000 mm zabetonovaným uvnitř hráze. Výkon elektrárny je dle celostátní energetické potřeby dálkově regulován. Vyrovnání vzniklých kolísavých odtoků z elektrárny zabezpečuje nádrž ve Štěchovicích a ve Vraném. [3]

VD Slapy slouží k několika účelům. Těmi hlavními, pro které bylo postaveno, jsou regulace toku na Vltavě, vytváření špičkové elektrické energie a odběr užitkové vody. Mimo to poskytuje také částečnou ochranu území pod přehradou před povodněmi a je využíváno pro rybolov. Vzhledem k rozsahu jezera a malebnému okolí se tato lokalita stala vyhledávaným místem jak pro rekreaci, tak sportovní vyžití širokého okolí. [4]



2 Přípravné práce

2.1 Shromáždění podkladů

Před samotnou rekognoskací a měřením bylo zapotřebí získat podklady o vybudované měřické síti. Hledání materiálů bylo provedeno osobně v archivu firmy VODNÍ DÍLA – TBD a.s., která je pověřena prováděním technickobezpečnostního dohledu na VD Slapy. Byly nalezeny záznamy jak pro některá provedená polohová, tak i výšková měření. Vzhledem k tomu, že se tato práce zabývá pouze polohovým řešením, nebyla data o výškových měřeních využívána. Většina z nalezených dokumentů se zabývala pravidelným etapovým měřením, našly se však i záznamy s hodnocením různých postupů měření a výpočtů. Byly nalezeny také některé obecné dokumenty, zabývající se například metodikou záměrné přímky, v kterých se též nacházely stručné informace o měření na VD Slapy. Dalším dokumentem, kde byly nalezeny informace o uskutečněných měřeních byla publikace Geodetický a kartografický obzor. Posledním cenným zdrojem byly Programy TBD²[5][6]. Řada z nalezených dokumentů byla využita pro vypracování této práce a jsou uvedeny ve zdrojích. Je možné, že o některých skutečnostech týkajících se vybudované měřické sítě nebyly nalezeny žádné záznamy. V následujících odstavcích se proto mohou vyskytnout drobné nepřesnosti.

2.1.1 Program TBD

Definice pojmu technickobezpečnostní dohled a informace o rozdělení do bezpečnostních kategorií, jsou uvedené ve Vodním zákoně [7] v § 61 odst. 1 „Technickobezpečnostním dohledem nad vodními díly (dále jen "technickobezpečnostní dohled") se rozumí zjišťování technického stavu vodního díla ke vzdouvání nebo zadržování vody, a to z hlediska bezpečnosti a stability a možných příčin jejich poruch. Provádí se zejména pozorováním a prohlídkami vodního díla, měřením jejich deformací, sledováním průsaku vod, jakož i hodnocením výsledků všech pozorování a měření ve vztahu k předem určeným mezním nebo kritickým hodnotám. Součástí technickobezpečnostního dohledu je i vypracování návrhů opatření k odstranění zjištěných nedostatků.“ a odst. 2 „Z hlediska

² technickobezpečnostní dohled

technickobezpečnostního dohledu se vodní díla rozdělují do I. až IV. kategorie podle rizika ohrožení lidských životů, možných škod na majetku v přilehlém území a ztrát z omezení funkcí a užitků ve veřejném zájmu.“ [7]

Vymezení vodních děl podléhajících dohledu, kritéria rozdělení do 4 kategorií a informace o vlastním dohledu jsou uvedeny ve vyhlášce č. 471/2001 Sb. [8]. Vodní dílo Slapy se řadí do I. kategorie, tedy mezi vodní díla s největšími potencionálními škodami v případě porušení stability a bezpečnosti vodního díla. Proto tato kategorie podléhá také nejprísnejšímu technickobezpečnostnímu dohledu, dále jen TBD. Programy TBD jsou vytvářeny podle příslušných ustanovení [7] a [8].

Na požádání bylo umožněno nahlédnutí do aktuálního programu TBD pro VD Slapy. Jednalo se o program č. 4 platný od 1. 4. 2009. Dokument je formálně rozdělen do 3 hlavních částí a 12 příloh. První kapitola se zabývá základními technickými údaji o díle a činnostmi prováděnými v rámci programu TBD. Druhá část se skládá z přehledných tabulek se soupisem zabudovaných kontrolních zařízení spolu s metodou a četností měření a také mezními hodnotami stanovenými pro sledovaný jev. V poslední části je tabulka popisující pokyny k obchůzkám a příslušné mezní jevy a skutečnosti. [5]

Program TBD byl vyžádán za účelem nalezení kritických hodnot posunů umožňující určení požadované přesnosti geodetických měření. Podrobné informace o aktuálních etapových měření vodorovných posunů byly nalezeny ve druhé části programu a jsou uvedeny v kapitole 2.1.3. Určování posunů se provádí pomocí záměrné přímky na koruně hráze. Dle poskytnuté dokumentace je mez bdělosti a zároveň i mezní hodnota posunu bodů ± 10 mm vůči novému základnímu měření v roce 1964. Vysvětlení potřebných pojmů je v programu a ve stručné verzi také ve vyhlášce [8]: „Pro účely této vyhlášky se rozumí

a) mezi bdělosti – informativní kritérium pro jevy a skutečnosti před dosažením mezních nebo kritických hodnot

b) mezní hodnotou – předem stanovené limitní hodnoty veličin popisující jevy a skutečnosti, popřípadě jejich časové vývoje pro zvolený zatěžovací stav, ...“ [8]

Dosud nebyly zjištěny žádné mezní hodnoty pro měření ve zbylých částech původní sítě. Proto byl na základě poskytnutého rejstříku zapůjčen z oficiálního archivu firmy program TBD platný od roku 1976. První vydání programu z doby vzniku stavby nebylo

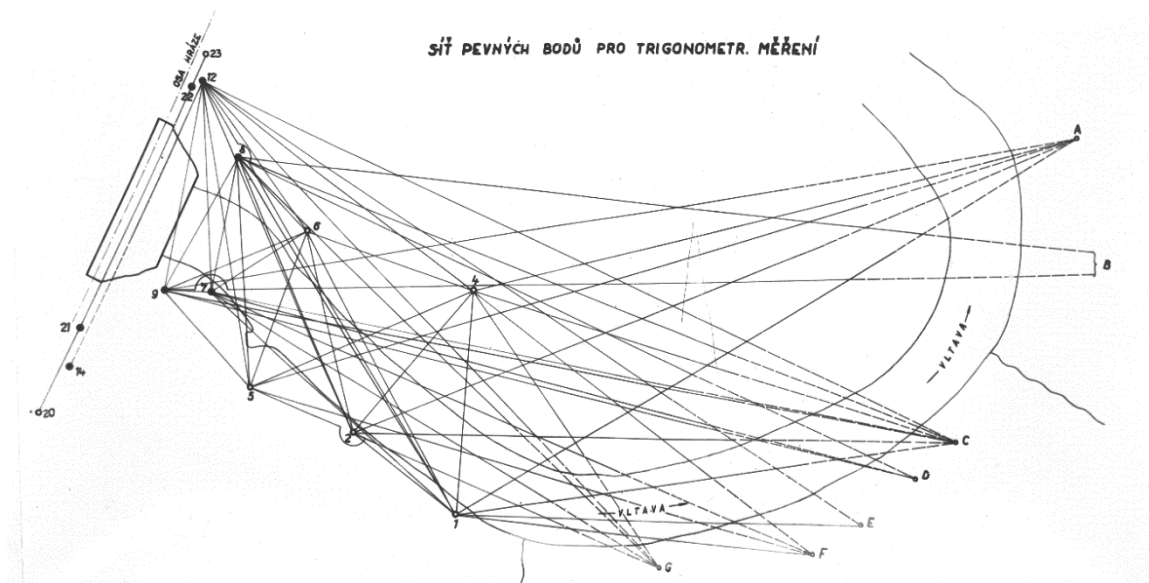
v rejstříku ani jinde nalezeno. Starší program je stručnější a oproti aktuální verzi neobsahuje technické údaje o díle. Etapová měření prováděná každý rok se skládala z mikrotriangulace na 4 pozorovacích pilířích umístěných v prodloužení koruny hráze a z měření záměrné přímky stejně jako dnes. Mezní hodnota je dána pouze pro záměrnou přímku a to hodnotou ± 5 mm vůči novému základnímu měření v roce 1964. Meze bdělosti v tomto programu nebyly nikde uvedeny. Další pravidelná měření byla prováděna pouze jednou za 10 let vysokou školou ČVUT. Proměřována byla mikrotrigonometrická síť o 9 pozorovacích pilířích a pomocí mikrotriangulace byly určovány vodorovné posuny 18 pozorovaných bodů umístěných na vzdušném líci hráze. K těmto měřením nebyly žádné mezní hodnoty stanoveny. Podstatná část programu je zobrazena na Obr. 4. [6]

| 2. PŘEHLED KONTROLNÍCH ZAŘÍZENÍ, METODA ČETNOSTI MĚŘENÍ; MEZNÍ HODNOTY | | | | | | | | |
|--|--------------------------------------|--|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------------------|--|--|
| Přestor | Sledovaný jev | Měření | | | Zabudovaná kontrolní měř. zařízení k | | | Mezní hodnoty |
| | | Metody Pomůcky | Provádí četnost | Zakl. m. rok instal. | Druh - typ | Počet | Umístění | |
| | Svislé posuny bodů ve štolách | Velní přesná nivelace -WILD NG, invar. nivel. latě 3m, 1,75m | VRV lx za 5 let zkrácené lx ročně | 1954 1954 | hřebová niv.zn.IV v podlaže | 11 22 24 12 21 25 | injekční štola 0 štola 1+A1 štola 2+C1+C2 štola 2a štola 3+E1 štola 4+F1 | Vzhledem k základnímu měření ± 3 mm U chodby 2a ± 5 mm |
| | | | | | čepová zn. V | 6 | chodba H = dilatace hráz - hc | |
| | Vodorovné posuny bodů na vzduš. líci | Mikrotriangulace WILD T3 | VRV lx za 10 let | 1954 1954 | pevný záměrný terč | 8 5 5 | na pilířích mostovky a hrázi na kótě 271 m (řada "a") na žebrech přelivu na kótě 250 m (řada "b") na čelech rozražečů na kótě 242,5 m (řada "c") | Nestanovuje se |
| | Vodorovné posuny koruny | Záměrná příčka - WILD T3, přenosné terče | VRV lx ročně | 1964+ 1954 | centrační hlavice (zděře) pod poklopy | 5 | pilíře mostovky, vzdušní strana u zábradlí | ± 5 mm vůči základnímu měření v roce |

Obr. 4 Program TBD platný od roku 1976 – druhá část [6]

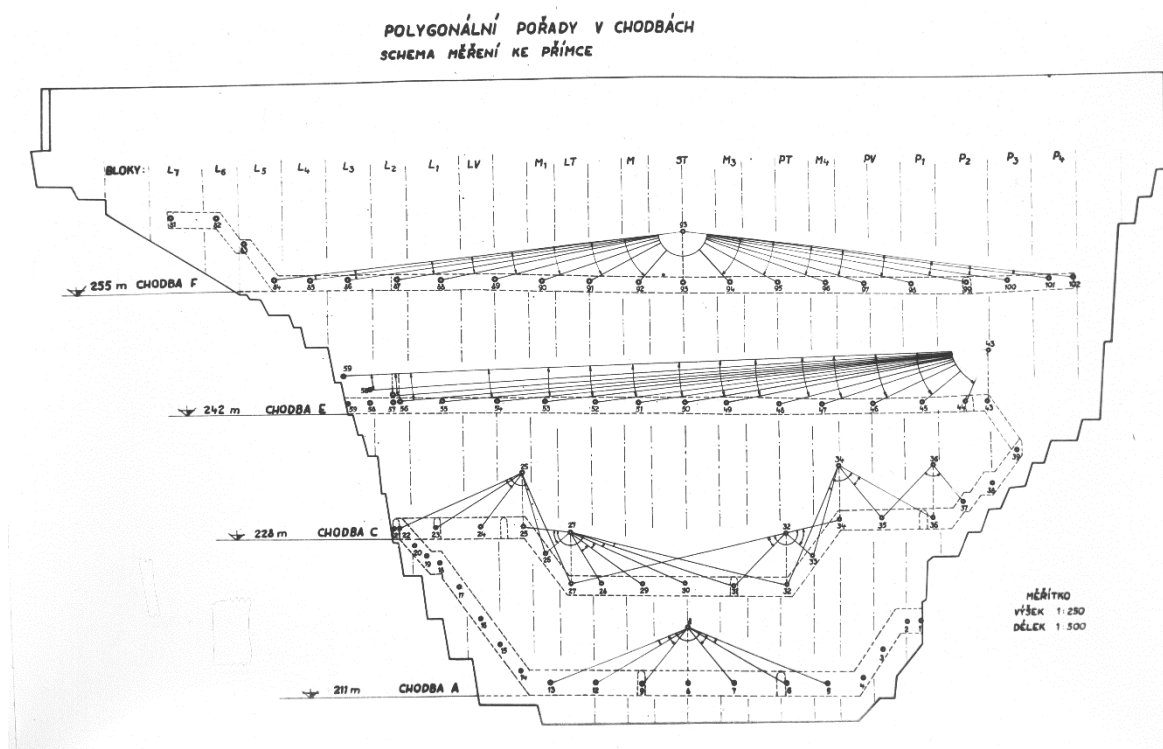
2.1.2 Původní měřická síť

Podstatnými materiály, které sloužily pro vyhodnocení rozsahu měřické sítě, byly náčrty nalezené v grafickém elaborátu [9]. Jedná se o náčrt vztažné sítě (Obr. 5), náčrty polygonových pořadů vedených v revizních chodbách (Obr. 6) a schéma pozorovaných bodů na vzdušném líci hráze, všechny náčrty se nalézají v přílohách. Měřickou síť je možné rozdělit na body mikrosítě (také nazývané vztažné body) a body pozorované.



Obr. 5 Síť pevných bodů [9]

Vztažná síť vybudovaná spolu s přehradou se skládala ze 14 pozorovacích pilířů vybavených zařízeními k nucené centraci. Jak je z náčrtu patrné, pod hrází se vyskytovaly pilíře s čísly od 1 do 9 s vynechaným pilířem číslo 3. Bohužel v žádné dokumentaci se nepodařilo o pilíři s číslem 3 najít informace, nejspíše tedy nikdy neexistoval. Zbylých 6 pilířů se nacházelo v prodloužení koruny hráze. Ke zmíněným pilířům byl v roce 1979 na vrcholu skály s Ferdinandovým sloupem vybudován nový pozorovací pilíř označený písmenem M. Nucená centrace na tomto bodě byla pomocí speciální centrační hlavice určené pro přístroje Kern. Tento bod byl vybudován na základě podnětu Ing. Planičky pro účely délkového měření dálkoměrem Kern ME 3000. Později byl vybudován také nový pozorovací pilíř v prodloužení hráze na levém břehu řeky. Tento bod byl označen číslem 24. Podle nalezených záznamů z měření se ve vztažné síti nacházelo také několik zajišťovacích bodů. K těmto bodům nebyly žádné náčrty nalezeny. Dalšími body mikrosítě byly orientační body, které se podle náčrtu a slovních vyjádření nacházely na skalách v údolí ve směru toku, jednalo se o 7 bodů označených písmeny A – G. Body byly signalizovány pomocí terčíků. Podle nalezených informací byl již v roce 1958 zničen bod B. [9][10][11][12]



Obr. 6 Polygonové pořady v chodbách – schéma měření ke přímce [9]

Pozorované body (též nazývané kontrolní) byly osazeny na třech různých místech. Prvním místem byla koruna hráze, kde byla stabilizace provedena pomocí centračních hlavic (se zděří) zapuštěných v šachtách. Šachty se nacházely na jednotlivých pilířích mostovky poblíž zábradlí a byly kryté poklopem. Signalizace byla provedena pomocí odnímatelných terčů s válcovým čepem. Celkem zde bylo 5 bodů označených od M1 do M5. Další kontrolní body byly osazeny na vzdušném líci hráze. Jednalo se o 18 bodů umístěných ve 3 výškových úrovních, jejichž signalizace byla provedena pevnými záměrnými terči. Posledním místem, kde se nacházely pozorované body, byly revizní chodby. Podle nalezených náčrtů se zde nacházelo celkem 78 pozorovaných bodů. [6][9]

2.1.3 Historická a aktuální měření

Dle dochovaných materiálů a záznamů z měření je patrné, že v minulosti probíhala etapová měření vodorovných posunů třemi způsoby. Když se v roce 1954 začalo s napouštěním nádrže začala zároveň také etapová měření. Docházelo k proměřování mikrosítě, k měření záměrné přímky na mostovce a v chodbách uvnitř hráze a také



k určování posunů pozorovaných bodů na vzdušném líci hráze. Uvnitř hráze probíhalo také polygonové měření. Přesto však výsledky nebyly uspokojivé a z důvodu působení vlivu refrakce se od měření v chodbách ustoupilo. Určování posunů na vzdušném líci probíhalo pomocí mikrotriangulace. V průběhu let se na přehradě konala také některá testovací měření, například dálkoměru Kern ME 3000 Mekometr³. Mezi lety 1979–1980 byla dokonce celá vztážná síť tímto dálkoměrem proměřena a došlo ke zhodnocení přesnosti výsledků ze směrového, délkového a kombinovaného zaměření sítě. Podle [15] byly v roce 1983 všechny body mikrosítě nacházející se pod hrází (kromě bodu 6) považovány za pevné. [14] [15]

V současné době se sledování vodorovných posunů provádí pouze pomocí obousměrné záměrné přímkou metodou deviačního úhlu. Určovány jsou vodorovné posuny ve směru toku u 5 pozorovaných bodů umístěných na koruně hráze. Stabilizace bodů je původní, stejně tak jako používané záměrné přenosné terče. Jedinou inovací je přístroj Leica TM30, který je pro měření využíván (v roce 1954 byl používán přístroj Wild T3). Zaměření probíhá z pozorovacích pilířů číslo 21 a 24. Kontrola stability těchto stanovisek je prováděna úhlovým měřením na bod číslo 20 pro stanovisko 24 a na bod 23 pro stanovisko 21. Měření se provádí dvakrát ročně během teplotních extrémů.

2.2 Rekognoskace terénu

Dne 7. 12. 2018 byla provedena krátká obhlídka VD Slapy s cílem posouzení aktuálního stavu pozorovaných bodů. Žádný z pozorovaných bodů, které se měly nacházet dle náčrtu na vzdušném líci hráze, nebyl nalezen. Od zaměstnanců Povodí Vltavy bylo zjištěno, že došlo k jejich zániku při opravě povrchu na vzdušném líci.

Byl proveden průzkum nejvýše položené revizní chodby číslo 4 (dle dřívějších geodetických značení označená F). V chodbě bylo nalezeno 24 pozorovaných bodů, z toho dva byly stabilizovány pomocí betonových pilířů ve výklencích v těsné blízkosti dveří na vzdušném líci. Po otevření dveří bylo tedy možné provést zaměření těchto pilířů z některých bodů vztážné sítě. Zbýlých 22 bodů bylo stabilizováno pomocí betonových konzol viz Obr. 7. Na všech bodech byla nucená centrace pomocí centrační hlavice se zděří pro umístění přenosných záměrných terčů. V chodbě byla nainstalována řada inženýrských

³ velmi přesný dálkoměr se směrodatnou odchylkou 0,2 mm + 1 ppm umožňující automatické potlačení vlivu atmosférických podmínek [13]

sítí, které zabraňují vzájemné viditelnosti mezi některými body. Dále se v levém závězu hráze nachází schodiště a poslední 3 pozorované body jsou proto umístěny v jiné výškové úrovni. Stav sítě v této chodbě odpovídal náčrtu z doby výstavby přehrady. Vzhledem k možnosti propojení měření uvnitř hráze se vztažnou sítí a větším očekávaným posunům oproti níže položeným chodbám, byla tato chodba vybrána jako vhodná možnost pro sledování deformací v budoucnu. Ostatní revizní chodby nebyly navštíveny, ale podle dvířek na vzdušném líci lze předpokládat, že pilíře pro propojení s vnější sítí se nalézají také ve třetí revizní chodbě (podle náčrtu označené písmenem E). Podle pozdějšího rozhovoru jsou revizní chodby označené čísly 0 a 1 dosud využívány pro geodetická měření prováděná v souvislosti s elektrárnou.



Obr. 7 Pozorovaný pilíř číslo 100 uvnitř 4. revizní chodby

Za účelem plánování budoucího měření byly všechny body ve 4. revizní chodbě přibližně zaměřeny. Měření bylo provedeno přístrojem Leica TM30 pomocí polární metody ze 4 stanovisek. Pro signalizaci bodů byl využit Leica minihranol, který byl z důvodu úspory času přikládán pouze na poklop chránící centrační hlavici.

Druhá rekognoskace se konala dne 1. 2. 2019 a měla za cíl nalezení pilířů vztažné sítě a posouzení jejich využitelnosti. Bylo zjištěno, že pilíře nacházející se v prodloužení hráze jsou od těch pod hrází odděleny hustým lesním porostem, a není proto možné jejich

propojení. Na základě náčrtu byly nalezeny všechny pilíře nacházející se pod hrází. Kromě bodu M jsou všechny body stabilizovány betonovým blokem a osazeny centrační hlavicí se zděří. U některých pilířů byly nalezeny pozůstatky dřevěného bednění. Aby byla mikrosít připravena na samotné měření, pokusili jsme se na všech pilířích pomocí trnového klíče odšroubovat krycí destičku, pod níž je umístěna zděř pro nucenou centraci viz Obr. 8. U některých pilířů se závit krycí destičky nepodařilo povolít, tato skutečnost byla zapsána do poznámek. Dále byly na každém stanovišti na základě náčrtu vyhledány směry kdysi využívaných záměr a bylo zaznamenáno, zda je mezi body vzájemná viditelnost, případně i množství nežádoucí vegetace. Podrobnější informace o jednotlivých pilířích se nachází v podkapitole 2.2.1.



Obr. 8 Zkušební povolování krycí destičky na pilíři 8

Po zjištění skutečného stavu mikrosítě došlo k jednání s vedoucím hrázným panem Petrem Pávem a probrání dané situace. Bylo nám slíbeno vyčištění nezbytného množství záměr a případné povolení zatuhlých závitů krycích destiček během 14 dní. Záměry určené k prořezání byly vybrány na základě provedené rekognoskace a rozborů přesnosti před měřením 3.2.1. V budově Povodí Vltavy bylo uschováno 5 záměrných terčů pro signalizaci pozorovaných bodů v revizních šachtách. Jednalo se o přenosné terče s válcovými čepy. Jeden z těchto terčů byl zapůjčen pro účely výroby dostatečného množství nových mosazných válcových čepů.

2.2.1 Informace o jednotlivých pilířích vztažné sítě

Pilíře číslo 1, 2 a 7 se nacházejí na pravém břehu poblíž řeky a pro přístup k nim byly zdolány příkré svahy bez jakékoliv cesty. Tato cesta byla časově a fyzicky náročná, a proto byla snaha zjistit, jestli není i jiná jednodušší varianta přístupu. Během rozhovoru s hrázným bylo zjištěno, že pilíř číslo 7 je poměrně snadno dostupný cestou, která vede přes oplocený areál nacházející se pod hrází. U pilířů číslo 1 a 2 bylo potvrzeno, že k nim žádná přístupová cesta nevede, ale byla nám nabídnuta možnost přepravy lodčkou z druhého břehu.

Pilíř označený písmenem M o výšce 70 cm je tvořen železnou trubkou o průměru 33 cm zalitou betonem. Nalézá se na vrcholu skály s Ferdinandovým sloupem. Přístup k tomuto bodu je z cesty vedoucí k elektrárně a je značně obtížný. Proto bylo rozhodnuto o umístění několika skalních skob, aby bylo možné jištění. Centrační hlavice na tomto pilíři je upravena pro teodolit Kern a je znázorněna na Obr. 9.



Obr. 9 Pilíř M s nucenou centrací pro přístroje Kern

Zbylé pilíře označené čísly 4, 5, 6, 8, 9 jsou dobře přístupné, zpravidla je možné se dopravit automobilem do vzdálenosti několika desítek metrů od bodu. Na pilíři číslo 6 se nenacházel žádný přípravek pro zakrytí centrační hlavice. Přestože se uvnitř zděře nacházela voda, nevykazovala zděř kromě rzi žádné větší okem patrné poškození.

Stav vegetace ve směru jednotlivých dříve realizovaných záměr a centračního zařízení v době rekognoskace je zaznamenám v Tab. 1. Vyjádřením hustá vegetace jsou myšleny

záměry, u kterých bylo zapotřebí vykácení více než několika stromů a keřů. Prokácení těchto záměr není proto v nejbližší době možné.

| Pilíř | 1 | 2 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | M | 87.1 | 99.1 | Centrační zařízení | Vysvětlivky |
|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------|------|--------------------|------------------|
| 1 | / | × | × | / | ? | × | ? | / | ? | ? | / | zatuhlý závit | nelze realizovat |
| 2 | × | / | × | / | ? | / | ? | / | ✓ | ? | / | v pořádku | |
| 4 | × | × | / | × | × | × | × | × | × | / | / | zatuhlý závit | × |
| 5 | / | / | × | / | ? | / | ? | × | ? | ? | / | zatuhlý závit | hustá vegetace |
| 6 | ? | ? | × | ? | / | ? | × | ? | ? | / | ? | chybí kryt | |
| 7 | × | / | × | / | ? | / | ? | × | ? | / | / | v pořádku | mírná vegetace |
| 8 | ? | ? | × | ? | × | ? | / | ? | ? | ? | / | v pořádku | |
| 9 | / | / | × | × | ? | × | ? | / | ? | / | / | v pořádku | viditelná záměra |
| M | ? | ✓ | × | ? | ? | ? | ? | ? | / | ✓ | ✓ | v pořádku | |
| 87.1 | ? | ? | / | ? | / | / | ? | / | ✓ | / | / | v pořádku | |
| 99.1 | / | / | / | / | ? | / | / | / | ✓ | / | / | v pořádku | |
| | | | | | | | | | | | | | |

Tab. 1 Informace o viditelnosti záměr a stavu centračního zařízení



3 Rozbor přesnosti před měřením

Rozbor přesnosti před měřením slouží ke stanovení vhodné metody měření a výběru patřičných přístrojů a pomůcek, což je důležité zejména kvůli dodržení požadované přesnosti. Rozbor se provádí pomocí zákona hromadění směřodatných odchylek na základě plánovaných měření. Přesnost měření se většinou určuje pomocí apriorních přesností přístrojů daných výrobcem. Během výpočtů je důležité mimo jiné uvážit také vliv přesnosti pomůcek a centrace. Vzhledem k časové náročnosti a složitosti výpočtů bylo pro modelové určení přesnosti využito programu PrecisPlanner3D. Tento program byl vytvořen prof. Ing. Martinem Štronerem, Ph.D. aktuálně působícím na Katedře speciální geodézie na ČVUT. Program je stále vyvíjen a jeho demo verze je zdarma k dispozici. Pro vypracování této práce byla využita plná verze programu.

3.1 Požadovaná přesnost

Nejdůležitější otázkou před provedením rozboru přesnosti před měřením je stanovení požadované přesnosti. Ta může být zadána přímo v projektu pro měření posunů a deformací, anebo je ji dle normy ČSN 730405 [16] možné vypočítat na základě očekávaného posunu u nových stavebních objektů nebo kritické hodnoty posunů u již užívaných objektů. S cílem nalezení některé z těchto hodnot byly prostudovány dva programy TBD pro VD Slapy. Dle aktuálního programu TBD viz kapitola 2.1.1 je pro sledování vodorovných posunů na koruně hráze stanovena hodnota ± 10 mm ve směru toku, tato hodnota je uvedena jako mez bdělosti a zároveň i mezní hodnota. Aby byla tato hodnota správně interpretována, byla na toto téma provedena konzultace s vedoucím útvaru Zděných a betonových přehrad firmy VODNÍ DÍLA – TBD a.s. panem Ing. Davidem Richterem. Následující odstavec je shrnutím provedeného rozhovoru.

Na VD Slapy dochází pouze k minimálním posunům hráze, tomu musí také odpovídat přesnost měření. Na hrázi dochází mimo jiné také ke sledování relativních posunů pomocí kyvadel. Aby bylo geodetické měření přínosem, měl by být prokazatelný posun ve směru toku v úrovni 4. revizní chodby minimálně 1 mm. Meze bdělosti uvedené v programu TBD většinou vychází z dlouhodobých statistik a jsou přísnější než mezní hodnoty. Jsou to



kritéria, která určují, kdy je zapotřebí upozornit příslušné pracovníky na nestandardní jev. Z hodnot uvedených v programu však nelze spočítat požadovanou přesnost měření.

Na základě rozhovoru byla stanovena požadovaná mezní odchylka 1 mm pro vodorovný posun ve směru toku. Z mezní odchylky byla vypočtena směrodatná odchylka posunu podle známého vztahu [17]:

$$\sigma_p = \frac{\delta_p}{u_p}, \quad (1)$$

kde δ_p je mezní odchylka a u_p je koeficient spolehlivosti. Jelikož se jedná o měření posunů a deformací, které je zde navíc velmi důležité i z hlediska bezpečnosti, byl zvolen koeficient spolehlivosti 2,5. Požadovaná směrodatná odchylka posunu je poté 0,40 mm.

Posun je určen jako změna polohy bodu mezi dvěma etapami. V našem případě probíhá výpočet v místním souřadnicovém systému s osou Y ve směru toku. Stanovená požadovaná přesnost se proto týká pouze rozdílu souřadnic Y. Platí tedy:

$$\sigma_p = \sigma_{pY}. \quad (2)$$

Směrodatná odchylka posunu se podle zákona hromadění směrodatných odchylek dá zapsat ve tvaru:

$$\sigma_{pY} = \sqrt{\sigma_{Y1}^2 + \sigma_{Y2}^2}, \quad (3)$$

kde σ_{Y1} je směrodatná odchylka souřadnice Y v první etapě a σ_{Y2} ve druhé etapě. Pokud budeme předpokládat, že určení souřadnic proběhne v obou etapách se stejnou přesností, pak pro směrodatnou odchylku v souřadnici Y v libovolné etapě platí:

$$\sigma_Y = \frac{\sigma_{pY}}{\sqrt{2}}. \quad (4)$$

Požadovaná směrodatná odchylka určení souřadnice Y pozorovaných bodů je 0,28 mm. Pro body vztažené sítě nebyla žádná požadovaná přesnost předem stanovena.

3.2 Vztažná síť

Na základě rekognoskace bylo zjištěno, že téměř všechny záměry mezi body vztažné sítě by bylo zapotřebí pročistit. To však není v nejbližší době možné, a tak muselo být vybráno jen několik vztažných bodů, mezi nimiž bylo dohodnuto prokácení nežádoucí vegetace. Pro výběr vhodných bodů a stanovení počtu opakování měření bylo provedeno několik apriorních modelů měření.

V rámci rozborů byla určována očekávaná přesnost nejen bodů vztažné sítě, ale také bodů nacházejících se ve výklencích v revizní chodbě číslo 4 a sloužících pro propojení měření uvnitř a vně hráze, později nazývaných připojovací body. Tyto body jsou zároveň pozorovanými a jsou tedy očekávány jejich posuny, ale protože umožňují provázání vztažné sítě a je důležitá přesnost jejich určení, byly do rozboru také zahrnuty. Jedná se o body označené čísly 87.1 a 99.1.

Do programu PrecisPlanner3D byly nahrány přibližné souřadnice bodů vztažné sítě získané z [10]. Souřadnice připojovacích bodů nebyly nikde nalezeny, proto byly podle náčrtu odhadnuty a po provedených měřeních a výpočtech byl rozbor přesnosti proveden znovu již s přesnými souřadnicemi. V grafickém rozhraní určeném pro úpravu seznamu souřadnic je možné zvolit, které body jsou fixní a které vyrovnávané. Jelikož nalezené záznamy o posledním měření vztažné sítě jsou z roku 1983, není možné žádné z bodů považovat za pevné. Rozbory přesnosti byly proto provedeny pro volnou síť, tedy všechny body byly nastaveny jako vyrovnávané.

V nastavení programu byl zvolen výpočet s uvážením přesnosti centrace a výšky přístroje, při kterém jsou tyto vlivy započítány již do samotných měření [18]. U jednotlivých nahrených bodů je poté možnost tuto přesnost navolit. V našem případě byla přesnost nastavena hromadně pro všechny body stejně. Přesnost centrace cíle závisí na přesnosti hranolu, trnu, spojení všech použitých pomůcek k sobě, a kromě toho také na druhu použité nucené centrace. Na základě provedených konzultací byla nastavena přesnost centrace 0,2 mm za předpokladu, že při etapovém měření budou pro stabilizaci na jednotlivých bodech použity shodné pomůcky. Při výpočtu posunů se tak řada systematických chyb měřických pomůcek vyloučí.

V dalším kroku byla definována plánovaná měření. Toto nastavení bylo postupně provedeno v několika verzích. Další postup již byl pro všechny modely stejný. U všech zenitových úhlů, vodorovných směrů a šikmých délek byly hromadně nastaveny směrodatné odchylky měření udávané výrobcem totální stanice pro technologii ATR viz kapitola 4.1. U úhlových měření byl také nastaven počet opakování, podle kterého se vypočetla výsledná přesnost měřené veličiny viz Obr. 10. U šikmých délek byla přesnost automaticky vypočtena pro konkrétní délku záměry. Jelikož přesnost udávaná výrobcem pro měření délek zahrnuje náhodné i systematické chyby, nedochází při opakování měření k takovému zvýšení přesnosti jako je tomu u úhlů. Z těchto důvodů nebylo měření ve více skupinách u délek nastaveno.

The screenshot shows the 'Mapa měření' window with a network diagram on the left and a 'Měření' table on the right. The 'Průvodce přesnostmi' dialog is open, showing settings for total station precision, number of repetitions, and resulting precision for various measurement types.

| Typ | Stanovisko | Cíl | Přesnost |
|-----|------------|-------|----------|
| zu | 2.00 | 10.00 | 0.00017 |
| di | 2.00 | 10.00 | 0.00017 |
| sd | 2.00 | 10.00 | 0.00082 |
| zu | 2.00 | 6.00 | 0.00017 |
| di | 2.00 | 6.00 | 0.00017 |
| sd | 2.00 | 6.00 | 0.00086 |
| zu | 2.00 | 8.00 | 0.00017 |
| di | 2.00 | 8.00 | 0.00017 |
| sd | 2.00 | 8.00 | 0.00098 |
| zu | 2.00 | 87.10 | 0.00017 |
| di | 2.00 | 87.10 | 0.00017 |

The 'Průvodce přesnostmi' dialog shows the following settings:

- Přesnost totální stanice:** Směr /gon: 0.0003; Zenitový úhel /gon: 0.0003; Šikmá délka /m (a+b*ppm*D): 0.0006 + 0.001; Vod. délka /m (a+b*ppm*D): 0.002 + 0.002.
- Počet opakování:** Směr: 3; Zenitový úhel: 3; Šikmá délka: 1; Průměrná délka /m: 100; Vod. délka: 1; Průměrná délka /m: 100.
- Výsledná přesnost:** Směr /gon: 0.00017; Zenitový úhel /gon: 0.00017; Šikmá délka /m: -> ; Vod. délka /m: -> .

Obr. 10 Ukázka z programu PrecisPlanner – nastavení přesnosti plánovaných měření

Po provedeném nastavení byl spuštěn výpočet modelu. Výsledkem rozboru přesnosti byly očekávané směrodatné odchylky vyrovnávaných bodů, které byly spolu se souřadnicemi a parametry elipsoidů chyb uloženy do textového souboru. Pro jednodušší orientaci mezi různými variantami konfigurace sítě byly výsledky měření ukládány do

programu Excel. Zde byla ze směrodatných odchylek souřadnic určených pro jednotlivé body spočtena souřadnicová směrodatná odchylka podle vzorce [17]:

$$\sigma_{xy_i} = \sqrt{\frac{\sigma_{y_i}^2 + \sigma_{x_i}^2}{2}}, \quad (5)$$

kde σ_x a σ_y jsou směrodatné odchylky v souřadnici X a Y a i je číslo bodu. Poté byl z těchto odchylek vypočten kvadratický průměr podle vztahu:

$$\overline{\sigma_{xy}} = \sqrt{\frac{\sum \sigma_{xy_i}^2}{n}}, \quad (6)$$

kde n je počet bodů.

V Tab. 2 je pro přehlednost zobrazeno pouze porovnání vypočteného kvadratického průměru pro různé varianty konfigurace sítě. Při vyhodnocování přesnosti bylo také nahlíženo na směrodatné odchylky souřadnic u jednotlivých bodů. V první variantě byla pro zajímavost vypočtena přesnost se všemi body nacházejícími se pod hrází včetně všech dříve realizovaných záměr podle náčrtu, u přípojovacích bodů byly vybrány záměry podle Tab. 1. Ve druhé variantě byly uvažovány již pouze záměry, které by podle Tab. 1 bylo možné v nejbližší době realizovat. V dalších variantách byly postupně různé body z výpočtu odebírány. Jak je z tabulky patrné mezi jednotlivými variantami jsou pouze nepatrné rozdíly.

| Body v síti | Počet skupin | Kvadratický průměr ze souřadnicových směrodatných odchylek [mm] |
|---------------------------------------|--------------|---|
| 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, M, 87.1, 99.1 | 3 | 0,25 |
| 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, M, 87.1, 99.1 | 3 | 0,30 |
| 2, 5, 6, 7, 8, 9, M, 87.1, 99.1 | 3 | 0,25 |
| 2, 5, 6, 8, 9, M, 87.1, 99.1 | 3 | 0,28 |
| 2, 5, 6, 7, 8, M, 87.1, 99.1 | 3 | 0,28 |
| 2, 5, 6, 8, M, 87.1, 99.1 | 3 | 0,28 |
| 2, 6, 7, 8, M, 87.1, 99.1 | 2 | 0,31 |
| 2, 6, 7, 8, M, 87.1, 99.1 | 3 | 0,28 |
| 2, 6, 7, 8, M, 87.1, 99.1 | 4 | 0,27 |
| 2, 6, 7, 8, M | 3 | 0,23 |

Tab. 2 Porovnání přesnosti různých variant modelů vztažné sítě

3.2.1 Výběr bodů pro plánované měření

Při výběru bodů pro plánované měření byl zohledněn přístup k těmto bodům, rozsah nutného prokácení a vhodná konfigurace sítě. Jak již bylo řečeno výše požadovaná přesnost zde nebyla stanovena. Pro měření byla vybrána síť skládající se z bodů 2, 5, 6, 8, 9, M, 87.1, 99.1. Přestože u pilíře číslo 6 byly dle [15] dříve prokázány posuny, byl pro měření vybrán, neboť vhodně doplňuje síť a záměry z toho stanoviska jsou snadno udržovatelné.

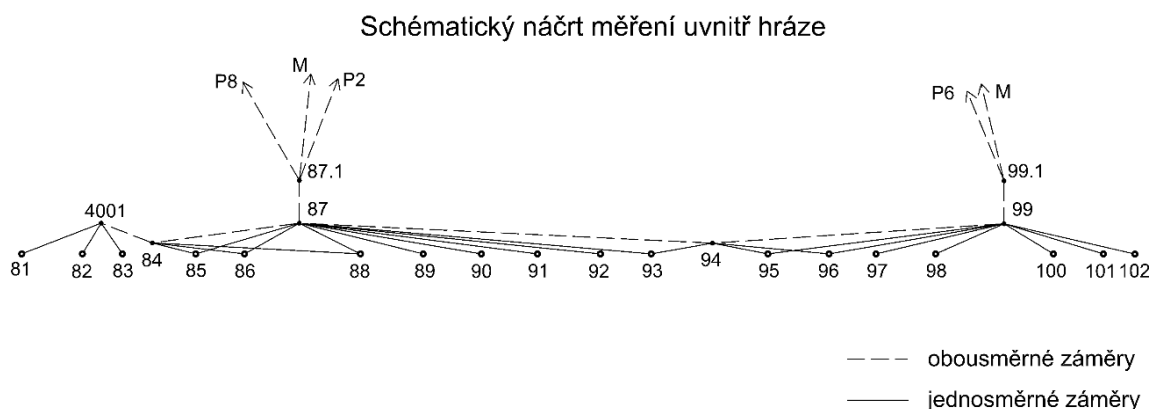
S vedoucím hrázným bylo dne 4. 2. 2019 dohodnuto vyčištění vybraných záměr během 14 dní. Z důvodu příkrých svahů však nebylo prokácení záměr z bodů 5 a 9 realizováno. Bylo proto dohodnuto vykácení vegetace alespoň u pilíře 7. Pro výslednou konfiguraci měření byly provedeny rozborů přesnosti s různým počtem opakování měření. Zvyšování počtu skupin v tomto případě nemá podle provedených rozborů na výslednou přesnost velký vliv. Přesto bylo z důvodu očekávaného vlivu refrakce rozhodnuto pro měření veličin ve třech skupinách.

3.3 Revizní chodba

Rozbor přesnosti před měřením pro pozorované body byl proveden stejným způsobem jako u vztažné sítě. Přibližné souřadnice bodů v hrázi byly vypočteny v programu Groma na základě měření provedených při rekognoscaci. Souřadnice byly následně transformovány do místního systému, v kterém jsou určeny vztažné body. Do programu byly nahrány souřadnice všech pozorovaných bodů i bodů vztažných vybraných pro měření. V první verzi výpočtu byla celá síť vyrovnána jako volná. Vzhledem k neuspokojivým výsledkům byla modelována i druhá verze, ve které byla provedena fixace na body v závazání hráze. Přesnost centrace byla opět volena 0,2 mm na všech bodech. Požadovaná směrodatná odchylka pro pozorované body ve směru toku (v našem systému ve směru osy Y) je dána hodnotou 0,28 mm určenou v kapitole 3.1. Vhodnost konfigurace měření byla proto v tomto případě posuzována na základě směrodatných odchylek v souřadnici Y u jednotlivých pozorovaných bodů.

Byla provedena řada rozborů s různými modely měření, přesto však žádný model při uvážení vlivu centrace nespĺňoval požadovanou přesnost. Nedostatečná přesnost pozorovaných bodů je způsobena především napojením na vztažnou síť, při kterém se

značně projevuje vliv nepřesnosti délky. Přesnost určená pomocí rozboru přesnosti před měřením je pouze teoretická, proto bylo rozhodnuto měření uvnitř hráze uskutečnit. Získaná data budou mimo jiné sloužit pro praktické ověření očekávané přesnosti. Dle zkušeností Ing. Tomáše Macháčka je přesnost měření délek tímto přístrojem vyšší, než udává výrobce. Předpokládáme proto, že dosáhneme lepších výsledků.



Obr. 11 Schématický náčrt měření ve 4. revizní chodbě

Výsledná navržená konfigurace měření viz Obr. 11 se skládá ze 7 stanovisek, mezi kterými bude provedeno obousměrné měření. Bod 4001 bude nově stabilizován pomocí zděře umístěné ve zdi naproti betonovým konzolím. Před každým měřením bude tato zděř osazena přípravkem NCC Grid. Podle provedených rozborů přesnosti přidání tohoto bodu značně zvyšuje přesnost pozorovaných bodů při výpočtu s fixací na body v zavázání hráze. Vzhledem k tomu, že nebylo předem jisté, jakým způsobem bude vyhodnocení probíhat, bylo rozhodnuto tento bod nově stabilizovat. Při navrhování modelu měření bylo uvažováno s využitím funkce automatického cílení. Aby přístroj zvládl správně zacílit, je zapotřebí dodržet minimální příčný odstup mezi cílovými hranoly (viz kapitola 4.1). Tento odstup je dán hodnotou 0,3 m na 200 m a byl přepočten na minimální úhel mezi záměry. Měření bylo poté navrženo tak, aby byl tento úhel dodržen. Pokud bychom chtěli s touto funkcí zaměřovat i hranoly v zákrytu, bylo by nutné rozdělit body do měření ve více osnůvách. Výpočet modelu byl proveden s dvojnásobným nastavením, s uvažováním vlivu centrace a bez jeho vlivu. Výsledné směrodatné odchylky souřadnic vypočtené pro volnou síť jsou zobrazeny v tabulce Tab. 3.

| Číslo bodu | Bez vlivu centrace | | Centrace 0,2 mm | | Rozdíl | |
|------------|--------------------|------------|-----------------|------------|------------------|------------------|
| | σ_x | σ_y | σ_x | σ_y | $\Delta\sigma_x$ | $\Delta\sigma_y$ |
| | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] |
| M | 0,22 | 0,34 | 0,42 | 0,39 | 0,20 | 0,05 |
| P2 | 0,36 | 0,44 | 0,71 | 0,54 | 0,35 | 0,10 |
| P6 | 0,25 | 0,36 | 0,43 | 0,46 | 0,17 | 0,10 |
| P7 | 0,30 | 0,40 | 0,38 | 0,46 | 0,09 | 0,06 |
| P8 | 0,22 | 0,40 | 0,30 | 0,50 | 0,07 | 0,10 |
| 87.1 | 0,20 | 0,31 | 0,28 | 0,36 | 0,08 | 0,05 |
| 99.1 | 0,29 | 0,33 | 0,36 | 0,38 | 0,07 | 0,06 |
| 81 | 0,73 | 0,26 | 0,82 | 1,02 | 0,08 | 0,76 |
| 82 | 0,67 | 0,25 | 0,76 | 0,70 | 0,09 | 0,44 |
| 83 | 0,70 | 0,21 | 0,79 | 0,58 | 0,09 | 0,37 |
| 84 | 0,31 | 0,18 | 0,36 | 0,44 | 0,05 | 0,26 |
| 85 | 0,43 | 0,17 | 0,52 | 0,42 | 0,09 | 0,25 |
| 86 | 0,40 | 0,15 | 0,52 | 0,38 | 0,12 | 0,23 |
| 87 | 0,20 | 0,13 | 0,24 | 0,28 | 0,04 | 0,15 |
| 88 | 0,45 | 0,13 | 0,52 | 0,35 | 0,07 | 0,22 |
| 89 | 0,63 | 0,13 | 0,70 | 0,35 | 0,07 | 0,22 |
| 90 | 0,64 | 0,15 | 0,71 | 0,36 | 0,07 | 0,22 |
| 91 | 0,65 | 0,17 | 0,72 | 0,38 | 0,07 | 0,22 |
| 92 | 0,66 | 0,20 | 0,72 | 0,42 | 0,07 | 0,22 |
| 93 | 0,47 | 0,13 | 0,52 | 0,34 | 0,05 | 0,20 |
| 94 | 0,29 | 0,14 | 0,33 | 0,27 | 0,04 | 0,14 |
| 95 | 0,49 | 0,15 | 0,54 | 0,37 | 0,06 | 0,22 |
| 96 | 0,49 | 0,17 | 0,54 | 0,38 | 0,06 | 0,21 |
| 97 | 0,66 | 0,18 | 0,74 | 0,44 | 0,07 | 0,25 |
| 98 | 0,65 | 0,19 | 0,73 | 0,46 | 0,07 | 0,27 |
| 99 | 0,29 | 0,20 | 0,34 | 0,42 | 0,05 | 0,21 |
| 100 | 0,65 | 0,23 | 0,73 | 0,54 | 0,07 | 0,31 |
| 101 | 0,66 | 0,24 | 0,74 | 0,59 | 0,07 | 0,35 |
| 102 | 0,66 | 0,26 | 0,74 | 0,62 | 0,07 | 0,37 |
| 4001 | 0,45 | 0,21 | 0,51 | 0,57 | 0,06 | 0,36 |

Tab. 3 Porovnání směrodatných odchylek pozorovaných bodů určených z rozborů přesnosti

4 Provedená měření

V rámci této diplomové práce byly ve dvou etapách zaměřeny pozorované body v revizní chodbě číslo 4 a část původní vztažné sítě. Atmosférické podmínky a výška hladiny v nádrži ve dnech měření jsou v Tab. 4. Aby bylo možné na provedená měření snadno navázat případným etapovým měřením v následujících letech, bylo pro měření využito pouze vybavení firmy VODNÍ DÍLA – TBD a.s.

| Etapa | Den | Hladina vody (Bpv) | Místo | Teplota | Tlak |
|----------|-------------|--------------------|--------|---------|--------|
| | | [m n. m.] | | [°C] | [hPa] |
| základní | 21. 2. 2019 | 267,79 | venku | 10,3 | 993,9 |
| | | | uvnitř | 9,4 | 992,4 |
| | 22. 2. 2019 | 268,25 | uvnitř | 10,2 | 998,8 |
| první | 29. 3. 2019 | 269,33 | venku | 14,7 | 1001,4 |
| | | | uvnitř | 10,6 | 1001,0 |

Tab. 4 Podmínky při měření

4.1 Přesná totální stanice Leica TM30

Obě etapy byly zaměřeny totální stanicí Leica TM30 výrobního čísla 364680. Jedná se o přesnou totální stanici od firmy Leica Geosystems. Oproti standardní verzi je tato totální stanice vybavena dvěma dotykovými klávesnicemi, umožňujícími snadné ovládání přístroje i ve druhé poloze dalekohledu. Přístroj byl na základě požadavku osazen jiným okulárem umožňujícím zvětšení dalekohledu 42x namísto původních 30x. Totální stanice je vybavena technologií ATR⁴ umožňující automatické vyhledání a zacílení na střed odrazného hranolu. Vybrané základní údaje o přesnosti přístroje stanovené podle ISO 17123–3 a dosahu měření jsou uvedeny níže. [20]

Měření úhlů: úhlová přesnost: 0,15 mgon

Měření délek: přesnost délek (na hranol) při přesném režimu: 0,6 mm + 1 ppm

dosah – jeden standardní hranol: až 3 500 m

dosah – minihranol: až 2 000 m

⁴ Automatic Target Recogniton v překladu automatické rozpoznávání cílů

Režim ATR: úhlová přesnost: 0,3 mgon
 základní polohová přesnost: 1 mm
 dosah – jeden standardní hranol: 3 000 m
 dosah – minihranol: 1 500 m
 minimální příčná vzdálenost mezi hranoly na 200 m: 0,3 m

Během měření ve skupinách přístroj automaticky vypočítá průměry měřených veličin a jejich aposteriorní přesnost. Díky tomu je možné v terénu dosaženou přesnost snadno kontrolovat a případně potřebné měření přidat. Export měřených dat je prováděn pomocí vytvořené masky ve formátu GSI.

4.2 Použité pomůcky

Při zaměření obou etap byly pro signalizace a centraci na bodech použity shodné pomůcky viz Tab. 5. Část pomůcek je zobrazena na Obr. 12 a Obr. 13. Kromě dosavadního vybavení firmy VODNÍ DÍLA – TBD a.s. bylo zapotřebí sehnat redukci mezi centrační hlavici Kern a standardní geodetickou trojnožku. Dále bylo potřeba zajistit válcové čepy a redukce pro signalizaci pozorovaných bodů pomocí minihranolů. Potřebné vybavení zajistil Ing. Tomáš Macháček. Pro správné určení atmosférických korekcí byl během měření používán barometr a teploměr.



Obr. 12 Základní sestava pro centraci na stanoviskách – kulový čep, centrační talíř, trojnožka



Obr. 13 Pomůcky pro signalizaci pozorovaných bodů – válcový čep, trn, hranol Leica Mini GMP101

| Místo osazení | Pomůcka | Upřesnění | Počet kusů |
|--------------------------|-----------------------------|---|------------|
| stanovisko | kulový čep se závitem | mosazný | 6 |
| | centrační talíř s hroty | mosazný | 6 |
| | NCC Grid ⁵ | nerezový zesílený žebry | 1 |
| | trojnožka | standardní | 6 |
| | | upravená pro centrační hlavici pro přístroje Kern | 1 |
| | trn | Leica GRT144 | 4 |
| | | Leica GZR2 | 1 |
| | | značka Wild – nižší | 1 |
| | hranol | Leica GPR121 | 3 |
| | | Leica GPH1 + Leica GPR1 | 2 |
| Leica GPH1P velmi přesný | | 1 | |
| pozorovaný bod | válcový čep | mosazný | 12 |
| | trn pro osazení minihranolu | nízký – mosazný | 12 |
| | | střední – mosazný | 1 |
| | minihranol | Leica Mini GMP101 | 12 |

Tab. 5 Seznam použitých centračních a signalizačních pomůcek

⁵ vžitý název pro boční stabilizaci NCC je „pádlo“

4.3 Základní etapa

Zaměření základní etapy proběhlo ve dnech 21.–22. 2. 2019 v počtu 3 lidí.

4.3.1 První den – zaměření vztažné sítě

Přestože bylo předem dohodnuto s vedoucím hrázným prokácení vybraných záměr, bylo po příjezdu na místo měření zjištěno, že některé plánované záměry jsou stále zarostlé. Zaměstnanci Povodí byli však ochotní zbývající prokácení ihned provést a během dvou hodin byly záměry připraveny k měření. Mezitím byla zaměstnancem firmy VODNÍ DÍLA – TBD a.s. připravena zděř pro osazení pádla uvnitř chodby a na skálu s pilířem M bylo připevněno několik skalních skob spolu s provazem pro snadnější přístup.

| Pilíř | Trojnožka | Trn | Hranol |
|-----------------|----------------|-----------|--------|
| 2 | 3 | 3 | A |
| 6 | 6 | 1 | F |
| 7 | 4 | 4 | D |
| 8 | 5 | 5 (nižší) | II |
| M | speciální Kern | 6 | I |
| 87.1 (z venku) | 2 | 2 | C |
| 87.1 (uvnitř) | 2 | 2 | I |
| 99.1 (z venku) | 1 | 2 | C |
| 99.1 (uvnitř) | 1 | 2 | I |
| 99 | 5 | 4 | D |
| 87 (st. 87.1) | 4 | 4 | D |
| 87 (st. 94, 84) | 4 | 6 | C |
| 94 | 3 | 3 | A |
| 84 | 6 | 1 | F |
| 4001 | 1 | 2 | I |

Tab. 6 Systém osazení stanovisek centračními a signalizačními pomůckami v základní etapě

V rámci prvního dne byla zaměřena navržená část vztažné sítě a bylo provedeno měření ze 2 přípojovacích bodů uvnitř hráze (bod 87.1 a 99.1). Před samotným měřením bylo nutné provést osazení pilířů signalizačním zařízením. Vzhledem k tomu, že se jednalo o základní etapu bylo zapotřebí navrhnout systém osazování bodů viz Tab. 6. Systém byl

navržen tak, aby v rámci jedné etapy bylo centrační zařízení na bod umístěno pouze jednou a v případě potřeby docházelo pouze k vyjímání trnu s hranolem z trojnožky. Z důvodu nedostatku pomůcek bylo nutné, aby byl trn s hranolem mezi některými stanovisky během měření přenášen. Jako nejjednodušší varianta bylo zvoleno přenášení pomůcek uvnitř chodby mezi přípojevacími body 99.1 a 87.1.

Kromě pilíře M je na všech bodech nucená centrace pomocí centrační hlavice se zděří. Osazení těchto bodů bylo provedeno centračním talířem, který byl pomocí kulového čepu se závitem pevně spojen s trojnožkou. Při prvním osazení byl na každé centrační hlavici vyražen důlek, do kterého byl umístěn označený hrot centračního talíře, čímž se zabránilo případnému stočení celé soustavy. Následně bylo provedeno osazení trnem s hranolem, přičemž trn byl natočen označenou stranu k libele viz Obr. 14. Poté byl jeden stavěcí šroub plně stočen a horizontace byla provedena pomocí dvou zbývajících šroubů. Všechny díly byly označeny čísly nebo písmeny a jejich umístění na jednotlivých pilířích bylo zaznamenáno. Osazení stanoviska M proběhlo obdobným způsobem s tím rozdílem, že centrační zařízení se skládalo pouze ze speciálně upravené trojnožky, která byla připnuta k centrační hlavici na bodě. Pozice natočení trojnožky byla zaznamenána.

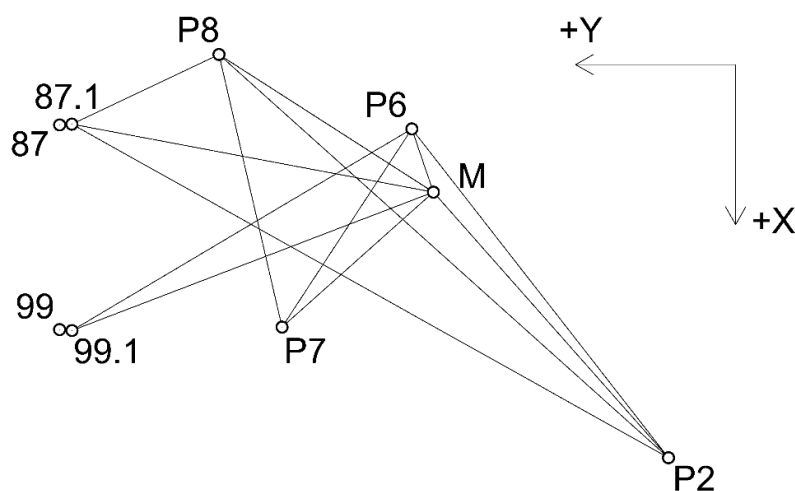


Obr. 14 Osazený pilíř číslo 7

Provedená měření v rámci prvního dne jsou znázorněna na náčrtu viz Obr. 15. Měření na jednotlivých stanoviskách probíhalo stejným způsobem. Nejdříve byla do totální stanice zadána aktuální teplota a tlak pro zavedení atmosférických korekcí. Tyto hodnoty byly případně během měření upraveny. Měření bylo provedeno technologií ATR. Na začátku byla definována osnova bodů v první poloze dalekohledu, při které postačilo provést přibližné zacílení na bod a nastavení čísla bodu spolu s konstantou hranolu. Měření v druhé poloze dalekohledu již bylo automatizované. Následně bylo nastaveno měření ve zbývajících 2 skupinách. Po ukončeném měření byla zkontrolována dosažená přesnost. Pokud směrodatná odchylka vodorovného směru nebo zenitového úhlu vypočtená pro měření v jedné skupině překročila přesnost udávanou výrobcem, tedy 0,3 mgon, byla přidána další měřická skupina. Přístroj také umožňuje z výpočtu aposteriorní směrodatné odchylky některou měřickou skupinu odebrat. Těto funkce bylo několikrát využito. Na všech stanoviskách byly zaměřeny vodorovné směry, zenitové úhly a šikmé délky minimálně ve třech skupinách.

Během měření bylo zataženo s občasným mírným větrem, teploty se pohybovaly mezi 8–11 °C. Pro přístup k bodu číslo 7 bylo využito areálu elektrárny nacházejícího se pod hrází. Na bod číslo 2 nebylo z organizačních důvodů využito nabídky dopravy loďkou, a tak musela být k tomuto bodu zdolána příkrá stráž.

Náčrt zaměřené části vztahné sítě a připojovacích bodů



Obr. 15 Náčrt zaměřené části vztahné sítě a připojovacích bodů

4.3.2 Druhý den – zaměření pozorovaných bodů



Obr. 16 Leica TM30 na bodě 4001 (centrace pomocí NCC Grid)

V rámci druhého měřického dne proběhlo zaměření všech pozorovaných bodů uvnitř čtvrté revizní chodby. Znovu musel být navržen systém osazení bodů podle množství dostupných pomůcek viz Tab. 6 a Tab. 7. Na bodech 87, 87.1, 99 a 99.1 bylo ponecháno centrační zařízení z předešlého dne. Centrace na bodech sloužících jako stanoviška proběhla opět pomocí centračního talíře. Během osazování bylo bohužel zjištěno, že je zapotřebí osadit zároveň bod 87 a 99, pro jejichž osazení byl první den využíván stejný trn s hranolem. Bod 87 byl proto osazen jiným trnem s hranolem a tato skutečnost byla zaznamenána. Bod 4001 byl nově stabilizován pomocí vodorovné zděře zapuštěné ve zdi v levé části hráze a pro jeho signalizaci bylo využíváno NCC Grid zobrazené na Obr. 16. Pozorované body byly signalizovány minihranoly Leica GMP101 umístěnými pomocí trnu ve válcovém čepu, který byl zasunut do zděře v centrační hlavici. Zaměření bylo provedeno stejným způsobem jako předešlý den, konfigurace sítě byla podle návrhu vytvořeného v rámci rozborů přesnosti před měřeními a je znázorněna na Obr. 11. Během měření se teplota pohybovala mezi 8 až 12 °C.

| Číslo pilíře uvnitř 4. revizní chodby | Číslo soupravy pro osazení |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| 102 | 1 |
| 101 | 2 |
| 100 | 3 |
| 98 | 4 |
| 97 | 5 |
| 96 | 6 |
| 95 | 7 |
| 93 | 8 |
| 92 | 9 |
| 91 | 10 |
| 90 | 11 |
| 89 | 12 |
| 88 | 1 |
| 86 | 2 |
| 85 | 3 |
| 83 | 4 |
| 82 | 5 (čep k hranolu 1 – trn 5 vyšší) |
| 81 | 6 |

Tab. 7 Systém signalizace pozorovaných bodů

4.4 Ověřovací etapa

Z důvodu ověření přesnosti provedené základní etapy a vzhledem k neuspokojivým výsledkům z měření v revizní chodbě bylo rozhodnuto provést zaměření další etapy. Měření proběhlo dne 29. 3. 2019. Díky tomu, že bylo již vše připraveno z předešlé etapy, byly veškeré práce provedeny během jednoho dne, a to v počtu 4 lidí. Po příjezdu na místo nebylo jisté, zda nám bude umožněn přístup dovnitř hráze i v odpoledních hodinách, proto bylo měření započato uvnitř hráze. Měření v revizní chodbě je zdokumentováno na fotografii na Obr. 17. Zaměření proběhlo stejným způsobem jako v základní etapě. Pouze pomůcky použité pro signalizaci některých stanovisek se nepatrně změnily viz Tab. 8. Během měření uvnitř hráze byla teplota 9–12 °C. Při měření venku bylo slunečno, občas zataženo a teplota se pohybovala mezi 12 až 17 °C.

| Pilíř | Trojnožka | Trn | Hranol |
|-----------------|----------------|------------|------------|
| 2 | 3 | 3 | A |
| 6 | 6 | 1 | F |
| 7 | 4 | 4 | D |
| 8 | 5 | 5 (nižší) | II |
| M | speciální Kern | 6 | I (nově C) |
| 87.1 (z venku) | 2 | 2 | C (nově I) |
| 87.1 (uvnitř) | 2 | 2 | I |
| 99.1 (z venku) | 1 | 2 | C (nově I) |
| 99.1 (uvnitř) | 1 | 2 | I |
| 99 | 5 | 4 | D |
| 87 (st. 87.1) | 4 | 4 (nově 1) | D (nově F) |
| 87 (st. 94, 84) | 4 | 6 (nově 1) | C (nově F) |
| 94 | 3 | 3 | A |
| 84 | 6 | 1 | F |
| 4001 | 1 | 2 | I |

Tab. 8 Systém osazení stanovišek centračními a signalizačními pomůckami v ověřovací etapě



Obr. 17 Měření na stanovisku 87 (měřič Markéta Kubelová)



5 Zpracování měření

Cílem provedených měření bylo získání aktuální polohy vybraných vztažných a pozorovaných bodů, sloužící pro pozdější určení posunů a přetvoření vodního díla, a také posouzení dosažitelné přesnosti. Abychom získali co nejpřesnější výsledky, byla provedena řada nadbytečných měření. Určení nejpravděpodobnější výsledné veličiny poté proběhlo pomocí vyrovnání. Pro vyhodnocení měření byl vybrán program EasyNET 3D, který byl pro tyto účely vyvinut, více v podkapitole 5.2. Díky tomu, že tento software využívá také firma VODNÍ DÍLA – TBD a.s., je možné zpracování případných dalších etap provést shodným způsobem.

5.1 Příprava dat

Program EasyNET 3D provádí v rámci zpracování matematické redukce délek (do vybraného výškového horizontu a z kartografického zobrazení) a také redukce zenitových úhlů a šikmých délek na spojnici stabilizačních značek. Vzhledem k tomu, že cílem etapových měření je určení posunů a přetvoření, není zapotřebí v rámci výpočtu zavádět žádné další redukce ani opravy.

Příprava dat pro nahrání do programu se skládá pouze z úpravy vyexportovaných měřických záznamů z přístroje do požadovaného formátu. Z totální stanice byla podle formátovacích masek vyexportována data z měření ve formátu GSI viz Obr. 18 a informace o dosažených aposterioriálních směrodatných odchylkách ve skupinách ve formátu APP, takzvaný Logfile viz Obr. 19. Formát GSI byl nahrán do programu Excel, kde bylo přidáno pořadí stanoviska v souboru, opravena čísla bodů a byly vybrány jen potřebné záznamy z měření viz Obr. 20. Na základě Logfile souboru byly některé skupiny z měřených dat odstraněny.

```
Job:CHODBA_29. Operator: Datum: 2019 29/3 8: 36 Instrument: TM30 0.5" Nr: 364680
L:229.9601031578 T:658.6730461956 Hz ATR:100.4078599218 V ATR:420.4612344138 Colimation: 17.7477580006 Title Axis:15.2256300273 Index:-299.2
Atmo korekce: 7 Teplota:8.3000000000 Tlak:973.8000000000
4001 110001+0000000000000000084 21...2+000000038789932 22...2+000000013114269 31...0+0000000000000000 32...0+0000000000000000 51...00000000
Atmo korekce: 3 Teplota:11.1000000000 Tlak:1000.5000000000
4001 110002+0000000000000000084 21...2+000000038789898 22...2+000000013114283 31...0+000000000112615 32...0+000000000099407 51...00000000
4001 110003+0000000000000000083 21...2+0000000039233313 22...2+0000000012444773 31...0+0000000000050069 32...0+0000000000046422 51...00000000
4001 110004+0000000000000000082 21...2+0000000016736932 22...2+0000000006930045 31...0+0000000000034985 32...0+0000000000030996 51...00000000
4001 110005+0000000000000000081 21...2+0000000018189816 22...2+0000000009198210 31...0+000000000143337 32...0+000000000142202 51...00000000
4001 110006+0000000000000000081 21...2+000000038189761 22...2+000000030801608 31...0+000000000143335 32...0+000000000142201 51...00000000
4001 110007+0000000000000000082 21...2+0000000036734740 22...2+0000000033065490 31...0+0000000000034984 32...0+0000000000031006 51...00000000
4001 110008+0000000000000000083 21...2+000000019232930 22...2+000000027554541 31...0+0000000000050068 32...0+0000000000046419 51...00000000
```

Obr. 18 Ukázka z vyexportovaného souboru ve formátu GSI



```

-----
Leica System 1200 Sets of Angles, Version 8.02 Logfile
-----
Instrument Type   : TM30 0.5"
Instrument Serial No. : 364680

Store To Job     : CHODBA_29.3
Sets of Angles Start : 29.03.19, 08:42:38

TPS Station   :          4001 E=          0.000 N=          0.000 H=          0.000
-----
Horizontal Set Results

Number Of Sets:   3   Number Of Points:   4

Standard Deviation Of Single Measurement:   0.00017
Standard Deviation Of All Measurements   :   0.00010
-----
      84 Mean of all Sets(Hz): 0.00000
      83 Mean of all Sets(Hz): 4.43280
      82 Mean of all Sets(Hz): 179.45769
      81 Mean of all Sets(Hz): 193.99968
Hz residual Set: 1   Point ID: 84   Reduced Mean: 0.00000   Hz Residuals: 0.00000
Hz residual Set: 2   Point ID: 84   Reduced Mean: 0.00000   Hz Residuals: 0.00000
Hz residual Set: 3   Point ID: 84   Reduced Mean: 0.00000   Hz Residuals: 0.00000
Hz residual Set: 4   Point ID: 84   Reduced Mean: 0.00000   Hz Residuals: 0.00000
Hz residual Set: 1   Point ID: 83   Reduced Mean: 4.43313   Hz Residuals: -0.00033

```

Obr. 19 Ukázka z vyexportovaného souboru ve formátu APP

| pořadí stanoviska | číslo stanoviska | výška stanoviska | číslo cíle | výška cíle | vodorovný směr [gon] | zenitový úhel [gon] | šikmá délka [m] |
|-------------------|------------------|------------------|------------|------------|----------------------|---------------------|-----------------|
| 3 | P7 | 0 | M | 0 | 268,07218 | 306,61645 | 127,4718 |
| 3 | P7 | 0 | P6 | 0 | 251,34270 | 313,03182 | 151,3257 |
| 3 | P7 | 0 | P8 | 0 | 199,99804 | 313,70523 | 179,1228 |
| 4 | P8 | 0,0167 | 87.1 | 0 | 0,00009 | 107,43648 | 102,3808 |
| 4 | P8 | 0,0167 | M | 0 | 264,52864 | 109,93582 | 161,2197 |
| 4 | P8 | 0,0167 | P2 | 0 | 274,75204 | 107,01667 | 379,8105 |

Obr. 20 Příprava vstupní formátu MTX pro program EasyNET

Ačkoliv se zpracování nezabývá výškovou složkou posunu, bylo pro práci s programem EasyNET 3D zapotřebí při obousměrném měření dodržet správné výšky cílů a stanovisek. Kromě trnu umístěného na pilíři 8, mají všechny trny s hranoly přibližně stejnou výšku jako totální stanice. U těchto bodů byla nastavena výška stanoviska i cíle 0 m, neboť jejich výška se při výpočtu odečte. Podle informací od Ing. Tomáše Macháčka je trn s hranolem použitý na pilíři 8 nižší o 0,0167 m oproti přístroji. Protože vybraný výpočetní program neumožňuje práci se zápornými výškami cílů a stanovisek, bylo nejjednodušší tento zjištěný rozdíl ve výšce nastavit jako výšku stanoviska 8. Upravená data byla uložena do textového souboru s příponou MTX umožňující načtení do programu EasyNET 3D.

5.2 Postup práce v program EasyNET

Tuto softwarovou aplikaci vyvinul Ing. Pavel Třasák, Ph.D. a slouží pro zpracování měření v prostorových geodetických sítích. Měřená data je možné do programu nahrát z textového souboru s příponou ASC a MTX. Do programu musí být také zadány souřadnice alespoň dvou bodů geodetické sítě viz Obr. 21. Souřadnice je možné načíst z textového souboru s příponou TXT. V seznamu souřadnic je možné provést nastavení fixních bodů, čímž určujeme, zdali bude síť vyrovnána jako volná (žádný bod není fixovaný), anebo vázaná (alespoň dva body budou fixované). V případě fixace pouze jednoho bodu, anebo směrníku by se podle [20] jednalo o síť částečně vázanou.

The screenshot shows the EasyNET software interface. The main window displays a table of measurement data with columns for Station (Stanovisko), Target (Cíl), and Measured quantities (Měřené veličiny). A dialog box titled 'Fixní body' (Fixed points) is open, showing a table of coordinates for various points.

| Stanovisko | | | Cíl | | Měřené veličiny | | |
|------------|-------|-----------|-------|-----------|----------------------|---------------------|-----------------|
| Pořadí | Číslo | Výška [m] | Číslo | Výška [m] | Vodorovný směr [gon] | Zenitový úhel [gon] | Šikmá délka [m] |
| 6 | P2 | 0.0000 | M | 0.0000 | 0.00003 | 95.21217 | 222.3914 |
| | | | P6 | 0.0000 | 3.93785 | 91.68879 | 263.0618 |
| | | | P8 | 0.0000 | 392.67370 | 92.98867 | 379.8084 |
| | | | 87.1 | 0.0000 | 378.58220 | 95.56224 | 428.2489 |
| | | | 87.1 | 0.0000 | 178.58120 | 304.43643 | 428.2489 |
| | | | P8 | 0.0000 | 192.67221 | 307.00995 | 379.8084 |
| | | | P6 | 0.0000 | 203.93637 | 308.30967 | 263.0618 |
| | | | M | 0.0000 | 199.99902 | 304.78616 | 222.3912 |
| | | | M | 0.0000 | 0.00017 | 95.21262 | 222.3912 |
| | | | P6 | 0.0000 | 3.93769 | 91.68885 | 263.0619 |

| Fixní body | | | |
|------------|----------|------------|----------|
| Hlavní | | Souřadnice | |
| Číslo | X [m] | Y [m] | Z [m] |
| P2 | 361.9995 | 162.5769 | 225.3890 |
| P6 | 156.3203 | 322.9685 | 259.6360 |
| P7 | 280.3128 | 404.0878 | 228.8710 |
| P8 | 109.8169 | 443.5013 | 267.1403 |
| P9 | 305.4902 | 460.2153 | 265.0800 |
| M | 195.8839 | 309.4984 | 242.0000 |

Obr. 21 Zpracování základní etapy v programu EasyNET 3D

Po nahrání dat je provedena detekce měřických skupin a základní kontrola měření. Tato část zpracování slouží pro vyhledání případných hrubých chyb a omylů vyskytujících se v datech. Patří mezi ně například chybějící bod v měřické skupině nebo záporná výška stanoviště a cíle. Také jsou vyhledány měřené veličiny, které nesplňují stanovené mezní rozdíly pro měření ve dvou polohách dalekohledu anebo ve skupině. Mezní rozdíly je možné dle potřeb nastavit. Jelikož vnitřní přesnost měření byla kontrolována již během samotného



měření a případné další chyby by měly být odhaleny robustní analýzou, nebyla možnost této kontroly využita. V nastavení mezních hodnot bylo proto ponecháno výchozí nastavení, které je velmi mírné. Dokud se v datech vyskytují podezřelá měření, není možné ve zpracování pokračovat.

V další části bylo provedeno nastavení redukce délek. Celé zpracování je provedené v místním souřadnicovém systému používaném v roce 1980, kde kladná osa X je přibližně rovnoběžná s osou hráze a kladná osa Y je proti směru toku. Z důvodu použití místního systému byla nastavena výšková redukce na střední hladinu geodetické sítě (při tomto nastavení jsou redukce minimální) a měřítko pro redukci z kartografického zobrazení bylo nastaveno 1. Redukce zenitových úhlů a šikmých délek na spojnici stabilizačních značek nevyžaduje žádné nastavení a během výpočtu je zaváděna automaticky.

Následně je spuštěna analýza měření, během které jsou vypočteny přibližné souřadnice všech bodů v síti a opět je provedena kontrola dat pro odhalení hrubých chyb. Zároveň dochází k výpočtu vnitřní a vnější přesnosti měřených veličin. U vnitřní přesnosti se směrodatné odchylky určují z opakovaných měření ve skupinách. Vnější přesnost je vypočtena na základě protisměrných měření (šikmé délky a zenitové úhly) a z úhlových uzávěrů v trojúhelnících (vodorovné směry). U takto určených směrodatných odchylek se projeví vliv vnějšího prostředí a systematických chyb, proto také zpravidla nabývají vyšších hodnot než odchylky určené z vnitřní přesnosti sítě. [20]

Důležitým krokem před samotným vyrovnáním je nastavení apriorní přesnosti měřených veličin. Program umožňuje hromadné nastavení přesnosti pro všechny šikmé délky, zenitové úhly a vodorovné směry nebo také nastavení směrodatných odchylek u jednotlivých záměr. V případě hromadného nastavení je možné zvolit vnitřní, vnější, anebo vlastní zadanou přesnost.

Výhodou programu EasyNET je robustní analýza, která ještě před vyrovnáním detekuje odlehlá měření a vyřadí je z výpočtu. Zpracování je možné provést i bez této analýzy. Metodu robustního odhadu a hladinu významnosti je možné nastavit. Všechny provedené výpočty byly na základě návodu [20] a konzultace s Ing. Tomášem Macháčkem provedeny metodou Huber (viz podkapitola 5.2.1) na hladině významnosti $\alpha = 1 \%$, která značí, že s pravděpodobností 1 % označíme správné měření za odlehlé. Konečné vyrovnání je provedeno metodou nejmenších čtverců.



Po vyrovnání je možné prohlédnout detekovaná odlehlá měření, dosažené aposteriorní odchylky, vyrovnané souřadnice a další informace o vyrovnání. V případě vázané sítě je zpracování dokončeno. Pokud byla síť vyrovnána jako volná, program provedl výpočet ve vlastním pravouhlém souřadnicovém systému a je nutné provést transformaci do zvoleného souřadnicového systému. Transformaci je možné provést na identický bod a směrník, anebo na těžiště identických bodů (Helmertova transformace). Opět je možné provést výpočet s robustní analýzou. Této možnosti bylo využito jen v některých případech. Směrodatné odchylky identických bodů je opět možné nastavit hromadně, anebo jednotlivě.

Na konci zpracování umožňuje program zobrazení všech důležitých informací o vyrovnání. Záznam o zpracování je možné také uložit do protokolu. Dále je možné také jednoduše vytvořit výkres s chybovými elipsami. Celé projekty včetně nahraných dat a nastavení je možné ukládat do souboru s příponou PEN.

5.2.1 Detekce odlehlých měření

Při zpracování dat metodou nejmenších čtverců předpokládáme, že chyby pochází z normálního rozdělení. Tato metoda je nerobustní, to znamená, že i malá odchylka od normálního rozdělení pravděpodobnosti může způsobit zkreslení výsledků a tím znehodnotit jinak kvalitní měření. Pro vyloučení případných odlehlých měření je vhodné použít robustní metodu. Robustní metody dosahují kvalitních výsledků i při výskytu určitého množství chybných měření (je možné mírné odchýlení od normálního rozdělení chyb). [17]

Robustní metoda Huber spadá mezi M-odhady, tedy odhady založené na metodě největší věrohodnosti. Odhadová funkce vychází z normálního rozdělení, přičemž okrajové části jsou nahrazeny speciálním případem exponenciální funkce (Laplaceovým rozdělením). „Tímto způsobem je dosaženo ohraničení vlivové funkce $\psi(\varepsilon)$ a dosažení robustnosti odhadu. Toto řešení vede k větší pravděpodobnosti výskytu odlehlých měření na okrajích rozdělení.“ [17] Podle množství odlehlých hodnot v měřených datech je volena konstanta c . Měření jejichž normovaná oprava se nachází ve stanoveném intervalu $\langle -c, +c \rangle$, mají shodnou konstantní váhu. Naproti tomu u měření s opravami mimo interval klesá jejich váha hyperbolicky s rostoucí velikostí normované opravy. Výsledný robustní odhad tak není příliš ovlivněn odlehlými měřeními. [17][22]



Opravy u jednotlivých měření určené z robustního vyrovnání jsou porovnány s mezní hodnotou. V případě překročení stanovené hodnoty je měření označené za odlehlé na zvolené hladině významnosti a ve vyrovnání metodou nejmenších čtverců se neuplatní. [22]

5.3 Zpracování základní etapy

Data ze zaměření základní etapy byla rozdělena na měření vztažné sítě spolu s daty s přípojovacími body (87.1, 99.1) a na údaje získané z měření revizní chodby. Z důvodu nalezení vhodného způsobu výpočtu a také odhalení případných chyb vzniklých při měření byly obě části sítě vyrovnány dohromady a také zvlášť. Výsledné souřadnice s dosaženými přesnostmi ze všech variant zpracování se nacházejí v tištěné příloze. Základní informace o provedených vyrovnáních jsou v podkapitolách uvedených níže.

5.3.1 Vyrovnání vztažné sítě spolu s přípojovacími body

Po spuštění programu bylo provedeno nastavení redukce délek a robustních analýz viz kapitola 5.2. Bylo provedeno nahrání měřených dat a seznamu se souřadnicemi bodů vztažné sítě určenými na jaře roku 1980 z kombinovaného měření [10]. Tyto souřadnice vztažných bodů jsou posledními, které se podařilo dohledat. Vzhledem k tomu, že od určení těchto souřadnic uplynulo téměř 40 let a měření bylo provedeno jiným přístrojem a s jinými pomůckami lze očekávat, že nově získané souřadnice se budou v jednotkách mm lišit. Proto bylo rozhodnuto vyrovnat síť jako volnou, tedy žádný z bodů nefixovat. Ze stejného důvodu bylo rozhodnuto neposuzovat posun bodů mezi těmito zaměřeními.

Detekce měřických skupin a počáteční kontrola měření proběhla v pořádku, díky tomu mohla být spuštěna analýza měření. Dalším krokem bylo nastavení apriorní přesnosti měřených veličin. Vzhledem k tomu, že se jedná o základní etapu a nejsou tedy známy přesnosti získané z více etapových měření na dané hrázi, byla pro vyrovnání nastavena vypočtená vnější přesnost. Vnější přesnost vypočtená programem je určena pro měření v jedné skupině. Všechny vypočtené apriorní směrodatné odchylky splňují přesnost deklarovanou výrobcem Tab. 9. U zenitových úhlů se více projevuje vliv refrakce, především proto je jejich přesnost výrazně horší, než je tomu u vodorovných směrů. Robustní analýzou bylo detekováno pouze 6 odlehlých měření. Jednotlivá odlehlá měření byla prohlédnuta. Podle velikosti opravy, stanoviska a cíle bylo posouzeno, zda se nejedná



o chybu při přípravě dat, případně chybu při měření, kterou by bylo možné v následujících etapách odstranit. Dále bylo posouzeno, zda je možné měření nechat vyloučené z výpočtu, nebo je vhodné zhoršit jeho apriorní směrodatnou odchylku tak, aby se zahrnuje do vyrovnání. U všech detekovaných měření se v záměře vyskytoval bod M, žádná konkrétní příčina vzniku těchto odlehlých měření nebyla zjištěna. Vzhledem k množství nadbytečných měření a opravám blízkým mezním hodnotám bylo veškeré nastavení ponecháno (odlehlá měření se vyloučí) a pokračovalo se ve výpočtu. Vhodnou volbu apriorních přesností měřených veličin dokazuje apriorní jednotková směrodatná odchylka určená z vyrovnání, která dosahuje hodnoty blízké 1.

Po vyrovnání byly do seznamu identických bodů nahrány souřadnice vztažných bodů opět z jara roku 1980. Byla provedena transformace (Helmertova) na těžiště identických bodů s robustní analýzou. Robustní analýza byla provedena metodou Huber na hladině významnosti 1 %. Výpočet byl postupně proveden s různými apriorními směrodatnými odchylkami identických bodů tak, aby se většina bodů uplatnila ve výpočtu. Při konečné volbě apriorní směrodatné odchylky 2 mm v souřadnicích X, Y a Z byla jako odlehlá detekována pouze výška u bodu M. Oprava výšky na tomto bodě byla 97,3 mm. Důvod takto velké opravy se nepodařilo zjistit, nejspíše se bude jednat o rozdílné centrační zařízení použité na bodě. Aposteriorní jednotková chyba je opět blízká 1, což v tomto případě ukazuje na správnou volbu apriorních směrodatných odchylek souřadnic identických bodů.

Na konci výpočtu byly uloženy protokoly o vyrovnání a o transformaci, které jsou k dispozici v elektronických přílohách. Základní údaje o zpracování a výsledné souřadnice s přesnostmi jsou uvedeny v Tab. 9 a Tab. 10. Pro porovnání byl proveden výpočet také s upravenými apriorními přesnostmi u všech odlehlých měření. Přesnosti byly upraveny tak, aby se všechna měření zahrnula do vyrovnání. Souřadnice určené z obou vyrovnání se lišily výjimečně (ve 3 případech) o 0,1 mm a maximální rozdíl mezi aposteriorními směrodatnými odchylkami byl pouze 0,01 mm. Z porovnání je patrné, že zhoršení přesnosti u odlehlých měření nemá na výsledné veličiny zásadní vliv. Tento závěr byl očekáván, neboť při zvýšení směrodatné odchylky je váha dané veličiny ve výpočtu menší.

| Analýza dat | | Vnitřní přesnost | Vnější přesnost |
|---|-----------------------|------------------|---------------------|
| σ_{Hz} [mgon] | | 0,132 | 0,165 |
| σ_z [mgon] | | 0,192 | 0,289 |
| $\sigma_{\xi d}$ [mm] | | 0,06 | 0,47 |
| Základní informace | | Vyrovnání | Trans. s vyrovnáním |
| Metoda robustního odhadu | | Huber | Huber |
| Hladina významnosti | | 0,01 | 0,01 |
| Apriorní směrodatné odchylky | | vnější přesnost | 2,0 mm |
| Odhlelé veličiny | celkový počet | 6/288 | 1/15 |
| | vod. směr / souř. X | 4/96 | 0/5 |
| | zenit. úhel / souř. Y | 2/96 | 0/5 |
| | šikmá délka / souř. Z | 0/96 | 1/5 |
| Nadbytečné veličiny | | 251 | 10 |
| Aposteriorní jednotková směrodatná odchylka | | 0,978 | 0,965 |
| Počet transformovaných bodů | | | 9 |
| Souřadnicová směr. od. (5) | | 0,14 mm | 0,14 mm |

Tab. 9 Základní etapa – základní informace o zpracování měření vztahné sítě

| Číslo bodu | Základní etapa 2019 | | | Odchylky od měření na jaře 1980 | | | Apos. směrodatné odchylky | | |
|--|---------------------|----------|----------|------------------------------------|------------|------------|------------------------------|------------|------------|
| | X | Y | Z | ΔX | ΔY | ΔZ | σ_x | σ_y | σ_z |
| | [m] | [m] | [m] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] |
| M | 195,8865 | 309,4993 | 242,0980 | 2,6 | 0,9 | 98,0 | 0,07 | 0,07 | 0,11 |
| P2 | 361,9977 | 162,5775 | 225,3885 | -1,8 | 0,6 | -0,5 | 0,09 | 0,13 | 0,23 |
| P6 | 156,3216 | 322,9703 | 259,6361 | 1,3 | 1,8 | 0,1 | 0,08 | 0,08 | 0,12 |
| P7 | 280,3095 | 404,0867 | 228,8724 | -3,3 | -1,1 | 1,4 | 0,10 | 0,12 | 0,15 |
| P8 | 109,8181 | 443,4990 | 267,1393 | 1,2 | -2,3 | -1,0 | 0,10 | 0,10 | 0,15 |
| Kvadratický průměr směrodatných odchylek (6) | | | | | | | 0,09 | 0,10 | 0,16 |
| 87.1 | 153,3736 | 535,3811 | 255,2245 | | | | 0,15 | 0,10 | 0,17 |
| 99.1 | 282,4442 | 535,3857 | 255,2931 | | | | 0,18 | 0,13 | 0,26 |
| 87 | 153,8692 | 543,0898 | 255,1699 | | | | 0,15 | 0,25 | 0,18 |
| 99 | 281,8424 | 543,1353 | 254,1841 | | | | 0,19 | 0,26 | 0,26 |
| Kvadratický průměr směrodatných odchylek (6) | | | | | | | 0,13 | 0,15 | 0,19 |

Tab. 10 Základní etapa – souřadnice bodů vztahné sítě a připojovacích bodů

5.3.2 Společné vyrovnání vztažných i pozorovaných bodů

Postup zpracování dat z celé sítě byl stejný jako v kapitole 5.3.1. Robustní analýza detekovala 48 odlehlých měření viz Obr. 22. Odlehlá měření u vodorovných směrů jsou ve značné míře způsobeny nízkou apriorní směrodatnou odchylkou určenou z vnější přesnosti sítě. Vzhledem k tomu, že uvnitř chodby nelze žádné trojúhelníky pro určení směrových uzávěrů sestavit, odpovídá vypočtená přesnost samotné vztažné sítě s připojovacími body. Směrodatné odchylky zenitových úhlů vypočtené z obousměrných měření jsou na stanoviskách uvnitř chodby vyšší, než byly na bodech vztažné sítě. Lze předpokládat, že i přesnost vodorovných směrů bude horší. Z výpočtu vnitřní přesnosti však toto tvrzení není patrné. Vzhledem k většímu vlivu nepřesnosti centračních a signalizačních zařízení na kratší vzdálenosti a dále nižší přesnosti totální stanice při využití funkce ATR na krátké vzdálenosti bylo rozhodnuto apriorní směrodatné odchylky vodorovných směrů uvnitř chodby upravit na hodnotu 0,3 mgon deklarovanou výrobcem pro měření do určité vzdálenosti.

Základní informace o vyrovnání sítě

| Vyloučení odlehlých hodnot | | Vyrovnání sítě | |
|-------------------------------------|----------------|--|--------------|
| Metoda robustního odhadu: | Huber | Apriorní jednotková směrodatná odchylka: | 1.000 |
| Hladina významnosti: | 0.01 | Aposteriorní jednotková směrodatná odchylka: | 0.793 |
| Počet vyloučených odlehlých hodnot: | 48/870 [0.055] | Počet fixních bodů: | 0 |
| Vodorovný směr: | 29/290 [0.100] | Počet vyrovnaných bodů: | 30 |
| Zenitový úhel: | 9/290 [0.031] | Počet vyrovnaných orientačních posunů: | 15 |
| Šikmá délka: | 10/290 [0.034] | Počet vyrovnaných měření: | 822 |
| Šikmá délka (doplňk): | - | Vodorovný směr: | 261 |
| Směrník: | - | Zenitový úhel: | 281 |
| Převýšení: | - | Šikmá délka: | 280 |
| Svislé provažování: | - | Šikmá délka (doplňk): | 0 |
| | | Směrník: | 0 |
| | | Převýšení: | 0 |
| | | Svislé provažování (X + Y): | 0 (0) |
| | | Počet nadbytečných měření: | 721 |

Obr. 22 Informace o vyrovnání celé sítě v základní etapě – z programu EasyNET 3D

Po této úpravě se počet odlehlých měření snížil na 31, z toho 14 bylo vodorovných směrů, 9 zenitových úhlů a 8 šikmých délek. Opravy u některých odlehlých měření byly

vysoké, až 3 mgon v případě vodorovných směrů a až 4 mgon u zenitových úhlů viz Tab. 11. Opravy u bodu 87 byly původně zdůvodněny použitím dvou různých trnů s hranolem v rámci měření. Jelikož problémy přetrvávaly i při zpracování ověřovací etapy, kde byla již signalizace bodu provedena správně, bylo usouzeno, že zásadní problém musí být jinde. Byly zkontrolovány vnitřní přesnosti na těchto stanoviskách a cílech, ale žádné nestandardní hodnoty směrodatných odchylek nebyly objeveny. Při kontrole vnějších přesností bylo zjištěno, že směrodatné odchylky zenitových úhlů mezi těmito stanovisky nabývaly hodnot okolo 2 mgon, zbylé směrodatné odchylky určené z měření zenitových úhlů uvnitř chodby se pohybovaly okolo 1 mgon.

| Odlehlé měření | Stanovisko | Cíl | Měřená hodnota | Oprava | Mezní oprava | Délka záměry |
|----------------|------------|-----|----------------|---------|--------------|--------------|
| | | | [gon] | [gon] | [gon] | [m] |
| Vodorovný směr | 87.1 | 87 | 184,06753 | 0,00298 | 0,00069 | 7,7248 |
| | | | 184,06738 | 0,00313 | 0,00069 | |
| | | | 184,06743 | 0,00308 | 0,00069 | |
| Zenitový úhel | 87.1 | 87 | 100,45004 | 0,00413 | 0,00223 | 7,7248 |
| | | | 100,45020 | 0,00397 | 0,00223 | |
| | | | 100,45019 | 0,00398 | 0,00223 | |
| | 99.1 | 99 | 109,02211 | 0,00309 | 0,00221 | 7,8516 |
| | | | 109,02208 | 0,00312 | 0,00221 | |
| | | | 109,02216 | 0,00304 | 0,00221 | |

Tab. 11 Vybraná odlehlá měření ze společného vyrovnání v základní etapě

Na základě provedené konzultace s prof. Ing. Martinem Štronerem, Ph.D. byly orientace ze stanoviska 87 na bod 87.1 a ze stanoviska 99 na bod 99.1 z měřených dat odstraněny. Tyto záměry jsou velmi krátké a jako orientace pro určování bodů uvnitř chodby (delší záměry) proto nevhodné. Jak již bylo řečeno výše na krátkých záměrech se na měřených veličinách více projeví vliv nepřesnosti pomůcek použitých pro signalizaci, a také funkce ATR dosahuje horších výsledků. Po odstranění uvedených záměr bylo provedeno nové vyrovnání. Zbývající odlehlá měření byla posouzena a u některých byla zhoršena jejich apriorní přesnost tak, aby se také zařadila do výpočtu. Poté, co byla celá síť vyrovnána jako volná, byla provedena Helmertova transformace na těžiště vztažných bodů, jejichž

souřadnice byly určeny ze samostatného vyrovnání vztažné sítě s přípojovacími body. Základní informace o vyrovnání jsou v Tab. 12

| Analýza dat | | Vnitřní přesnost | Vnější přesnost |
|---|-----------------------|---|---------------------|
| σ_{Hz} [mgon] | | 0,148 | 0,165 |
| σ_z [mgon] | | 0,211 | 0,578 |
| $\sigma_{\delta d}$ [mm] | | 0,05 | 0,44 |
| Základní informace | | Vyrovnání | Trans. s vyrovnáním |
| Metoda robustního odhadu | | Huber | Huber |
| Hladina významnosti | | 0,01 | 0,01 |
| Apriorní směrodatné odchylky | | vnější přesnost | 0,1 mm |
| | | uvnitř chodby $\sigma_{Hz} = 0,3 \text{ mgon}$ | |
| | | venku $\sigma_z = 0,289 \text{ mgon}$ | |
| | | u 17 měření upravená | |
| Odlehle veličiny | celkový počet | 7/828 | 0/15 |
| | vod. směr / souř. X | 5/276 | 0/5 |
| | zenit. úhel / souř. Y | 2/276 | 0/5 |
| | šikmá délka / souř. Z | 0/276 | 0/5 |
| Nadbytečné veličiny | | 720 | 11 |
| Aposteriorní jednotková směrodatná odchylka | | 0,875 | 0,753 |
| Počet transformovaných bodů | | | 30 |
| Souřadnicová směr. od. (5) | | 0,16 mm | 0,16 mm |

Tab. 12 Základní etapa – základní informace o společném zpracování všech měření

5.3.3 Vyrovnání měření v revizní chodbě

Vyrovnání samostatného zaměření pozorovaných bodů uvnitř revizní chodby proběhlo stejným postupem jako předešlé dvě vyrovnání. V rámci analýzy vnější přesnosti sítě nemohla být z důvodu absence trojúhelníků spočtena směrodatná odchylka pro vodorovné směry, proto byla pro první výpočet použita opět přesnost udávaná výrobcem, která činí 0,3 mgon. Síť byla opět vyrovnána jako volná. Vzhledem k nízké aposteriorní jednotkové odchylce (okolo 0,6) určené z vyrovnání byla provedena řada výpočtů s různě nastavenými

přesnostmi. V chodbě byla provedena pouze 4 obousměrná měření, proto nejsou vypočtené vnější přesnosti příliš objektivní. Přesnost by bylo v daném případě vhodné volit na základě získaných zkušeností. V našem případě byla finální volba přesností provedena na základě několika testovacích vyrovnání s různými přesnostmi. Dosažená aposteriorní jednotková směrodatná odchylka byla stále menší než 1, což ukazuje na podhodnocení měření. Aposteriorní přesnost může být v tomto případě mírně zkreslená, neboť většina pozorovaných bodů je zaměřena pouze z jednoho stanoviska, a proto se zde případné chyby v měření neprojeví. V důsledku toho, se může zdát měření přesnější, než doopravdy je. Po vyrovnání byla provedena Helmertova transformace na body v zavázání (bod 81 a 102), jejichž souřadnice byly určeny ze společného vyrovnání. Základní informace o finálním vyrovnání jsou opět v Tab. 13

| Analýza dat | | Vnitřní přesnost | Vnější přesnost |
|--|-----------------------|----------------------------------|---------------------|
| σ_{Hz} [mgon] | | 0,158 | - |
| σ_z [mgon] | | 0,223 | 0,925 |
| σ_{sd} [mm] | | 0,05 | 0,36 |
| Základní informace | | Vyrovnání | Trans. s vyrovnáním |
| Metoda robustního odhadu | | Huber | Huber |
| Hladina významnosti | | 0,01 | 0,01 |
| Apriorní směrodatné odchylky | | $\sigma_{Hz} = 0,2 \text{ mgon}$ | 0,2 mm |
| | | $\sigma_z = 0,5 \text{ mgon}$ | |
| | | $\sigma_{sd} = 0,5 \text{ mm}$ | |
| | | u 8 měření upravená | |
| Odhlelé veličiny | celkový počet | 11/540 | 0/6 |
| | vod. směr / souř. X | 6/180 | 0/2 |
| | zenit. úhel / souř. Y | 3/180 | 0/2 |
| | šikmá délka / souř. Z | 2/180 | 0/2 |
| Nadbytečné veličiny | | 457 | 2 |
| Aposterioorní jednotková směrodatná odchylka | | 0,842 | 0,869 |
| Počet transformovaných bodů | | 23 | |
| Souřadnicová směr. od. (5) | | 0,13 mm | 0,13 mm |

Tab. 13 Základní etapa – základní informace o zpracování měření z revizní chodby



5.4 Zpracování ověřovací etapy

Zpracování ověřovací etapy bylo provedeno stejně jako u základní etapy. Jelikož informace o stabilitě vztažných bodů jsou 40 let staré, byla opět všechna vyrovnání provedena jako volná s následnou Helmertovou transformací. Transformace byla provedena na souřadnice bodů určené v základní etapě. Vzhledem k pozdější úpravě přesnosti viz kapitola 6.1 nebyla robustní analýza při transformaci použita. Pokud by se během zhodnocení stability bodů projevil některý bod jako nestabilní a bylo by vhodné odstranit ho z identických bodů, byl by proveden nový výpočet. Výsledné souřadnice s dosaženými přesnostmi ze všech variant zpracování se nacházejí opět v tištěné příloze. Základní informace o provedených vyrovnáních jsou v podkapitolách uvedených níže.

5.4.1 Vyrovnání vztažné sítě spolu s přípojovacími body

Po spuštění vyrovnání s nastavenou vnější přesností bylo robustní analýzou označeno 7 odlehlých měření. U 6 z detekovaných měření se stejně jako v základní etapě vyskytoval v záměře bod M. V tomto případě se však jednalo převážně o šikmé délky, zatímco v základní etapě převažovaly vodorovné směry. Bod M není oproti ostatním stíněný žádnou vegetací, jelikož bylo během měření slunečno a občas zataženo, projevil se zde nejspíše více vliv refrakce. Detekovaná měření se neshodovala s odlehlými měřeními v základní etapě. Odlehlá měření byla z výpočtu vyloučena. Byla provedena Helmertova transformace na těžiště všech vztažných bodů. Základní informace o vyrovnání jsou v Tab. 14.

| Analýza dat | | Vnitřní přesnost | Vnější přesnost |
|---|-----------------------|------------------|---------------------|
| σ_{Hz} [mgon] | | 0,173 | 0,198 |
| σ_z [mgon] | | 0,154 | 0,362 |
| $\sigma_{\text{šd}}$ [mm] | | 0,07 | 0,43 |
| Základní informace | | Vyrovnání | Trans. s vyrovnáním |
| Metoda robustního odhadu | | Huber | |
| Hladina významnosti | | 0,01 | |
| Apriorní směrodatné odchylky | | vnější přesnost | 0,2 |
| Odlehle veličiny | celkový počet | 7/324 | |
| | vod. směr / souř. X | 2/108 | |
| | zenit. úhel / souř. Y | 0/108 | |
| | šikmá délka / souř. Z | 5/108 | |
| Nadbytečné veličiny | | 286 | 11 |
| Aposteriorní jednotková směrodatná odchylka | | 0,982 | 2,143 |
| Počet transformovaných bodů | | | 9 |
| Souřadnicová směr. od. (5) | | 0,14 mm | 0,14 mm |

Tab. 14 Ověřovací etapa – základní informace o zpracování měření vztažné sítě

5.4.2 Společné vyrovnání vztažných i pozorovaných bodů

Nejdříve byla celá síť vyrovnána se všemi měřeními. Stejně jako v základní etapě byla některá měření mezi body 87–87.1 a 99–99.1 označena jako odlehlá a opravy na těchto bodech nabývaly oprav okolo 3 mgon. Aby byl zachován postup zpracování jako v základní etapě, byly opět odstraněny záměry ze stanoviska 87 na bod 87.1 a ze stanoviska 99 na bod 99.1.

Bylo provedeno nové vyrovnání volné sítě, při kterém robustní analýza detekovala celkem 27 odlehlých měření. Ve vztažné síti se jednalo opět o záměry s bodem M, ale v řadě případů se jednalo o jiná měření než při samotném vyrovnání vztažné sítě. Stejně jako při společném vyrovnání v základní etapě byla zhoršena přesnost vodorovných směrů uvnitř chodby na 0,3 mgon a přesnost zenitových úhlu mimo chodbu naopak zlepšena. U měření, která byla označena jako odlehlá, ale nepřejeme si jejich vyloučení z výpočtu, byla zhoršena jejich apriorní směrodatná odchylka. Opět byla provedena Helmertova transformace na těžiště vztažných bodů. Informace o zpracování jsou opět v Tab. 15.

| Analýza dat | | Vnitřní přesnost | Vnější přesnost |
|--|-----------------------|---|---------------------|
| σ_{Hz} [mgon] | | 0,184 | 0,198 |
| σ_z [mgon] | | 0,143 | 0,563 |
| $\sigma_{\text{šd}}$ [mm] | | 0,07 | 0,41 |
| Základní informace | | Vyrovnání | Trans. s vyrovnáním |
| Metoda robustního odhadu | | Huber | |
| Hladina významnosti | | 0,01 | |
| Apriorní směrodatné odchylky | | vnější přesnost | 0,2 mm |
| | | uvnitř chodby $\sigma_{Hz} = 0,3 \text{ mgon}$ | |
| | | venku $\sigma_z = 0,289 \text{ mgon}$ | |
| | | u 15 měření upravená | |
| Odlehlé veličiny | celkový počet | 9/627 | |
| | vod. směr / souř. X | 5/209 | |
| | zenit. úhel / souř. Y | 0/209 | |
| | šikmá délka / souř. Z | 4/209 | |
| Nadbytečné veličiny | | 519 | 11 |
| Aposteriorní jednotková směrodatná odchylka | | 0,936 | 2,317 |
| Počet transformovaných bodů | | | 30 |
| Souřadnicová směr. od. (5) | | 0,17 mm | 0,17 mm |

Tab. 15 Ověřovací etapa – základní informace o společném zpracování všech měření

5.4.3 Vyrovnání měření v revizní chodbě

Vyrovnání bylo provedeno opět shodným způsobem. Apriorní přesnosti nastavené hromadně pro měřené veličiny byly shodné s přesnostmi nastavenými v základní etapě. Základní informace o zpracování jsou v Tab. 16



| Analýza dat | | Vnitřní přesnost | Vnější přesnost |
|--|-----------------------|----------------------------------|---------------------|
| σ_{Hz} [mgon] | | 0,195 | - |
| σ_z [mgon] | | 0,131 | 1,027 |
| $\sigma_{\text{šd}}$ [mm] | | 0,06 | 0,35 |
| Základní informace | | Vyrovnání | Trans. s vyrovnáním |
| Metoda robustního odhadu | | Huber | |
| Hladina významnosti | | 0,01 | |
| Apriorní směrodatné odchylky | | $\sigma_{Hz} = 0,2 \text{ mgon}$ | 0,2 mm |
| | | $\sigma_z = 0,5 \text{ mgon}$ | |
| | | $\sigma_{sd} = 0,5 \text{ mm}$ | |
| | | u 10 měření upravená | |
| Odhledlé veličiny | celkový počet | 6/303 | |
| | vod. směr / souř. X | 6/101 | |
| | zenit. úhel / souř. Y | 0/101 | |
| | šikmá délka / souř. Z | 0/101 | |
| Nadbytečné veličiny | | 227 | 2 |
| Aposteriorní jednotková směrodatná odchylka | | 0,797 | 1,892 |
| Počet transformovaných bodů | | | 23 |
| Souřadnicová směr. od. (5) | | 0,15 mm | 0,15 mm |

Tab. 16 Ověřovací etapa – základní informace o zpracování měření v revizní chodbě

6 Zhodnocení výsledků

6.1 Zhodnocení přesnosti vyrovnaných souřadnic

Přesnosti souřadnic určené z vyrovnání v programu EasyNET jsou díky velkému množství nadbytečných měření poměrně vysoké. Vzhledem k tomu, že mezi etapami byly veškeré centrační a signalizační pomůcky rozpojeny a při nové etapě znovu spojeny a znovu umístěny na bod, je zapotřebí k přesnostem souřadnic započítat také chyby způsobené těmito vlivy. Úprava přesností byla provedena na základě konzultace s vedoucím práce a prof. Ing. Martinem Štronerem, Ph.D. Podle [19] je přesnost nucené centrace při použití čepu s koulí 0,01 mm (stanoviskové body) a při použití válce umístěného do zděře 0,1 mm (pozorované body). U pozorovaných bodů jsou do válcových čepů zasunovány ještě trny, proto byla u těchto bodů přičtena přesnost z centrace dvakrát. Na základě [23] byla ke směrodatným odchylkám stanoviskových bodů přidána ještě přesnost 0,05 mm určená pro opakované umístění přístroje do trojnožky. Jelikož se tato práce zabývá pouze polohovým řešením, nebyla přesnost výšky řešena. Úprava přesnosti byla provedena pro obě polohové souřadnice stejně podle zákona hromadění směrodatných odchylek [17] na základě vzorce

$$\sigma'_i = \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_c^2 + \sigma_u^2}, \quad (7)$$

kde σ_i značí aposteriorní směrodatnou odchylku souřadnic bodu i určenou z vyrovnání, σ_c je přesnost centrace (0,01 mm pro stanoviskové body a 0,1 mm pro pozorované body, u těchto bodů byla přesnost centrace přičtena dvakrát) a σ_u je přesnost opakovaného umístění stroje nebo trnu do trojnožky (použitá jen u stanoviskových bodů). Všechny upravené přesnosti jsou zobrazeny spolu se souřadnicemi v tištěných přílohách.

I přes provedenou úpravu se zdají být přesnosti některých bodů nereálné. Provedená změna přesnosti vychází z informací ze dvou různých dohledaných zdrojů a vychází z předpokladu, že přesnosti určené ze samotného vyrovnání jsou správné. Žádný z použitých materiálů se komplexně touto problematikou nezaobírá. Provedená úprava proto nemusí být zcela objektivní a zajisté by mohla být předmětem hlubšího zkoumání. Vzhledem k tématu této práce byla však provedena pouze úprava přesnosti uvedená výše.

6.2 Porovnání očekávané a dosažené přesnosti

Dosažené směrodatné odchylky upravené podle (7) byly porovnány s přesnostmi stanovenými na základě rozboru přesnosti před měřením viz Tab. 17 z výpočtu vztažné sítě. Tabulky s porovnáním přesností určených ze zbylých variant vyrovnání se nacházejí v tištěných přílohách. Jelikož rozdíly mezi přesnostmi dosaženými v základní a ověřovací etapě byly pouze v řádu setin mm, byly porovnávány pouze přesnosti ze základní etapy.

| Číslo bodu | Základní etapa – vztažná síť s připojovacími body | | | | PrecisPlanner 3D – volná síť | | | | Rozdíl $\sigma_c - \sigma'$ | |
|----------------------------|---|------------|--------------|-------------|------------------------------|------------|-----------------|---------------|--------------------------------|------------------|
| | aposteriorní z vyrovnání | | upravené (7) | | bez vlivu centrace | | centrace 0,2 mm | | | |
| | σ_X | σ_Y | σ_X' | σ_Y' | σ_X | σ_Y | σ_{cX} | σ_{cY} | $\Delta\sigma_X$ | $\Delta\sigma_Y$ |
| | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] |
| M | 0,07 | 0,07 | 0,09 | 0,09 | 0,16 | 0,14 | 0,18 | 0,17 | 0,09 | 0,08 |
| P2 | 0,09 | 0,13 | 0,10 | 0,14 | 0,21 | 0,28 | 0,22 | 0,30 | 0,12 | 0,16 |
| P6 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,20 | 0,16 | 0,23 | 0,21 | 0,13 | 0,12 |
| P7 | 0,10 | 0,12 | 0,11 | 0,13 | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,29 | 0,15 | 0,15 |
| P8 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,11 | 0,20 | 0,22 | 0,23 | 0,25 | 0,12 | 0,14 |
| 87.1 | 0,15 | 0,10 | 0,16 | 0,11 | 0,28 | 0,28 | 0,31 | 0,30 | 0,16 | 0,19 |
| 99.1 | 0,18 | 0,13 | 0,19 | 0,14 | 0,39 | 0,38 | 0,43 | 0,41 | 0,24 | 0,27 |
| kvadratický průměr (6) | 0,13 | 0,13 | 0,16 | 0,12 | 0,25 | 0,25 | 0,28 | 0,28 | 0,15 | 0,16 |
| souřadnicová směr. od. (5) | 0,13 | | 0,14 | | 0,25 | | 0,28 | | 0,16 | |

Tab. 17 Porovnání dosažené a očekávané přesnosti ve vztažné síti

Dosažené přesnosti jsou ve všech variantách vyrovnání výrazně lepší než přesnosti očekávané. Podle vnějších přesností určených při vyrovnání je přesnost měření vodorovných směrů a šikmých délek vyšší než udává výrobce. Tomu také odpovídá vyšší dosažená přesnost. Reálná přesnost bude však horší, neboť ve výsledných souřadnicích se nemusí projevit některé systematické chyby totální stanice, které by byly zčásti odhaleny až při zaměření sítě různými přístroji. Jelikož při určování posunů a deformací je prováděno měření stejným přístrojem, nemají tyto systematické chyby na výsledné posuny velký vliv.

6.3 Vyhodnocení stability bodů

Abychom rozlišili vliv nepřesnosti měření a případný skutečný posun bodu, je nutné provést testování mezietapových posunů. Nejjednodušším způsobem vyhodnocení stability bodů je posouzení dosažených rozdílů v souřadnicích s vypočtenými mezními souřadnicovými rozdíly. Tento postup je však ve většině případů nesprávný. Pokud je přesnost bodu vyjádřena chybovou elipsou s jiným natočením než ve směru os souřadnicového systému, pak by pro posouzení polohového posunu měla být použita plná kovarianční matice z vyrovnání. Program EasyNET 3D kromě uložení parametrů chybových elips do protokolu umožňuje také jejich vykreslení viz Obr. 23. Během zpracování obou etap byly výkresy s chybovými elipsami pro všechny varianty vyrovnání prohlédnuty. Většina chybových elips nebyla natočena ve směru os souřadnicového systému.

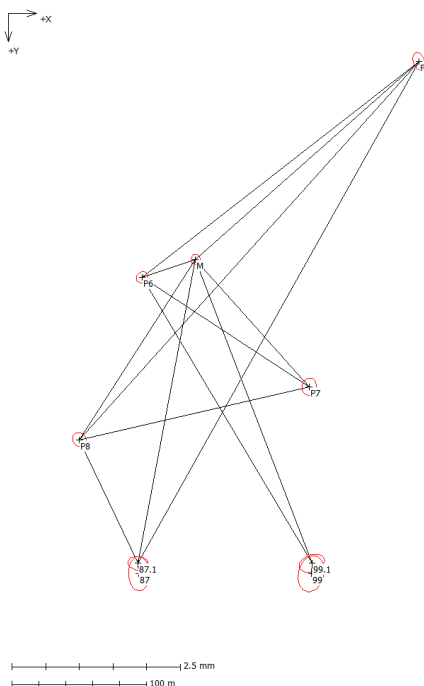
Protože u pozorovaných bodů je pro zadavatele důležitý primárně posun ve směru toku (v místním systému ve směru osy Y), byla u těchto bodů posouzena stabilita pouze pomocí stanovených mezních souřadnicových rozdílů. Posuny vztažných a připojovacích bodů byly vyhodnoceny na základě polohových posunů i posunů v jednotlivých souřadnicích. Pro hodnocení stability byly použity přesnosti upravené podle kapitoly 6.1. Vyhodnocení stability všech bodů je v Tab. 18 a Tab. 19. Body, u kterých byla s pravděpodobností 99 % prokázána nestabilita jsou označeny žlutě. Grafické znázornění posunů, včetně chybových elips získaných z programu EasyNET 3D, se nachází v tištěných přílohách.

Pomocí testování polohového posunu byla s rizikem 1 % prokázána nestabilita vztažných bodů označených P2, P6 a P8. Polohové posuny na těchto bodech dosahovaly maximální hodnoty 0,54 mm. Vzhledem k přirozeným vlivům prostředí jsou posuny zanedbatelné. Pokud by byly posuny na těchto bodech prokázány i v dalších etapách, bylo by vhodné provést fixaci sítě na bodě M a P7. Dále byla prokázána s rizikem 1 % polohová nestabilita připojovacích bodů 87.1, 99.1 a 87. Polohový posun na bodě 87 byl 1,63 mm a je pravděpodobně způsoben změnou trnu s hranolem mezi oběma etapami.

Posun bodu 87 byl prokázán se stejným rizikem také ve výsledcích z vyrovnání celé sítě. Na výsledcích z toho vyrovnání je patrné, že chyba z nepřesnosti pomůcek vzniklá na tomto bodě se nejspíše šířila dál a zapříčinila vznik posunu v souřadnici Y také u bodů 81 až 88. Na bodě 82 dosahuje posun hodnoty dokonce 4,32 mm. Záměra na tento bod je velmi

strmá a dosahuje délky pouze 3,5 m. Kromě toho byl pro signalizaci tohoto bodu použitý vyšší trn. Jednoznačnou příčinu tohoto posunu se nepodařilo zjistit.

Při vyrovnání měření provedených pouze v revizní chodbě byly prokázány s rizikem 1 % posuny v ose Y u všech bodů kromě bodu 81,98,100,101,102. Jedná se pouze o posuny relativní a jejich správnost bude objasněna v kapitole 6.4.



Obr. 23 Výkres s chybovými elipsami z vyrovnání vztážné sítě v základní etapě

6.3.1 Vyhodnocení stability pomocí mezního souřadnicového rozdílu

Na základě směrodatných odchylek určených při vyrovnání a upravených podle (7) byly vypočteny mezní souřadnicové rozdíly

$$\Delta_{Mi} = u_{(1-\alpha/2)} \cdot \sqrt{\sigma_{i0}^2 + \sigma_{i1}^2}, \quad (8)$$

kde $u_{(1-\alpha/2)}$ je koeficient spolehlivosti na zvolené hladině významnosti $\alpha = 1\%$ ($u_{(1-\alpha/2)} = 2,5$) a σ_{ix} je směrodatná odchylka bodu i v etapě označené x . Mezní hodnoty byly spočteny pro obě polohové souřadnice zvlášť. Volba koeficientu spolehlivosti závisí na složitosti a také na důležitosti daného měření. Jelikož se jedná o měření posunů a přetvoření,

kteřé je z hlediska bezpečnosti velmi důležité, byl zvolen koeficient 2,5. Pokud by se jednalo o měření ovlivněné systematickými chybami, které lze těžko vyloučit, byl by volen koeficient vyšší. Vyhodnocení bylo provedeno v programu Excel. [16][17]

6.3.2 Vyhodnocení stability pomocí polohového posunu

Zhodnocení stability bodů (posouzení souřadnicových, polohových a prostorových rozdílů) mezi dvěma etapami je možné snadno provést pomocí programu EasyNET Analyser. Vstupními soubory jsou výsledky z vyrovnání jednotlivých etap v programu EasyNET, které jsou uloženy v textovém formátu s příponou .epc. Hlavním obsahem toho souboru jsou vyrovnané souřadnice bodů a jejich kovarianční matice. [24]

Výsledky z vyrovnání vztažné sítě v obou etap byly uloženy do potřebného formátu a nahrány do programu EasyNET Analyser. Porovnání obou etap bylo provedeno na hladině významnosti 1 %. Na základě analýzy posunů byla s pravděpodobností 99 % prokázána polohová nestabilita u všech bodů kromě bodu M, P7 a 99 viz Obr. 24. Protože výpočet proběhl s přesnostmi určenými přímo z vyrovnání, nikoliv s těmi upravenými podle kapitoly 6.1, bylo rozhodnuto napsat vlastní výpočetní skript pro posouzení stability bodů pomocí polohových posunů.

| Bod | Posuny | | | | |
|-------|--------|--------|--------|---------------|-----------------|
| Číslo | X [mm] | Y [mm] | Z [mm] | Polohový [mm] | Prostorový [mm] |
| M | -0.05 | 0.00 | 0.37 | 0.05 | 0.37 |
| 87 | 1.16 | 1.15 | -0.14 | 1.63 | 1.64 |
| 99 | -0.06 | 0.40 | 0.73 | 0.40 | 0.83 |
| P2 | 0.30 | -0.45 | -0.91 | 0.54 | 1.06 |
| P6 | -0.17 | -0.45 | 0.30 | 0.48 | 0.56 |
| P7 | 0.00 | 0.45 | 0.04 | 0.45 | 0.45 |
| P8 | -0.09 | 0.44 | 0.21 | 0.45 | 0.50 |
| 87.1 | 0.57 | -0.34 | 0.67 | 0.67 | 0.94 |
| 99.1 | -0.16 | 0.69 | 1.09 | 0.71 | 1.30 |
| 9 | 2 / 2 | 4 / 4 | 1 / 1 | 6 / 6 | 6 / 6 |

Obr. 24 Analýza posunů ve vztažné síti v programu EasyNET Analyser

Výpočetní skript byl napsán v programu Matlab a umožňuje nahrání souřadnic a kovarianční matice z textového souboru s příponou .epc uloženého z programu EasyNET 3D. Kovarianční matice uložená v souboru se skládá pouze z diagonály a prvků nad diagonálou. Jelikož celá kovarianční matice je čtvercová a symetrická, byla matice o zbylé prvky doplněna. Na diagonále matice se nachází variance (kvadráty směrodatných

odchylek) vyjadřující přesnost souřadnic. Tyto prvky byly podle (7) upraveny. Následně byla vypočtena kovarianční matice popisující přesnost polohových posunů podle vztahu [24]

$$S = F^T \cdot M \cdot F, \quad (9)$$

kde M značí kovarianční matici z vyrovnání a F je matice parciálních derivací funkcí neznámých. Směrodatná odchylka polohových posunů pak byla vypočtena jako odmocnina z prvků na diagonále matice S. Podrobnější vysvětlení výpočtu viz [24]. Mezní hodnota posunu byla vypočtena podle vzorce

$$\Delta M_i = u_{(1-\alpha/2)} \cdot \sigma_p, \quad (10)$$

kde $u_{(1-\alpha/2)}$ je koeficient spolehlivosti na zvolené hladině významnosti $\alpha = 1\%$ ($u_{(1-\alpha/2)} = 2,5$) a σ_p je směrodatná odchylka polohového posunu. Testování polohového posunu se stanoveným mezním rozdílem je v Tab. 18. Výpočetní skript lze nalézt v příloze.

Pro ověření správnosti zpracování byl proveden také výpočet bez upravených přesností a výsledky byly porovnány s mezními hodnotami vypočtenými v programu EasyNET Analyser. Výsledky z vlastního výpočetního skriptu odpovídaly, až na výjimečné rozdíly v setinách mm způsobené pravděpodobně zaokrouhlením, hodnotám určeným v programu EasyNET Analyser.

| Číslo bodu | Posun ověřovací ku základní | | | Mezní rozdíly upravené | | | Polohový posun | Směrodatná odchylka | Mezní odchylka |
|------------|-----------------------------|------------|------------|------------------------|--------------|--------------|----------------|---------------------|----------------|
| | ΔX | ΔY | ΔZ | ΔM_X | ΔM_Y | ΔM_Z | | | |
| | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | | | |
| M | -0,05 | 0,00 | 0,36 | 0,31 | 0,31 | | 0,05 | 0,12 | 0,30 |
| P2 | 0,30 | -0,45 | -0,91 | 0,37 | 0,51 | | 0,54 | 0,16 | 0,40 |
| P6 | -0,17 | -0,45 | 0,29 | 0,34 | 0,34 | | 0,48 | 0,13 | 0,32 |
| P7 | 0,00 | 0,45 | 0,04 | 0,41 | 0,48 | | 0,45 | 0,19 | 0,48 |
| P8 | -0,08 | 0,45 | 0,21 | 0,41 | 0,38 | | 0,45 | 0,15 | 0,38 |
| 87.1 | 0,57 | -0,35 | 0,67 | 0,58 | 0,38 | | 0,67 | 0,20 | 0,51 |
| 99.1 | -0,16 | 0,70 | 1,09 | 0,70 | 0,48 | | 0,71 | 0,22 | 0,55 |
| 87 | 1,17 | 1,14 | -0,14 | 0,58 | 0,82 | | 1,63 | 0,29 | 0,72 |
| 99 | -0,06 | 0,39 | 0,73 | 0,71 | 0,85 | | 0,40 | 0,36 | 0,89 |

Tab. 18 Zhodnocení stability z vyrovnání vzažné sítě s připojovacími body

| Číslo bodu | Společné vyrovnání | | | | | Vyrovnání chodby | | | | |
|------------|-----------------------------|------------|------------|------------------------|--------------|-----------------------------|------------|------------|------------------------|--------------|
| | Posun ověřovací ku základní | | | Mezní rozdíly upravené | | Posun ověřovací ku základní | | | Mezní rozdíly upravené | |
| | ΔX | ΔY | ΔZ | ΔM_X | ΔM_Y | ΔX | ΔY | ΔZ | ΔM_X | ΔM_Y |
| | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] |
| M | -0,10 | -0,05 | 0,33 | 0,54 | 0,51 | / | / | / | / | / |
| P2 | 0,25 | -0,23 | -0,91 | 0,94 | 0,70 | / | / | / | / | / |
| P6 | -0,19 | -0,55 | 0,24 | 0,54 | 0,58 | / | / | / | / | / |
| P7 | -0,06 | 0,33 | 0,02 | 0,48 | 0,63 | / | / | / | / | / |
| P8 | 0,09 | 0,50 | 0,31 | 0,40 | 0,66 | / | / | / | / | / |
| 87.1 | 0,64 | -0,48 | 0,90 | 0,32 | 0,53 | / | / | / | / | / |
| 99.1 | 0,55 | 0,08 | 0,69 | 0,40 | 0,51 | / | / | / | / | / |
| 81 | 0,61 | 2,47 | 0,12 | 1,06 | 0,98 | 0,17 | 0,00 | -0,13 | 1,09 | 0,55 |
| 82 | 0,38 | 4,32 | -1,83 | 0,99 | 0,88 | -0,07 | 1,99 | -2,09 | 1,02 | 0,54 |
| 83 | 0,72 | 1,56 | 0,20 | 1,02 | 0,80 | 0,27 | -0,72 | -0,05 | 1,05 | 0,52 |
| 84 | -0,10 | 1,50 | 0,06 | 0,42 | 0,61 | -0,54 | -0,71 | -0,19 | 0,43 | 0,20 |
| 85 | 0,16 | 1,49 | 0,20 | 0,72 | 0,72 | -0,33 | -0,64 | -0,04 | 0,73 | 0,51 |
| 86 | -0,10 | 1,28 | 0,28 | 0,73 | 0,67 | -0,50 | -0,75 | 0,03 | 0,74 | 0,51 |
| 87 | 1,23 | 0,98 | 0,11 | 0,32 | 0,41 | 0,85 | -0,91 | -0,13 | 0,34 | 0,20 |
| 88 | 0,84 | 0,77 | 0,15 | 0,72 | 0,59 | 0,41 | -1,00 | -0,09 | 0,73 | 0,52 |
| 89 | 0,25 | 0,53 | 0,11 | 0,85 | 0,59 | -0,13 | -1,07 | -0,13 | 0,88 | 0,53 |
| 90 | 0,35 | 0,37 | 0,22 | 0,85 | 0,63 | -0,02 | -1,09 | -0,02 | 0,88 | 0,54 |
| 91 | 0,32 | 0,14 | 0,29 | 0,85 | 0,67 | -0,05 | -1,17 | 0,05 | 0,88 | 0,57 |
| 92 | 0,09 | -0,25 | -0,11 | 0,85 | 0,75 | -0,27 | -1,41 | -0,35 | 0,88 | 0,60 |
| 93 | 0,59 | -0,42 | 0,19 | 0,72 | 0,62 | 0,06 | -1,45 | -0,23 | 0,72 | 0,54 |
| 94 | 0,29 | -0,48 | 0,29 | 0,37 | 0,41 | 0,01 | -1,38 | -0,13 | 0,38 | 0,25 |
| 95 | 0,34 | -0,58 | 0,29 | 0,74 | 0,64 | 0,09 | -1,36 | -0,14 | 0,77 | 0,53 |
| 96 | 0,15 | -0,24 | 0,48 | 0,74 | 0,68 | -0,08 | -0,95 | 0,04 | 0,77 | 0,53 |
| 97 | 0,21 | -0,29 | 0,52 | 0,90 | 0,68 | -0,05 | -0,77 | 0,06 | 0,96 | 0,52 |
| 98 | 0,38 | -0,02 | 0,42 | 0,90 | 0,70 | 0,14 | -0,36 | -0,04 | 0,94 | 0,51 |
| 99 | 0,69 | -0,22 | 0,33 | 0,40 | 0,59 | 0,46 | -0,42 | -0,15 | 0,46 | 0,20 |
| 100 | 0,31 | 0,13 | 0,46 | 0,90 | 0,81 | 0,08 | 0,05 | -0,01 | 0,94 | 0,53 |
| 101 | 0,32 | 0,15 | 0,28 | 0,90 | 0,87 | 0,08 | 0,20 | -0,19 | 0,96 | 0,54 |
| 102 | 0,06 | -0,12 | 0,60 | 0,90 | 0,93 | -0,17 | 0,00 | 0,13 | 0,96 | 0,56 |
| 4001 | 0,58 | 1,77 | 0,15 | 0,58 | 0,70 | 0,14 | -0,55 | -0,11 | 0,59 | 0,22 |

Tab. 19 Zhodnocení stability ze společného vyrovnání a z vyrovnání samotné revizní chodby

6.4 Zhodnocení různých způsobů vyrovnání

Posuny určené z vyrovnání samotné vztažné sítě (varianta č. 1) a ze zaměření revizní chodby (varianta č. 2) byly porovnány s posuny určenými z vyrovnání celé sítě (varianta č. 3) viz Tab. 21.

Z porovnání je patrné, že posuny vztažných bodů určené z varianty 1 a 3 se od sebe ve většině případů příliš neliší. Při samotném vyrovnání vztažné sítě byly prokázány s rizikem 1 % posuny dvou vztažných bodů, vlivem nižší dosažené přesnosti nebyly tyto posuny při vyrovnání celé sítě prokázány. Vliv propojení vztažné sítě přes měření uvnitř hráze je zřejmý na přípojovacích bodech na pravé straně hráze (body 99.1 a 99). Rozdíly mezi posuny těchto bodů se pohybují v polohových souřadnicích okolo 0,7 mm.

Posuny pozorovaných bodů určené ve variantě č. 2 a č. 3 se od sebe velmi liší. Je patrné že rozdíly mají systematický charakter. Pro nalezení jednoznačné příčiny těchto rozdílů, byly porovnány souřadnice vypočtené z obou variant v jednotlivých etapách. V základní etapě dosahují rozdíly v souřadnicích pozorovaných bodů maximálně hodnoty 0,2 mm. Vzhledem k tomu, že při vyrovnání revizní chodby byla provedena Helmertova transformace na body určené z vyrovnání celé sítě, byly malé rozdíly v souřadnicích očekávány. Z porovnání výsledků z první etapy viz Tab. 20 je patrné, že rozdíly mezi oběma variantami lineárně stoupají od bodu 102 k bodu 81. Podstatná část odchylek mezi variantami je způsobená pouze rozdílem v souřadnici Y u bodu 81.

| Číslo bodu | ΔX | ΔY | Číslo bodu | ΔX | ΔY | Číslo bodu | ΔX | ΔY |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | [mm] | [mm] | | [mm] | [mm] | | [mm] | [mm] |
| 81 | -0,2 | -2,5 | 89 | -0,2 | -1,7 | 97 | -0,5 | -0,5 |
| 82 | -0,3 | -2,3 | 90 | -0,2 | -1,5 | 98 | -0,5 | -0,3 |
| 83 | -0,3 | -2,3 | 91 | -0,2 | -1,3 | 99 | -0,4 | -0,2 |
| 84 | -0,2 | -2,2 | 92 | -0,1 | -1,2 | 100 | -0,5 | 0,0 |
| 85 | -0,3 | -2,1 | 93 | -0,4 | -1,1 | 101 | -0,4 | 0,1 |
| 86 | -0,2 | -2,0 | 94 | -0,4 | -1,0 | 102 | -0,4 | 0,2 |
| 87 | -0,2 | -1,9 | 95 | -0,4 | -0,8 | 4001 | -0,3 | -2,4 |
| 88 | -0,2 | -1,8 | 96 | -0,4 | -0,8 | | | |

Tab. 20 Porovnání výsledků ze společného vyrovnání a ze samotného vyrovnání chodby – ověřovací etapa

| Číslo bodu | Posun - ověřovací etapy ku základní etapě | | | | | | Rozdíly | | |
|------------|---|------------|------------|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | ΔX | ΔY | ΔZ | ΔX | ΔY | ΔZ | ΔX | ΔY | ΔZ |
| | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] |
| | společné vyrovnání | | | vyrovnání vztažné sítě | | | | | |
| M | -0,10 | -0,05 | 0,33 | -0,05 | 0,00 | 0,36 | -0,05 | -0,05 | -0,03 |
| P2 | 0,25 | -0,23 | -0,91 | 0,30 | -0,45 | -0,91 | -0,05 | 0,22 | 0,00 |
| P6 | -0,19 | -0,55 | 0,24 | -0,17 | -0,45 | 0,29 | -0,02 | -0,10 | -0,05 |
| P7 | -0,06 | 0,33 | 0,02 | 0,00 | 0,45 | 0,04 | -0,06 | -0,12 | -0,02 |
| P8 | 0,09 | 0,50 | 0,31 | -0,08 | 0,45 | 0,21 | 0,17 | 0,05 | 0,10 |
| 87.1 | 0,64 | -0,48 | 0,90 | 0,57 | -0,35 | 0,67 | 0,07 | -0,13 | 0,23 |
| 99.1 | 0,55 | 0,08 | 0,69 | -0,16 | 0,70 | 1,09 | 0,71 | -0,62 | -0,40 |
| 87 | 1,23 | 0,98 | 0,11 | 1,17 | 1,14 | -0,14 | 0,06 | -0,16 | 0,25 |
| 99 | 0,69 | -0,22 | 0,33 | -0,06 | 0,39 | 0,73 | 0,75 | -0,61 | -0,40 |
| | společné vyrovnání | | | vyrovnání chodby | | | | | |
| 81 | 0,61 | 2,47 | 0,12 | 0,17 | 0,00 | -0,13 | 0,44 | 2,47 | 0,25 |
| 82 | 0,38 | 4,32 | -1,83 | -0,07 | 1,99 | -2,09 | 0,45 | 2,33 | 0,26 |
| 83 | 0,72 | 1,56 | 0,20 | 0,27 | -0,72 | -0,05 | 0,45 | 2,28 | 0,25 |
| 84 | -0,10 | 1,50 | 0,06 | -0,54 | -0,71 | -0,19 | 0,44 | 2,21 | 0,25 |
| 85 | 0,16 | 1,49 | 0,20 | -0,33 | -0,64 | -0,04 | 0,49 | 2,13 | 0,24 |
| 86 | -0,10 | 1,28 | 0,28 | -0,50 | -0,75 | 0,03 | 0,40 | 2,03 | 0,25 |
| 87 | 1,23 | 0,98 | 0,11 | 0,85 | -0,91 | -0,13 | 0,38 | 1,89 | 0,24 |
| 88 | 0,84 | 0,77 | 0,15 | 0,41 | -1,00 | -0,09 | 0,43 | 1,77 | 0,24 |
| 89 | 0,25 | 0,53 | 0,11 | -0,13 | -1,07 | -0,13 | 0,38 | 1,60 | 0,24 |
| 90 | 0,35 | 0,37 | 0,22 | -0,02 | -1,09 | -0,02 | 0,37 | 1,46 | 0,24 |
| 91 | 0,32 | 0,14 | 0,29 | -0,05 | -1,17 | 0,05 | 0,37 | 1,31 | 0,24 |
| 92 | 0,09 | -0,25 | -0,11 | -0,27 | -1,41 | -0,35 | 0,36 | 1,16 | 0,24 |
| 93 | 0,59 | -0,42 | 0,19 | 0,06 | -1,45 | -0,23 | 0,53 | 1,03 | 0,42 |
| 94 | 0,29 | -0,48 | 0,29 | 0,01 | -1,38 | -0,13 | 0,28 | 0,90 | 0,42 |
| 95 | 0,34 | -0,58 | 0,29 | 0,09 | -1,36 | -0,14 | 0,25 | 0,78 | 0,43 |
| 96 | 0,15 | -0,24 | 0,48 | -0,08 | -0,95 | 0,04 | 0,23 | 0,71 | 0,44 |
| 97 | 0,21 | -0,29 | 0,52 | -0,05 | -0,77 | 0,06 | 0,26 | 0,48 | 0,46 |
| 98 | 0,38 | -0,02 | 0,42 | 0,14 | -0,36 | -0,04 | 0,24 | 0,34 | 0,46 |
| 99 | 0,69 | -0,22 | 0,33 | 0,46 | -0,42 | -0,15 | 0,23 | 0,20 | 0,48 |
| 100 | 0,31 | 0,13 | 0,46 | 0,08 | 0,05 | -0,01 | 0,23 | 0,08 | 0,47 |
| 101 | 0,32 | 0,15 | 0,28 | 0,08 | 0,2 | -0,19 | 0,24 | -0,05 | 0,47 |
| 102 | 0,06 | -0,12 | 0,60 | -0,17 | 0,00 | 0,13 | 0,23 | -0,12 | 0,47 |
| 4001 | 0,58 | 1,77 | 0,15 | 0,14 | -0,55 | -0,11 | 0,44 | 2,32 | 0,26 |

Tab. 21 Porovnání posunů určených z různých variant vyrovnání



6.5 Shrnutí

Výsledkem provedených měření jsou souřadnice vztažných a pozorovaných bodů. Přesnost určená z vyrovnání odpovídá konkrétní provedené centraci a signalizaci na bodech v dané etapě. Při určování posunů je zapotřebí neopomenout, že při opětovném osazení bodů měřickými pomůckami se dopouštíme drobných, ale nezanedbatelných chyb. Aposteriorní směrodatné odchylky z vyrovnání proto byly o chyby způsobené centrací a opakovaným spojováním měřicích pomůcek zhoršeny. Dosažené přesnosti i po provedené opravě splňují přesnost stanovenou apriorním modelem měření.

Vzhledem ke krátkému časovému rozmezí mezi etapami a podobným teplotním podmínkám nejsou žádné posuny bodů očekávány. U pozorovaných bodů je podstatný posun ve směru toku (případně kolmo na tok), proto zde bylo provedeno posouzení stability pouze pomocí mezních souřadnicových rozdílů. Stabilita vztažných bodů byla navíc testována také mezním polohovým posunem. Z důvodu úpravy přesnosti nemohlo být pro výpočet použito programu EasyNET Analyser. Tento program posloužil pouze pro kontrolu správnosti výpočtu vlastního skriptu vytvořeného v programu Matlab. Vytvořený skript umožňuje na základě souřadnic a kovarianční matice z vyrovnání otestovat stabilitu bodů pomocí mezního polohového posunu.

Mezi výsledky z vyrovnání samotné vztažné sítě a ze společného vyrovnání jsou pouze nepatrné rozdíly v mezích dosažené přesnosti. Ve vztažné síti nebyly žádné zásadní posuny prokázány.

Při společném zpracování byly uvnitř hráze prokázány posuny pozorovaných bodů v levé části revizní chodby. Tyto posuny zřejmě vůbec nenastaly a jsou způsobeny záměnou trnu s hranoly na stanovisku 87 během obou etap. Mohlo se samozřejmě jednat také o vznik refrakce během měření, na který výrazně upozorňovali naši předchůdci. Jednoznačná příčina těchto posunů nebyla zjištěna. V pravé části chodby nebyly žádné zásadní posuny zjištěny, výsledky se jeví jako věrohodné a splňují požadovanou přesnost. Bohužel správnost provedeného měření v revizní chodbě není možné nijak dále zkontrolovat. Vzhledem k pochybení na bodě 87 navrhuji provést zaměření ještě jedné etapy, které při zachování shodného postupu a pomůcek pomůže rozhodnout, zda je měření uvnitř chodby pro sledování posunů a deformací vhodné.



Posuny určené z vyrovnání samotné revizní chodby jsou pouze relativní. V případě nestability některého z koncových bodů (na které je prováděna Helmertova transformace) dochází ke značnému zkreslení výsledků, které je bez dalšího měření jen těžko zjistitelné. Rozdíly mezi posuny určenými ze společného vyrovnání a z vyrovnání samotné chodby jsou značné a jsou způsobeny právě změnou souřadnic koncového bodu 81. Nemáme žádné podrobné informace o způsobu stabilizace koncových bodů, ani nebyly nalezeny záznamy, které by dokazovaly jejich dlouhodobou polohovou stálost. Pokud nebude jejich polohová stálost v několika po sobě jdoucích etapách prokázána, není vhodné z výše uvedených důvodů provádět zaměření a zpracování pouze revizní chodby (bez měření vztažné sítě a připojovacích bodů).

Závěr

Tato diplomová práce se zabývá obnovou měření ve vybrané části původní geodetické sítě VD Slapy. Pro měření bylo vybráno 5 vztažných bodů a pozorované body nacházející se ve 4. revizní chodbě. Zaměření bylo provedeno ve dvou etapách s odstupem jednoho měsíce. Aby bylo možné v budoucnu na měření navázat dalším etapovým měřením, bylo pro zaměření využito pouze vybavení firmy VODNÍ DÍLA – TBD a.s.

Z důvodu nedostatku pomůcek musely být stanoviskové i pozorované body osazovány centračními a signalizačními pomůckami postupně. Při návrhu systému osazení jsme se dopustili chyby. V důsledku toho byly na bodě 87 během zaměření základní etapy použity dva různé trny s hranoly. Tato chyba značně ztížila posuzování stability bodů mezi etapami a tím i celé hodnocení provedeného měření. Během zaměření první etapy byla již zásada použití shodných pomůcek na bodech dodržena.

Data z měření byla zpracována pro obě části geodetické sítě zvlášť a také bylo provedeno společné vyrovnání celé sítě. Protože nalezené informace o stabilitě vztažných bodů jsou 40 let staré, byla síť ve všech variantách výpočtu vyrovnána jako volná s následnou Helmertovou transformací na těžiště identických bodů. Zpracování bylo provedeno v programu EasyNET 3D. Přesnosti určené z vyrovnání byly zhoršeny o vliv centrace a chyby způsobené opakovaným upínáním přístroje či trnu do trojnožky.

Zpracování měření ze samotné vztažné sítě proběhlo v pořádku. Robustní analýzou bylo detekováno pouze několik odlehlých měření. V síti byly prokázány jen minimální posuny, těsně nad hranicí prokazatelnosti.

Během společného vyrovnání celé sítě bylo na základě velikosti oprav u odlehlých měření zjištěno, že konfigurace připojovacích bodů je nevhodná. Byl tak potvrzen předpoklad vytvořený již při apriorním modelu měření. Problematickým místem v síti jsou krátké vzdálenosti mezi připojovacími body ve výklencích hráze. Na krátkých záměrech se na změřených veličinách více projeví vliv případných nepřesností použitých pomůcek a také přesnost funkce ATR dosahuje horších výsledků. Po zvážení různých variant byly nakonec záměry z bodu 87 na bod 87.1 a z bodu 99 na 99.1 z výpočtu odebrány. Při transformaci byly za identické body zvoleny všechny body vztažné sítě. Ze společného vyrovnání celé sítě



s daty z první etapy byly získány souřadnice pozorovaných bodů, které splňují požadovanou přesnost. Jelikož během základní etapy jsme se dopustili chyby na bodě 87, což dokazují i zjištěné posuny v levé části hráze, bylo by vhodné správnost první etapy ověřit novým měřením.

Navrhuji provést zaměření 2. etapy, které potvrdí využitelnost pozorovaných bodů ve 4. revizní chodbě. Měření je nutné provést na základě stejné metodiky měření, se stejným přístrojem a osazení bodů provést pomůckami shodnými s první etapou. Z důvodu potlačení vlivu refrakce doporučuji provést měření v období s podobnou teplotou uvnitř a vně hráze. Pokud by byly výsledky opět neuspokojivé a nekorespondovaly by s předchozími etapami, navrhuji měření uvnitř 4. revizní chodby dále neprovádět.

V takovém případě bych navrhovala umístit pozorované body na vzdušný líc hráze. Zaměření těchto bodů by bylo prováděno z obnovených bodů vztažné sítě. Body doporučuji osadit minihranoly pro možnost využití funkce ATR.

Obnovená část vztažné sítě se skládá pouze z 5 pilířů. Bohužel kvůli terénu a husté vegetaci není mezi některými body vzájemná viditelnost. Vzhledem k tvarové členitosti sítě by bylo vhodné síť doplnit ještě alespoň jedním původním vztažným bodem na pravém břehu. Navrhovala bych obnovit měření na bodě P5, jelikož přístup k němu je snadný, nachází se v horní části údolí a oproti bodu P9 je dále od přehrady.



Seznam použité literatury

- [1] REICHARDT, Jan a Blanka REICHARDTOVÁ, 2006. *Svatojánské proudy*. vlastním nákladem. ISBN 80-239-9230-9.
- [2] PŘEHRADY ČECH, MORAVY A SLEZSKA. Liberec: KNIHY 555 - Vinklátová, 2005. ISBN 80-86660-11-7.
- [3] Vodní elektrárna Slapy, c2019. *Skupina ČEZ* [online]. ČEZ [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/slapy.html>
- [4] VD Slapy [online], 2011. Praha: Povodí Vltavy, státní podnik [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/slapy.pdf>
- [5] VD SLAPY PROGRAM TBD č.4. Praha 1: VODNÍ DÍLA – TBD, 2009.
- [6] Přehrada SLAPY PROGRAM TBD. Praha 1: Vodohospodářský rozvoj a výstavba, 1976.
- [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] STÁTNÍ ÚSTAV PRO PROJEKTOVÁNÍ VODOHOSPODÁŘSKÝCH STAVEB HYDROPROJEKT. *Vodní dílo SLAPY SOUHRNNÝ ELABORÁT: II. VÝKRESOVÁ ČÁST*. Praha, 1961.
- [10] ŠVEC, Mojmír. *VODNÍ DÍLO SLAPY: měření vodorovných posunů 1979–1981*. Praha 6, 1981. Technická zpráva. ČVUT, Fakulta stavební, Katedra speciální geodézie.
- [11] PLÁNIČKA. VODOHOSPODÁŘSKÝ ROZVOJ A VÝSTAVBA. *Kontrolní měření Slapy – obnova bodů*. Praha, 1979.
- [12] SLAPY – DEFORMACE: *Etapa XI., XII., XIII. 1956-57*.



- [13] JAKUBEC, Vítězslav, Antonín PLÁNIČKA a František KRPATA. Problematika přesnosti a určování výstupních frekvencí dálkoměru Kern ME 3000. *Geodetický a kartografický obzor*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1987, **33/75**(3), 75.
- [14] *Slapy – polygon 1954: deformace*. Přehled měření deformací ve Slapech. Etapa I. – V., rok 1954.
- [15] ŠVEC, Mojmír. *SLAPY – deformace: Trigonometrie XXI. etapa*. Praha 6, 1983. Technická zpráva. ČVUT, Fakulta stavební, Katedra speciální geodézie.
- [16] ČSN 73 0405. *Měření posunů stavebních objektů*. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [17] HAMPACHER, Miroslav a Martin ŠTRONER. *Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii*. Vydání druhé, upravené a doplněné. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2015. ISBN 978-80-01-05843-5.
- [18] ŠTRONER, Martin. *Popis programu PrecisPlanner 3D v3.1.0*. Praha 6, 2012.
- [19] PROCHÁZKA, Jaromír. *SYLABUS 5. PŘEDNÁŠKY Z INŽENÝRSKÉ GEODÉZIE: Měření a vytyčování úhlů a svislic*. Praha, 2015. ČVUT.
- [20] *Leica TM30 Technical Data* [online]. 2009. Heerbrugg, Switzerland: Leica Geosystems, 2009 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: https://www.precision-geosystems.com/?media_dl=285
- [21] TŘASÁK, Pavel. *Softwarová dokumentace EasyNET verze 3.5.1*. Praha, 2016.
- [22] TŘASÁK, Pavel. *Simulace, modelování a statistické zpracování geodetických měření*. Praha, 2013. Disertace. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.
- [23] VANĚČEK, Jan a Martin ŠTRONER. Experimentální určení přesnosti optické centrace. *Geodetický a kartografický obzor* [online]. 2011, **57/99**(6), 131 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://archivnimapy.cuzk.cz/zemvest/cisla/Rok201106.pdf>
- [24] ŠTRONER, Martin a Jitka SUCHÁ. *Kovarianční matice a výpočty* [online]. 2007 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: http://k154.fsv.cvut.cz/vyuka/geodezie/ing2/kovariancni_matice.pdf
- [25] TŘASÁK, Pavel. *Softwarová dokumentace EasyNET Analyser verze 1.1.2*. Praha, 2015.



Seznam zkratek

| | |
|----------|------------------------------|
| ATR | Automatic Target Recognition |
| Bpv | Balt po vyrovnání |
| cm | centimetr |
| ČSN | Česká státní norma |
| ČVUT | České vysoké učení technické |
| Hz | vodorovný směr |
| m n. m. | metry nad mořem |
| m | metr |
| mgon | miligon |
| mm | milimetr |
| šd | šikmá délka |
| TBD | technickobezpečnostní dohled |
| VD | vodní dílo |
| z | zenitový úhel |
| σ | směrodatná odchylka |



Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obr. 1 Stavba přehrady Slapy 15. března 1954 (zdroj: Archiv Honzy a Blanky Reichardtových)..... | 10 |
| Obr. 2 Vodní dílo Slapy – pohled od pilíře M..... | 11 |
| Obr. 3 Schématické znázornění injekční clony (zdroj: http://www.soletanche.cz/technologie_injektaze/) | 12 |
| Obr. 4 Program TBD platný od roku 1976 – druhá část [6] | 16 |
| Obr. 5 Síť pevných bodů [9] | 17 |
| Obr. 6 Polygonové pořady v chodbách – schéma měření ke přímce [9] | 18 |
| Obr. 7 Pozorovaný pilíř číslo 100 uvnitř 4. revizní chodby | 20 |
| Obr. 8 Zkušební povolování krycí destičky na pilíři 8 | 21 |
| Obr. 9 Pilíř M s nucenou centrací pro přístroje Kern | 22 |
| Obr. 10 Ukázka z programu PrecisPlanner – nastavení přesnosti plánovaných měření..... | 27 |
| Obr. 11 Schématický náčrt měření ve 4. revizní chodbě | 30 |
| Obr. 12 Základní sestava pro centraci na stanoviskách – kulový čep, centrační talíř, trojnožka | 33 |
| Obr. 13 Pomůcky pro signalizaci pozorovaných bodů – válcový čep, trn, hranol Leica Mini GMP101..... | 34 |
| Obr. 14 Osazený pilíř číslo 7 | 36 |
| Obr. 15 Náčrt zaměřené části vztažné sítě a připojovacích bodů | 37 |
| Obr. 16 Leica TM30 na bodě 4001 (centrace pomocí NCC Grid) | 38 |
| Obr. 17 Měření na stanovisku 87 (měřič Markéta Kubelová) | 40 |
| Obr. 18 Ukázka z vyexportovaného souboru ve formátu GSI..... | 41 |
| Obr. 19 Ukázka z vyexportovaného souboru ve formátu APP..... | 42 |
| Obr. 20 Příprava vstupní formátu MTX pro program EasyNET | 42 |
| Obr. 21 Zpracování základní etapy v programu EasyNET 3D..... | 43 |
| Obr. 22 Informace o vyrovnání celé sítě v základní etapě – z programu EasyNET 3D..... | 49 |
| Obr. 23 Výkres s chybovými elipsami z vyrovnání vztažné sítě v základní etapě..... | 60 |
| Obr. 24 Analýza posunů ve vztažné síti v programu EasyNET Analyser | 61 |



Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tab. 1 Informace o viditelnosti záměr a stavu centračního zařízení | 23 |
| Tab. 2 Porovnání přesnosti různých variant modelů vztažné sítě..... | 28 |
| Tab. 3 Porovnání směrodatných odchylek pozorovaných bodů určených z rozborů přesnosti..... | 31 |
| Tab. 4 Podmínky při měření | 32 |
| Tab. 5 Seznam použitých centračních a signalizačních pomůcek | 34 |
| Tab. 6 Systém osazení stanovisek centračními a signalizačními pomůckami v základní etapě..... | 35 |
| Tab. 7 Systém signalizace pozorovaných bodů | 39 |
| Tab. 8 Systém osazení stanovisek centračními a signalizačními pomůckami v ověřovací etapě..... | 40 |
| Tab. 9 Základní etapa – základní informace o zpracování měření vztažné sítě | 48 |
| Tab. 10 Základní etapa – souřadnice bodů vztažné sítě a připojovacích bodů..... | 48 |
| Tab. 11 Vybraná odlehlá měření ze společného vyrovnání v základní etapě..... | 50 |
| Tab. 12 Základní etapa – základní informace o společném zpracování všech měření | 51 |
| Tab. 13 Základní etapa – základní informace o zpracování měření z revizní chodby | 52 |
| Tab. 14 Ověřovací etapa – základní informace o zpracování měření vztažné sítě..... | 54 |
| Tab. 15 Ověřovací etapa – základní informace o společném zpracování všech měření | 55 |
| Tab. 16 Ověřovací etapa – základní informace o zpracování měření v revizní chodbě..... | 56 |
| Tab. 17 Porovnání dosažené a očekávané přesnosti ve vztažné síti | 58 |
| Tab. 18 Zhodnocení stability z vyrovnání vztažné sítě s připojovacími body | 62 |
| Tab. 19 Zhodnocení stability ze společného vyrovnání a z vyrovnání samotné revizní chodby..... | 63 |
| Tab. 20 Porovnání výsledků ze společného vyrovnání a ze samotného vyrovnání chodby – ověřovací etapa | 64 |
| Tab. 21 Porovnání posunů určených z různých variant vyrovnání..... | 65 |



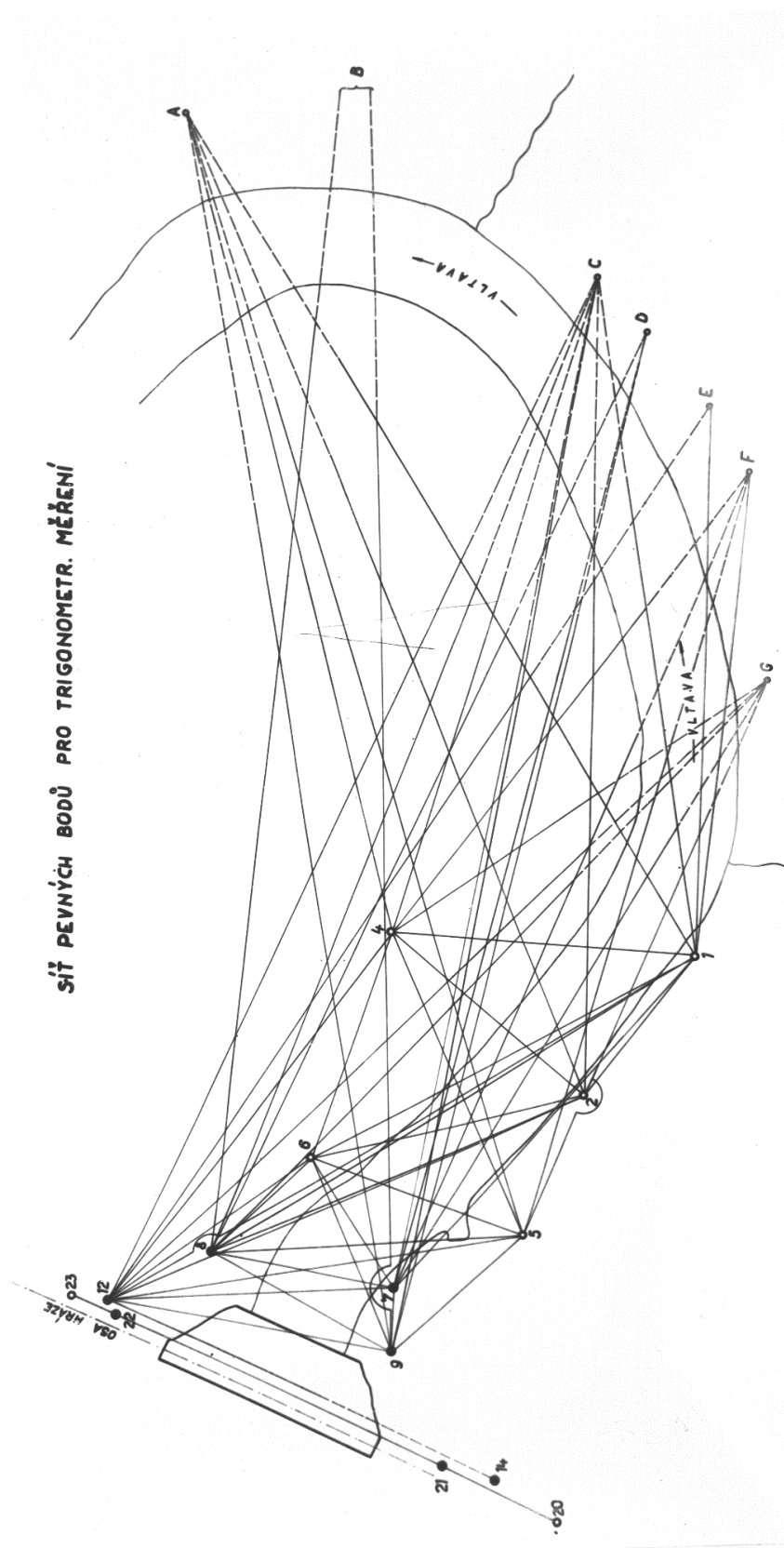
Seznam elektronických příloh

| | |
|--------------------------------------|---|
| 1_Vstupni_soubory_PP | seznam měření a souřadnic pro program PrecisPlanner |
| 2_Vystupni_soubory_PP | očekávané přesnosti z programu PrecisPlanner |
| 3_Surova_data | surová data z měření |
| 4_Vstupni_soubory_EN..... | měřená data a souřadnice pro program EasyNET 3D |
| 5_Vystupni_soubory_EN..... | protokoly, výkresy, projekty z programu EasyNET 3D |
| 6_Polohove_posuny..... | výpočetní skript a vstupní soubory pro program Matlab |
| 7_Posuny_presnosti.xlsx..... | testování stability, úprava a porovnání přesností |
| 8_DP_2019_Kubelova_Marketa.pdf | diplomové práce s tištěnými přílohami |

Seznam příloh v tištěné formě

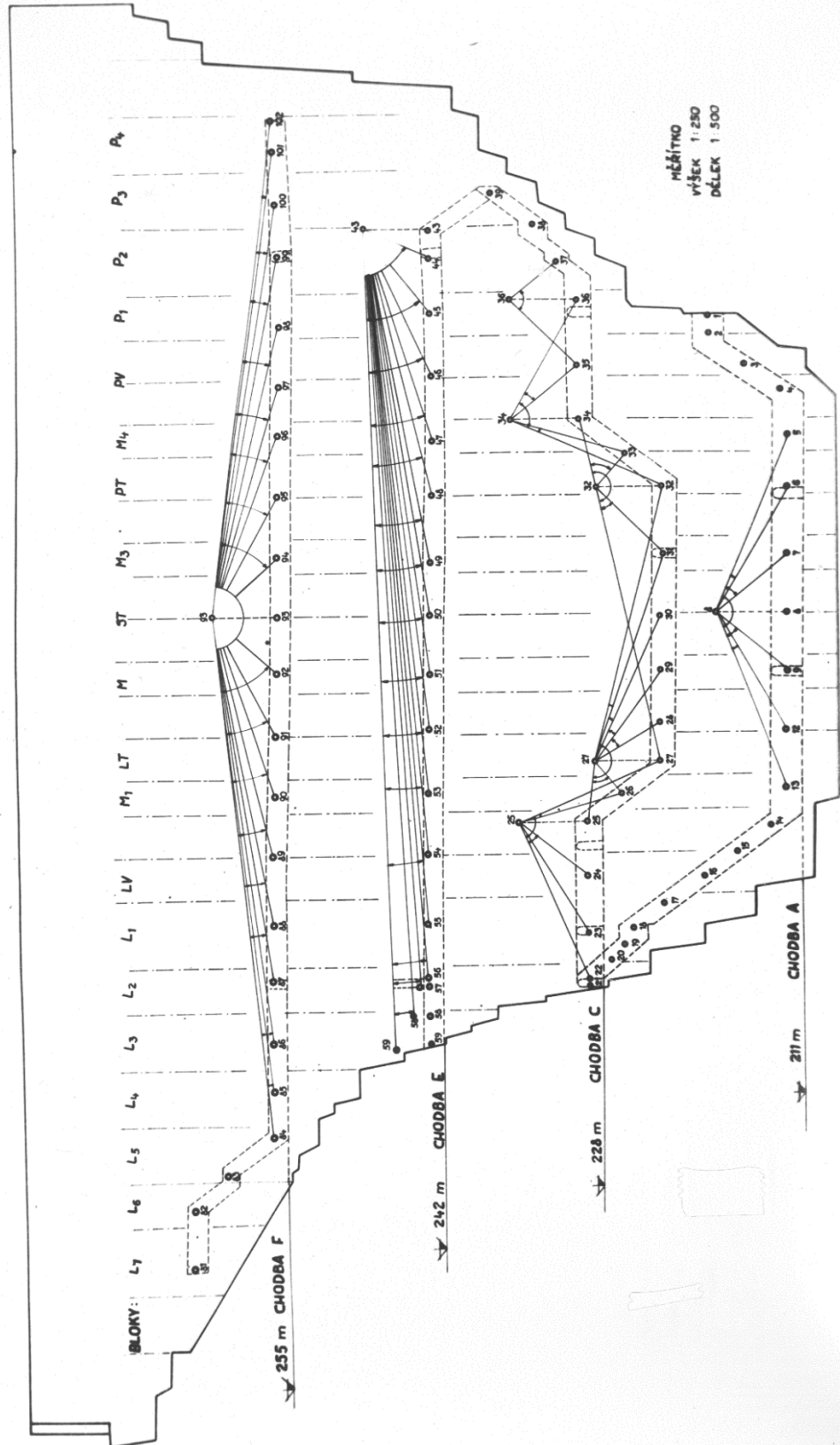
| | |
|---|----|
| Příloha 1: Síť pevných bodů pro trigonometr. měření (původní náčrt) | 76 |
| Příloha 2: Polygonové pořady v chodbách – měření ke přímce (původní náčrt) | 77 |
| Příloha 3: Polygonové pořady v chodbách – měření vrchol. úhlů (původní náčrt) | 78 |
| Příloha 4: Schéma sítě kontrolních bodů hráze (původní náčrt)..... | 79 |
| Příloha 5: Teplota a tlak během měření | 80 |
| Příloha 6: Vnější přesnost | 80 |
| Příloha 7: Obsah protokolů z programu EasyNET 3D | 82 |
| Příloha 8: Ukázka protokolu o vyrovnání z programu EasyNET 3D | 82 |
| Příloha 9: Ukázka protokolu o transformaci z programu EasyNET 3D | 83 |
| Příloha 10: Protokol o výpočtu z programu EasyNET Analyser | 84 |
| Příloha 11: Vlastní výpočetní skript z programu Matlab..... | 85 |
| Příloha 12: Porovnání očekávané a dosažené přesnosti..... | 88 |
| Příloha 13: Výsledné souřadnice s přesnostmi ze všech variant vyrovnání | 90 |
| Příloha 14: Výkresy se zobrazením posunů a chybovými elipsami z programu EN | 94 |

Příloha 1: Síť pevných bodů pro trigonometr. měření (původní náčrt)



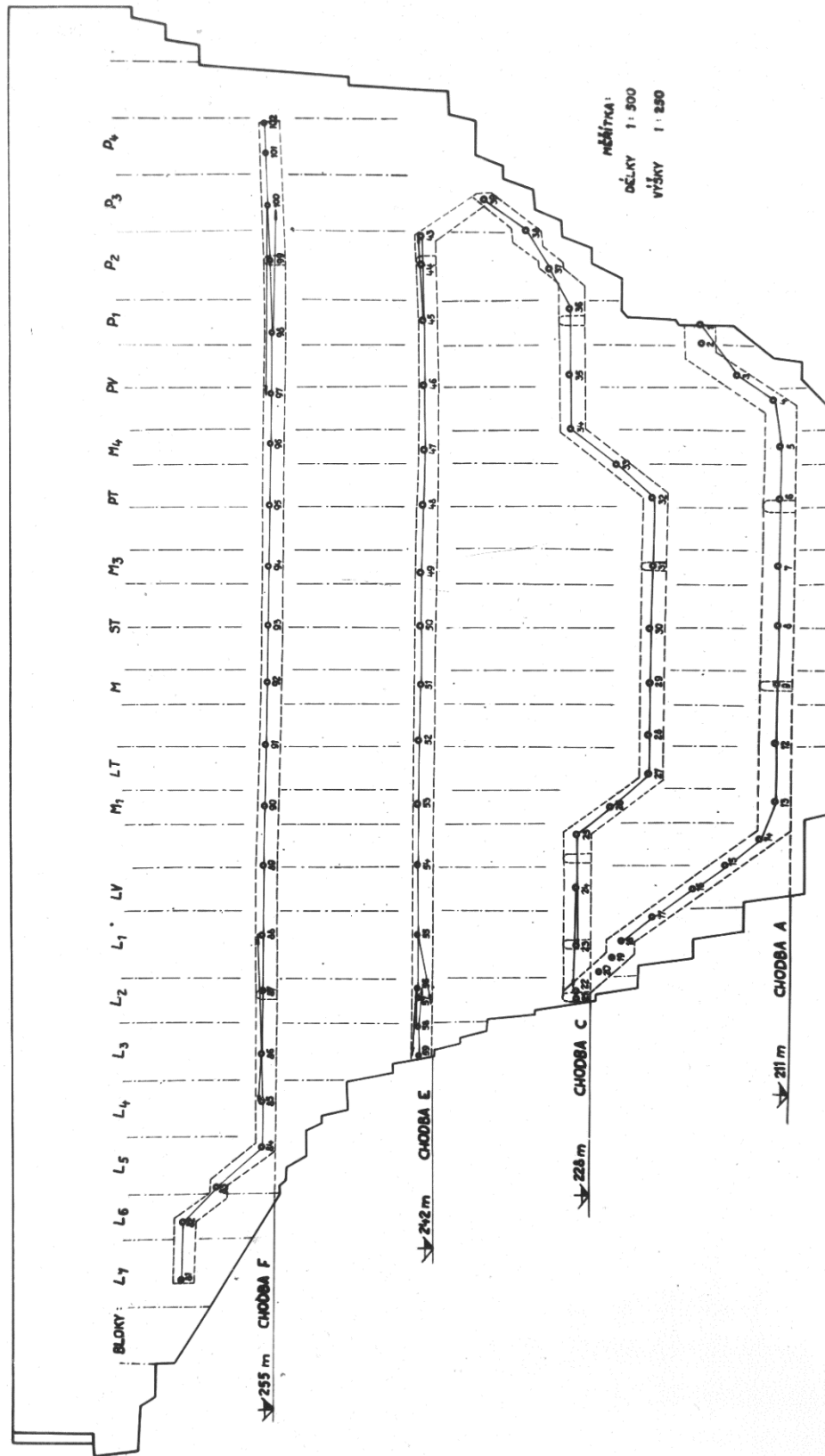
Příloha 2: Polygonové pořady v chodbách – měření ke přímce (původní náčrt)

POLYGONÁLNÍ POŘADY V CHODBÁCH
SCHEMA MĚŘENÍ KE PŘÍMCE

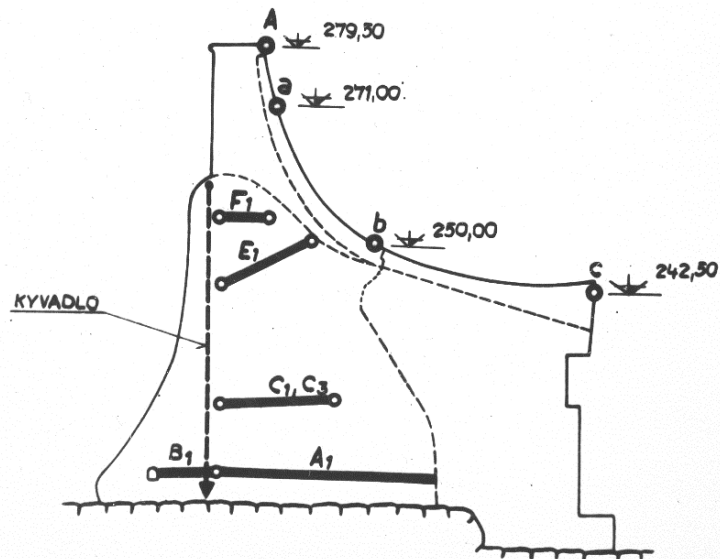
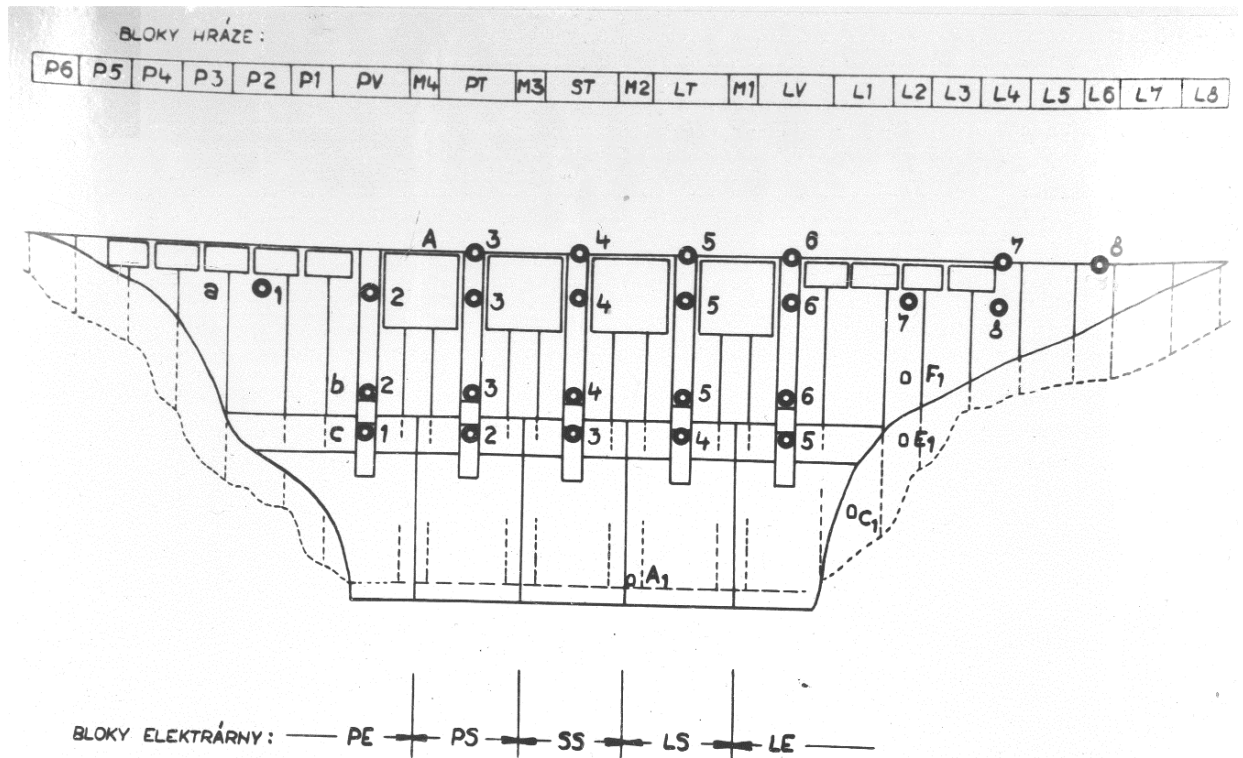


**Příloha 3: Polygonové pořady v chodbách – měření vrchol. úhlů
(původní náčrt)**

**POLYGONÁLNÍ POŘADY V CHODBÁCH
SCHEMA MĚŘENÍ VRCHOL. ÚHLŮ**



Příloha 4: Schéma sítě kontrolních bodů hráze (původní náčrt)



SCHEMA SÍTĚ KONTROLNÍCH BODŮ HRÁZE PRO TRIGONOMETRICKÉ MĚŘENÍ A SCHEMA PŘÍČNÝCH CHODEB S NIVELACÍ, PRO MĚŘENÍ NÁKLONŮ HRÁZE

Příloha 5: Teplota a tlak během měření

| Základní etapa | | | |
|----------------|------------|---------|--------|
| Datum | Stanovisko | Teplota | Tlak |
| | | [°C] | [hPa] |
| 21.2.2019 | M | 10,9 | 995,1 |
| | | 10,5 | 995,1 |
| | P7 | 10,1 | 996,2 |
| | P8 | 10,9 | 991,3 |
| | | 10,2 | 991,4 |
| | P6 | 10,3 | 992,0 |
| | P2 | 9,4 | 995,9 |
| | 87.1 | 10 | 992,4 |
| | 99.1 | 8,7 | 992,3 |
| 22.2.2019 | 99 | 9,6 | 997,0 |
| | | 9,1 | 997,2 |
| | | 9,1 | 997,6 |
| | 94 | 8,6 | 998,2 |
| | | 10,4 | 998,8 |
| | 87 | 10,8 | 999,4 |
| | | 10,9 | 999,8 |
| | 84 | 10,6 | 1000,1 |
| | | 11,5 | 999,7 |
| | 4001 | 11,5 | 999,9 |

| První etapa | | | |
|-------------|------------|---------|--------|
| Datum | Stanovisko | Teplota | Tlak |
| | | [°C] | [hPa] |
| 29.3.2019 | 4001 | 11,1 | 1000,5 |
| | 84 | 10,3 | 1001,1 |
| | 87 | 9,2 | 1001,2 |
| | 94 | 9,2 | 1001,1 |
| | 99 | 10,6 | 1001,3 |
| | 99.1 | 11,7 | 1000,8 |
| | 87.1 | 11,9 | 1000,7 |
| | M | 16,8 | 1002,0 |
| | | 16,2 | 1002,0 |
| | P6 | 14,6 | 999,7 |
| | P8 | 14,7 | 998,8 |
| | P7 | 13,4 | 1002,9 |
| | P2 | 12,5 | 1002,9 |

Příloha 6: Vnější přesnost

| VODOROVNÝ SMĚR | | | | | | | |
|------------------------------|------------|------|----|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Pořadové číslo | Číslo bodu | | | 0.etapa | | 1.etapa | |
| | | | | Počet nadbytečných měření | Směrodatná odchylka [mgon] | Počet nadbytečných měření | Směrodatná odchylka [mgon] |
| 1 | M | P2 | P8 | 18 | 0,087 | 20 | 0,212 |
| 2 | M | P7 | P8 | 18 | 0,194 | 20 | 0,148 |
| 3 | M | 87.1 | P8 | 13 | 0,155 | 15 | 0,178 |
| 4 | M | P2 | P6 | 18 | 0,147 | 20 | 0,240 |
| 5 | M | P7 | P6 | 18 | 0,226 | 20 | 0,217 |
| 6 | M | 99.1 | P6 | 13 | 0,190 | 17 | 0,160 |
| 7 | M | 87.1 | P2 | 13 | 0,132 | 15 | 0,212 |
| 8 | P8 | 87.1 | P2 | 13 | 0,137 | 15 | 0,194 |
| Směrodatná odchylka pro síť: | | | | 0,165 | | 0,198 | |

| ZENITOVÝ ÚHEL | | | | | | |
|------------------------------|------------|------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Pořadové číslo | Číslo bodu | | 0.etapa | | 1.etapa | |
| | | | Počet nadbytečných měření | Směrodatná odchylka [mgon] | Počet nadbytečných měření | Směrodatná odchylka [mgon] |
| 1 | M | P8 | 8 | 0,379 | 9 | 0,239 |
| 2 | M | P6 | 8 | 0,253 | 9 | 0,547 |
| 3 | M | P2 | 8 | 0,273 | 9 | 0,309 |
| 4 | M | P7 | 8 | 0,210 | 9 | 0,394 |
| 5 | M | 87.1 | 5 | 0,431 | 6 | 0,32 |
| 6 | M | 99.1 | 5 | 0,152 | 7 | 0,416 |
| 7 | P8 | P2 | 5 | 0,247 | 5 | 0,161 |
| 8 | P8 | P7 | 5 | 0,191 | 5 | 0,146 |
| 9 | P8 | 87.1 | 5 | 0,346 | 6 | 0,448 |
| 10 | P6 | P2 | 5 | 0,103 | 5 | 0,086 |
| 11 | P6 | P7 | 5 | 0,267 | 5 | 0,528 |
| 12 | P6 | 99.1 | 5 | 0,293 | 6 | 0,441 |
| 13 | P2 | 87.1 | 5 | 0,409 | 6 | 0,102 |
| 14 | 87 | 94 | 11 | 0,997 | 6 | 0,448 |
| 15 | 87 | 84 | 11 | 1,152 | 5 | 0,309 |
| 16 | 99 | 94 | 9 | 0,774 | 6 | 1,892 |
| 17 | 84 | 4001 | 6 | 0,346 | 5 | 0,091 |
| Směrodatná odchylka pro síť: | | | 0,578 | | 0,563 | |

| ŠIKMÁ DÉLKA | | | | | | |
|------------------------------|------------|------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Pořadové číslo | Číslo bodu | | 0.etapa | | 1.etapa | |
| | | | Počet nadbytečných měření | Směrodatná odchylka [mm] | Počet nadbytečných měření | Směrodatná odchylka [mm] |
| 1 | M | P8 | 8 | 0,20 | 9 | 0,41 |
| 2 | M | P6 | 8 | 0,37 | 9 | 0,15 |
| 3 | M | P2 | 8 | 0,07 | 9 | 0,15 |
| 4 | M | P7 | 8 | 0,68 | 9 | 0,98 |
| 5 | M | 87.1 | 5 | 0,26 | 6 | 0,22 |
| 6 | M | 99.1 | 5 | 0,64 | 7 | 0,14 |
| 7 | P8 | P2 | 5 | 0,11 | 5 | 0,54 |
| 8 | P8 | P7 | 5 | 0,61 | 5 | 0,29 |
| 9 | P8 | 87.1 | 5 | 0,53 | 6 | 0,13 |
| 10 | P6 | P2 | 5 | 0,36 | 5 | 0,33 |
| 11 | P6 | P7 | 5 | 0,72 | 5 | 0,67 |
| 12 | P6 | 99.1 | 5 | 0,55 | 6 | 0,05 |
| 13 | P2 | 87.1 | 5 | 0,58 | 6 | 0,05 |
| 14 | 87 | 94 | 11 | 0,61 | 6 | 0,60 |
| 15 | 87 | 84 | 11 | 0,17 | 5 | 0,07 |
| 16 | 99 | 94 | 9 | 0,18 | 6 | 0,26 |
| 17 | 84 | 4001 | 6 | 0,07 | 5 | 0,13 |
| Směrodatná odchylka pro síť: | | | 0,44 | | 0,41 | |

Příloha 7: Obsah protokolů z programu EasyNET 3D

Nastavení - Protokol

| | | | | |
|--|----------------------------|--|--|---|
| A. Zpracování surových měření | | C. Vyrovnání sítě | | <input checked="" type="checkbox"/> 05. Vyrovnané identické body |
| <input checked="" type="checkbox"/> 01. Surová měření | | <input checked="" type="checkbox"/> 01. Základní informace | | Apriorní / Aposteriorní přesnost |
| <input checked="" type="checkbox"/> 02. Rozdíl poloh dalekohledu [II-I] | | <input checked="" type="checkbox"/> 02. Vyrovnané souřadnice | | Apriorní / Aposteriorní přesnost |
| <input checked="" type="checkbox"/> 03. Průměr poloh dalekohledu [I/II] | | <input checked="" type="checkbox"/> 03. Elipsoidy chyb | | Apriorní / Aposteriorní přesnost |
| <input checked="" type="checkbox"/> 04. Průměr měřických skupin | | <input checked="" type="checkbox"/> 04. Odlehlé hodnoty | | Apriorní / Aposteriorní přesnost |
| B. Analýza měření | | D. Transformace s vyrovnáním | | E. Transformace na bod a směrnik |
| <input checked="" type="checkbox"/> 01. Hodnoty přímé spojnice značek bodů | | <input checked="" type="checkbox"/> 01. Identické body | | <input checked="" type="checkbox"/> 01. Identické body |
| <input checked="" type="checkbox"/> 02. Fixní body | bez měřtkových koeficientů | <input checked="" type="checkbox"/> 02. Informace - identické body | | <input checked="" type="checkbox"/> 02. Informace - transformace |
| <input checked="" type="checkbox"/> 03. Souřadnice před vyrovnáním | bez měřtkových koeficientů | <input checked="" type="checkbox"/> 03. Informace - transformace | | <input checked="" type="checkbox"/> 03. Transformované souřadnice |
| <input checked="" type="checkbox"/> 04. Měření před vyrovnáním | se směrodatnými odchylkami | <input checked="" type="checkbox"/> 04. Odlehlé hodnoty | | <input checked="" type="checkbox"/> 04. Transformované elipsoidy chyb |
| <input checked="" type="checkbox"/> 05. Vnitřní přesnost sítě | | | | Apriorní / Aposteriorní přesnost |
| <input checked="" type="checkbox"/> 06. Vnější přesnost sítě | | | | Apriorní / Aposteriorní přesnost |

Vložit [Ent] Ukončit [Esc]

Příloha 8: Ukázka protokolu o vyrovnání z programu EasyNET 3D

C-01 Základní informace o vyrovnání sítě

Vyloučení odlehlých hodnot

| Metoda robustního odhadu: | Huber |
|-------------------------------------|---------------|
| Hladina významnosti: | 0.01 |
| Počet vyloučených odlehlých hodnot: | 6/288 [0.021] |
| Vodorovný směr: | 4/96 [0.042] |
| Zenitový úhel: | 2/96 [0.021] |
| Šikmá délka: | 0/96 [0.000] |
| Šikmá délka (doplňek): | - |
| Směrnik: | - |
| Převýšení: | - |
| Svislé provažování: | - |

Vyrovnání sítě

| | |
|--|-------|
| Apriorní jednotková směrodatná odchylka: | 1.000 |
| Aposteriorní jednotková směrodatná odchylka: | 0.978 |
| Počet fixních bodů: | 0 |
| Počet vyrovnaných bodů: | 9 |
| Počet vyrovnaných orientačních posunů: | 8 |
| Počet vyrovnaných měření: | 282 |
| Vodorovný směr: | 92 |
| Zenitový úhel: | 94 |
| Šikmá délka: | 96 |
| Šikmá délka (doplňek): | 0 |
| Směrnik: | 0 |
| Převýšení: | 0 |
| Svislé provažování (X + Y): | 0 (0) |
| Počet nadbytečných měření: | 251 |

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 | M | 195.88392 | 309.49901 | 242.05433 | 0.07 : 0.07 | 0.07 : 0.07 | 0.11 : 0.11 |
| 2 | 87 | 153.87023 | 543.09008 | 255.12626 | 0.16 : 0.15 | 0.25 : 0.25 | 0.18 : 0.18 |

Příloha 9: Ukázka protokolu o transformaci z programu

EasyNET 3D

D-03 Základní informace o transformaci s vyrovnáním - Transformační klíč

=====
Základní informace

Počet transformovaných bodů: 9
Počet fixních bodů: 0
Počet vyrovnávaných bodů: 9

Parametry transformačního klíče

Vyrovnané hodnoty:

Translace:
X [m]: 0.00732
Y [m]: -0.00270
Z [m]: 0.04365
Rotace [gon]: 0.00098

Apriorní/Aposteriorní směrodatné odchylky:

Translace:
X [mm]: 0.89 : 0.86
Y [mm]: 0.89 : 0.86
Z [mm]: 1.00 : 0.97
Rotace [mgon]: 0.431 : 0.416

D-04-3 Odlehlé hodnoty - Souřadnice identických bodů ve výstupním systému (souřadnice Z)

=====
Legenda:

~~~~~

A: Pořadové číslo  
B: Číslo bodu  
C: Měřená hodnota [m]  
D: Oprava [m]  
E: Normovaná oprava  
F: Mezní oprava [m]

Data:

~~~~~

| A | B | C[m] | D[m] | E | F[m] |
|---|---|-----------|---------|--------|---------|
| 1 | M | 242.00000 | 0.09730 | 48.652 | 0.00461 |

Příloha 10: Protokol o výpočtu z programu EasyNET Analyser

EasyNET Analyser 1.1.2 Non-commercial (20.06.2015)

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

Protokol C - Analýza posunů

Vytvořeno: 07.05.2019 9:15:20

C-01 Transformační klíč

Metoda: 1. Bez transformace

C-02 Základní informace

Počet posunů: 9

Hodnocení

Hladina významnosti: 0.01

Počet významných (Apriorní/Aposteriorní přesnost):

X: 2 / 2

Y: 4 / 4

Z: 1 / 1

Polohový: 6 / 6

Prostorový: 6 / 6

Marginální posuny:

X [mm]: -0.17 / 1.16

Y [mm]: -0.45 / 1.15

Z [mm]: -0.91 / 1.09

Polohový [mm]: 0.05 / 1.63

Prostorový [mm]: 0.37 / 1.64

C-04 Posuny - Všechny hodnoty (Aposteriorní přesnost)

Legenda:

~~~~~

A: Pořadové číslo

B: Číslo bodu

C: X posun [mm]

D: Y posun [mm]

E: Z posun [mm]

F: Polohový posun [mm]

G: Prostorový posun [mm]

H: X posun - Směrodatná odchylka [mm]

I: Y posun - Směrodatná odchylka [mm]

J: Z posun - Směrodatná odchylka [mm]

K: Polohový posun - Směrodatná odchylka [mm]

L: Prostorový posun - Směrodatná odchylka [mm]

# - Významné posun (apriorní přesnost)

& - Významné posun (aposteriorní přesnost)

Data:

~~~~~

| A | B | C [mm] | D [mm] | E [mm] | F [mm] | G [mm] | H [mm] | I [mm] | J [mm] | K [mm] | L [mm] |
|---|------|---------|----------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | M | -0.05 | 0.00 | 0.37 | 0.05 | 0.37 | 0.10 | 0.10 | 0.16 | 0.10 | 0.16 |
| 2 | 87 | #& 1.16 | #& 1.15 | -0.14 | #& 1.63 | #& 1.64 | 0.22 | 0.32 | 0.27 | 0.28 | 0.28 |
| 3 | 99 | -0.06 | 0.40 | 0.73 | 0.40 | 0.83 | 0.28 | 0.34 | 0.39 | 0.35 | 0.36 |
| 4 | P2 | 0.30 | -0.45 | -0.91 | #& 0.54 | #& 1.06 | 0.13 | 0.19 | 0.35 | 0.14 | 0.30 |
| 5 | P6 | -0.17 | #& -0.45 | 0.30 | #& 0.48 | #& 0.56 | 0.12 | 0.11 | 0.18 | 0.11 | 0.13 |
| 6 | P7 | 0.00 | 0.45 | 0.04 | 0.45 | 0.45 | 0.15 | 0.18 | 0.24 | 0.18 | 0.18 |
| 7 | P8 | -0.09 | #& 0.44 | 0.21 | #& 0.45 | #& 0.50 | 0.15 | 0.14 | 0.22 | 0.13 | 0.14 |
| 8 | 87.1 | #& 0.57 | -0.34 | 0.67 | #& 0.67 | #& 0.94 | 0.22 | 0.13 | 0.26 | 0.19 | 0.24 |
| 9 | 99.1 | -0.16 | #& 0.69 | #& 1.09 | #& 0.71 | #& 1.30 | 0.27 | 0.18 | 0.38 | 0.21 | 0.34 |

C-12 Hodnocení - Polohový posun (Aposteriorní přesnost)

Legenda:

~~~~~

A: Pořadové číslo

B: Číslo bodu

C: Hodnota [mm]

D: Směrodatná odchylka [mm]

E: Mezní odchylka [mm]

# - Významné posun (apriorní přesnost)

& - Významné posun (aposteriorní přesnost)

### Data:

~~~~~

| A | B | C [mm] | D [mm] | E [mm] |
|---|------|---------|--------|--------|
| 1 | M | 0.05 | 0.10 | 0.25 |
| 2 | 87 | #& 1.63 | 0.28 | 0.73 |
| 3 | 99 | 0.40 | 0.35 | 0.90 |
| 4 | P2 | #& 0.54 | 0.14 | 0.37 |
| 5 | P6 | #& 0.48 | 0.11 | 0.28 |
| 6 | P7 | 0.45 | 0.18 | 0.46 |
| 7 | P8 | #& 0.45 | 0.13 | 0.34 |
| 8 | 87.1 | #& 0.67 | 0.19 | 0.50 |
| 9 | 99.1 | #& 0.71 | 0.21 | 0.54 |

C-13 Hodnocení - Prostorový posun (Aposteriorní přesnost)

Legenda:

~~~~~

A: Pořadové číslo

B: Číslo bodu

C: Hodnota [mm]

D: Směrodatná odchylka [mm]

E: Mezní odchylka [mm]

# - Významné posun (apriorní přesnost)

& - Významné posun (aposteriorní přesnost)

### Data:

~~~~~

| A | B | C [mm] | D [mm] | E [mm] |
|---|------|---------|--------|--------|
| 1 | M | 0.37 | 0.16 | 0.42 |
| 2 | 87 | #& 1.64 | 0.28 | 0.73 |
| 3 | 99 | 0.83 | 0.36 | 0.94 |
| 4 | P2 | #& 1.06 | 0.30 | 0.77 |
| 5 | P6 | #& 0.56 | 0.13 | 0.34 |
| 6 | P7 | 0.45 | 0.18 | 0.46 |
| 7 | P8 | #& 0.50 | 0.14 | 0.38 |
| 8 | 87.1 | #& 0.94 | 0.24 | 0.62 |
| 9 | 99.1 | #& 1.30 | 0.34 | 0.87 |

Příloha 11: Vlastní výpočetní skript z programu Matlab

```
% Testování stability vztažných bodů pomocí mezních polohových posunů
% Autor: Markéta Kubelová
clc, clear all, format longG
pb = 9; % počet bodů
pp = (((pb*3)^2)-pb*3)/2+pb*3; % počet veličin v kov. matici
pr = ceil(pp/10); % počet řádků kov. matice

%% Načtení základní etapy - souřadnice a kovariační matice
apos0 = 0.97776401158627; % aposteriorní jednotková chyba
ff = fopen('vztazna_E0.epc', 'r'); f1=fileread('vztazna_E0.epc');
pocatek=strfind(f1, '<2>'); % nalezení začátku seznamu souřadnic
fseek(ff,pocatek,'bof'); fgetl(ff);
ss0(pb,3) = 0; % seznam souřadnic
for i = 1:pb
    radek = fgetl(ff);
```

```

        d = sscanf(radek, '%*s %f %f %f %f %f');
        ss0(i,1)=d(1); % souřadnice X [m]
        ss0(i,2)=d(2); % souřadnice Y [m]
        ss0(i,3)=d(3); % souřadnice Z [m]
    end

    pocatek=strfind(f1, '<3>'); % nalezení začátku kov. matice
    fseek(ff,pocatek,'bof'); fgetl(ff);
    kov0(3*pb,3*pb) = 0; % kovarianční matice
    cr = 1; % číslo řádky
    cs = 1; % číslo sloupce
    for i = 1:pr
        radek = fgetl(ff);
        d = sscanf(radek, '%f');
        if i<pr
            for j=1:10
                kov0(cr,cs)=d(j);
                kov0(cs,cr)=d(j);
                if cs<3*pb
                    cs = cs+1;
                else
                    cr = cr+1;
                    cs = cr;
                end
            end
        else
            for j=1:pp-(10*(pr-1))
                kov0(cr,cs)=d(j);
                kov0(cs,cr)=d(j);
                if cs<3*pb
                    cs = cs+1;
                else
                    cr = cr+1;
                    cs = cr;
                end
            end
        end
    end
    for i = 1:3*pb
        kov0(i,i) = (sqrt(kov0(i,i))*apos0)^2+0.00005^2+0.00001^2; % úprava přesnosti
    end
    fclose(ff);

    %% Načtení ověřovací etapy - souřadnice a kovariační matice
    apos1 = 0.98228720401327; % aposteriorní jednotková chyba
    ff = fopen('vztazna_E1.epc', 'r'); f1=fileread('vztazna_E1.epc');
    pocatek=strfind(f1, '<2>'); % nalezení začátku seznamu souřadnic
    fseek(ff,pocatek,'bof'); fgetl(ff);
    ssl(pb,3) = 0; % seznam souřadnic
    for i = 1:pb
        radek = fgetl(ff);
        d = sscanf(radek, '%*s %f %f %f %f %f');
        ssl(i,1)=d(1); % souřadnice X [m]
        ssl(i,2)=d(2); % souřadnice Y [m]
        ssl(i,3)=d(3); % souřadnice Z [m]
    end

    pocatek=strfind(f1, '<3>'); % nalezení začátku kov. matice
    fseek(ff,pocatek,'bof');
    radek = fgetl(ff);
    kov1(3*pb,3*pb) = 0; % kovarianční matice
    cr = 1; % číslo řádky
    cs = 1; % číslo sloupce
    for i = 1:pr
        radek = fgetl(ff);
        d = sscanf(radek, '%f');
        if i<pr
            for j=1:10
                kov1(cr,cs)=d(j);
                kov1(cs,cr)=d(j);
                if cs<3*pb
                    cs = cs+1;
                else
                    cr = cr+1;
                    cs = cr;
                end
            end
        end
    end
end

```

```

else
    for j=1:pp-(10*(pr-1))
        kovl(cr,cs)=d(j);
        kovl(cs,cr)=d(j);
        if cs<3*pb
            cs = cs+1;
        else
            cr = cr+1;
            cs = cr;
        end
    end
end
end
end
for i = 1:3*pb
    kovl(i,i) = (sqrt(kovl(i,i))*apos1)^2+0.00005^2+0.00001^2; % úprava přesnosti
end
fclose(ff);

%% Výpočet přesnosti polohového posunu
kov(1:3*pb,1:3*pb) = kov0;
kov(3*pb+1:3*pb*2,3*pb+1:3*pb*2) = kovl; % spojení kov. matic
k = 1;
pos(pb) = 0; % polohový posun
F(2*3*pb,pb) = 0; % matice parciálních derivací
for i = 1:pb
    pos(i) = sqrt((ss1(i,1)-ss0(i,1))^2+(ss1(i,2)-ss0(i,2))^2);
    F(k,i) = -(ss1(i,1)-ss0(i,1))/pos(i);
    F(k+1,i) = -(ss1(i,2)-ss0(i,2))/pos(i);
    F(k+3*pb,i) = (ss1(i,1)-ss0(i,1))/pos(i);
    F(k+3*pb+1,i) = (ss1(i,2)-ss0(i,2))/pos(i);
    k = k+3;
end
kov_pos = F'*kov*F;
sm_pos = sqrt(diag(kov_pos)); % směrodatná odchylka polohového posunu
mez_pos = sm_pos*2.5; % mezní polohový posun
cb = [10,87,99,2,6,7,8,87.1,99.1]; % čísla bodů
disp('-----')
disp(' Testování stability vztažných bodů ')
disp(' pomocí mezního polohového posunu')
disp('-----')
disp(' č. b. posun mez splněno')
for i=1:pb-2
    if abs(pos(i))<mez_pos(i)
        fprintf(' %3d % .2f % .2f ANO \n',cb(i),pos(i)*1000,mez_pos(i)*1000)
    else
        fprintf(' %3d % .2f % .2f NE \n',cb(i),pos(i)*1000,mez_pos(i)*1000)
    end
end
for i=pb-1:pb
    if abs(pos(i))<mez_pos(i)
        fprintf(' %.1f % .2f % .2f ANO \n',cb(i),pos(i)*1000,mez_pos(i)*1000)
    else
        fprintf(' %.1f % .2f % .2f NE \n',cb(i),pos(i)*1000,mez_pos(i)*1000)
    end
end
end

```

Výstup z programu Matlab

```

-----
Testování stability vztažných bodů
pomocí mezního polohového posunu
-----

```

| č. b. | posun | mez | splněno |
|-------|-------|------|---------|
| 10 | 0.05 | 0.30 | ANO |
| 87 | 1.63 | 0.72 | NE |
| 99 | 0.40 | 0.89 | ANO |
| 2 | 0.54 | 0.40 | NE |
| 6 | 0.48 | 0.32 | NE |
| 7 | 0.45 | 0.48 | ANO |
| 8 | 0.45 | 0.38 | NE |
| 87.1 | 0.67 | 0.51 | NE |
| 99.1 | 0.71 | 0.55 | NE |

Příloha 12: Porovnání očekávané a dosažené přesnosti

| Číslo bodu | Základní etapa – společné vyrovnání | | | | PrecisPlanner 3D – volná síť | | | | Rozdíl $\sigma_c - \sigma'$ | |
|-------------------------------|--|------------|-----------------|-------------|---------------------------------|------------|--------------------|---------------|--------------------------------|------------------|
| | aposteriorní z vyrovnání | | upravené (7) | | bez vlivu centrace | | centrace 0,2 mm | | | |
| | σ_X | σ_Y | σ_X' | σ_Y' | σ_X | σ_Y | σ_{cX} | σ_{cY} | $\Delta\sigma_X$ | $\Delta\sigma_Y$ |
| | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] |
| M | 0,15 | 0,14 | 0,16 | 0,15 | 0,22 | 0,34 | 0,42 | 0,39 | 0,26 | 0,24 |
| P2 | 0,27 | 0,19 | 0,27 | 0,20 | 0,36 | 0,44 | 0,71 | 0,54 | 0,43 | 0,34 |
| P6 | 0,15 | 0,16 | 0,16 | 0,17 | 0,25 | 0,36 | 0,43 | 0,46 | 0,27 | 0,29 |
| P7 | 0,12 | 0,17 | 0,13 | 0,18 | 0,30 | 0,40 | 0,38 | 0,46 | 0,25 | 0,28 |
| P8 | 0,09 | 0,19 | 0,10 | 0,20 | 0,22 | 0,40 | 0,30 | 0,50 | 0,19 | 0,30 |
| 87.1 | 0,07 | 0,15 | 0,09 | 0,16 | 0,20 | 0,31 | 0,28 | 0,36 | 0,20 | 0,20 |
| 99.1 | 0,09 | 0,14 | 0,10 | 0,15 | 0,29 | 0,33 | 0,36 | 0,38 | 0,25 | 0,24 |
| 81 | 0,26 | 0,24 | 0,30 | 0,28 | 0,73 | 0,26 | 0,82 | 1,02 | 0,52 | 0,74 |
| 82 | 0,23 | 0,21 | 0,27 | 0,25 | 0,67 | 0,25 | 0,76 | 0,70 | 0,49 | 0,44 |
| 83 | 0,24 | 0,18 | 0,28 | 0,23 | 0,70 | 0,21 | 0,79 | 0,58 | 0,51 | 0,35 |
| 84 | 0,09 | 0,17 | 0,17 | 0,22 | 0,31 | 0,18 | 0,36 | 0,44 | 0,19 | 0,22 |
| 85 | 0,12 | 0,15 | 0,19 | 0,21 | 0,43 | 0,17 | 0,52 | 0,42 | 0,33 | 0,21 |
| 86 | 0,13 | 0,13 | 0,19 | 0,19 | 0,40 | 0,15 | 0,52 | 0,38 | 0,32 | 0,19 |
| 87 | 0,07 | 0,11 | 0,09 | 0,12 | 0,20 | 0,13 | 0,24 | 0,28 | 0,15 | 0,16 |
| 88 | 0,12 | 0,09 | 0,19 | 0,17 | 0,45 | 0,13 | 0,52 | 0,35 | 0,34 | 0,19 |
| 89 | 0,15 | 0,08 | 0,21 | 0,16 | 0,63 | 0,13 | 0,70 | 0,35 | 0,49 | 0,19 |
| 90 | 0,15 | 0,09 | 0,21 | 0,17 | 0,64 | 0,15 | 0,71 | 0,36 | 0,50 | 0,19 |
| 91 | 0,15 | 0,10 | 0,21 | 0,17 | 0,65 | 0,17 | 0,72 | 0,38 | 0,51 | 0,21 |
| 92 | 0,15 | 0,12 | 0,21 | 0,19 | 0,66 | 0,20 | 0,72 | 0,42 | 0,52 | 0,24 |
| 93 | 0,12 | 0,10 | 0,19 | 0,17 | 0,47 | 0,13 | 0,52 | 0,34 | 0,33 | 0,16 |
| 94 | 0,08 | 0,10 | 0,09 | 0,11 | 0,29 | 0,14 | 0,33 | 0,27 | 0,24 | 0,16 |
| 95 | 0,14 | 0,11 | 0,20 | 0,18 | 0,49 | 0,15 | 0,54 | 0,37 | 0,34 | 0,19 |
| 96 | 0,14 | 0,13 | 0,20 | 0,19 | 0,49 | 0,17 | 0,54 | 0,38 | 0,34 | 0,19 |
| 97 | 0,18 | 0,13 | 0,23 | 0,19 | 0,66 | 0,18 | 0,74 | 0,44 | 0,51 | 0,25 |
| 98 | 0,18 | 0,15 | 0,23 | 0,21 | 0,65 | 0,19 | 0,73 | 0,46 | 0,50 | 0,25 |
| 99 | 0,09 | 0,17 | 0,10 | 0,18 | 0,29 | 0,20 | 0,34 | 0,42 | 0,24 | 0,24 |
| 100 | 0,18 | 0,19 | 0,23 | 0,24 | 0,65 | 0,23 | 0,73 | 0,54 | 0,50 | 0,30 |
| 101 | 0,18 | 0,21 | 0,23 | 0,25 | 0,66 | 0,24 | 0,74 | 0,59 | 0,51 | 0,34 |
| 102 | 0,18 | 0,23 | 0,23 | 0,27 | 0,66 | 0,26 | 0,74 | 0,62 | 0,51 | 0,35 |
| 4001 | 0,14 | 0,19 | 0,15 | 0,20 | 0,45 | 0,21 | 0,51 | 0,57 | 0,36 | 0,37 |
| kvadratický průměr (6) | 0,16 | 0,16 | 0,19 | 0,20 | 0,50 | 0,24 | 0,58 | 0,48 | 0,39 | 0,29 |
| souřadnicová směr. od. (5) | 0,16 | | 0,20 | | 0,39 | | 0,53 | | 0,34 | |

| Číslo bodu | Základní etapa – vyrovnání revizní chodby | | | | PrecisPlanner 3D – volná síť | | | | Rozdíl | |
|-------------------------------|--|------------|-----------------|-------------|---------------------------------|------------|--------------------|---------------|----------------------|------------------|
| | aposteriorní z vyrovnání | | upravené (7) | | bez vlivu centrace | | centrace 0,2 mm | | $\sigma_c - \sigma'$ | |
| | σ_X | σ_Y | σ_X' | σ_Y' | σ_X | σ_Y | σ_{cX} | σ_{cY} | $\Delta\sigma_X$ | $\Delta\sigma_Y$ |
| | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] |
| 81 | 0,28 | 0,06 | 0,31 | 0,15 | 0,74 | 0,14 | 0,82 | 0,75 | 0,51 | 0,60 |
| 82 | 0,25 | 0,06 | 0,29 | 0,15 | 0,68 | 0,15 | 0,76 | 0,42 | 0,48 | 0,26 |
| 83 | 0,26 | 0,04 | 0,30 | 0,15 | 0,71 | 0,10 | 0,79 | 0,36 | 0,50 | 0,21 |
| 84 | 0,10 | 0,02 | 0,11 | 0,05 | 0,34 | 0,06 | 0,38 | 0,21 | 0,27 | 0,16 |
| 85 | 0,13 | 0,02 | 0,19 | 0,14 | 0,45 | 0,05 | 0,53 | 0,27 | 0,34 | 0,13 |
| 86 | 0,14 | 0,02 | 0,20 | 0,14 | 0,42 | 0,06 | 0,53 | 0,28 | 0,33 | 0,14 |
| 87 | 0,07 | 0,02 | 0,09 | 0,05 | 0,25 | 0,05 | 0,28 | 0,20 | 0,19 | 0,15 |
| 88 | 0,13 | 0,03 | 0,19 | 0,14 | 0,47 | 0,08 | 0,54 | 0,33 | 0,34 | 0,19 |
| 89 | 0,16 | 0,04 | 0,21 | 0,15 | 0,65 | 0,10 | 0,71 | 0,34 | 0,50 | 0,19 |
| 90 | 0,16 | 0,05 | 0,21 | 0,15 | 0,66 | 0,13 | 0,72 | 0,36 | 0,50 | 0,21 |
| 91 | 0,16 | 0,06 | 0,21 | 0,15 | 0,66 | 0,16 | 0,73 | 0,38 | 0,51 | 0,22 |
| 92 | 0,16 | 0,07 | 0,21 | 0,16 | 0,67 | 0,19 | 0,74 | 0,41 | 0,52 | 0,25 |
| 93 | 0,13 | 0,05 | 0,19 | 0,15 | 0,47 | 0,11 | 0,52 | 0,31 | 0,32 | 0,16 |
| 94 | 0,09 | 0,04 | 0,10 | 0,06 | 0,30 | 0,10 | 0,33 | 0,20 | 0,23 | 0,14 |
| 95 | 0,16 | 0,04 | 0,21 | 0,15 | 0,51 | 0,10 | 0,56 | 0,29 | 0,35 | 0,14 |
| 96 | 0,16 | 0,04 | 0,21 | 0,15 | 0,51 | 0,10 | 0,56 | 0,26 | 0,35 | 0,12 |
| 97 | 0,20 | 0,03 | 0,24 | 0,14 | 0,70 | 0,09 | 0,77 | 0,31 | 0,53 | 0,16 |
| 98 | 0,20 | 0,02 | 0,24 | 0,14 | 0,69 | 0,08 | 0,76 | 0,29 | 0,52 | 0,15 |
| 99 | 0,11 | 0,02 | 0,12 | 0,05 | 0,38 | 0,07 | 0,41 | 0,14 | 0,29 | 0,09 |
| 100 | 0,20 | 0,04 | 0,24 | 0,15 | 0,69 | 0,11 | 0,76 | 0,32 | 0,52 | 0,17 |
| 101 | 0,20 | 0,05 | 0,24 | 0,15 | 0,70 | 0,12 | 0,77 | 0,35 | 0,53 | 0,20 |
| 102 | 0,20 | 0,06 | 0,24 | 0,15 | 0,70 | 0,14 | 0,77 | 0,38 | 0,53 | 0,23 |
| 4001 | 0,15 | 0,03 | 0,16 | 0,06 | 0,46 | 0,08 | 0,52 | 0,24 | 0,36 | 0,18 |
| kvadratický průměr (6) | 0,17 | 0,04 | 0,21 | 0,13 | 0,58 | 0,11 | 0,64 | 0,34 | 0,43 | 0,21 |
| souřadnicová směr. od. (5) | 0,13 | | 0,18 | | 0,42 | | 0,51 | | 0,33 | |

Příloha 13:

Výsledné souřadnice s přesnostmi ze všech variant vyrovnání

| Číslo bodu | Základní etapa - vztažná síť s přípojovacími body | | | | | | | | Ověřovací etapa - vztažná síť s přípojovacími body | | | | | | | |
|---|---|----------|----------|--------------|------------|------------|-------------|-------------|--|----------|----------|--------------|------------|------------|-------------|-------------|
| | X | Y | Z | aposteriorní | | | upravené | | X | Y | Z | aposteriorní | | | upravené | |
| | | | | σ_X | σ_Y | σ_Z | σ_X' | σ_Y' | | | | σ_X | σ_Y | σ_Z | σ_X' | σ_Y' |
| | [m] | [m] | [m] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [m] | [m] | [m] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] |
| M | 195,8865 | 309,4993 | 242,0980 | 0,07 | 0,07 | 0,11 | 0,09 | 0,09 | 195,8864 | 309,4993 | 242,0983 | 0,07 | 0,07 | 0,12 | 0,09 | 0,09 |
| P2 | 361,9977 | 162,5775 | 225,3885 | 0,09 | 0,13 | 0,23 | 0,10 | 0,14 | 361,9980 | 162,5770 | 225,3876 | 0,09 | 0,14 | 0,27 | 0,10 | 0,15 |
| P6 | 156,3216 | 322,9703 | 259,6361 | 0,08 | 0,08 | 0,12 | 0,09 | 0,09 | 156,3214 | 322,9699 | 259,6364 | 0,08 | 0,08 | 0,13 | 0,09 | 0,09 |
| P7 | 280,3095 | 404,0867 | 228,8724 | 0,10 | 0,12 | 0,15 | 0,11 | 0,13 | 280,3095 | 404,0872 | 228,8724 | 0,11 | 0,13 | 0,18 | 0,12 | 0,14 |
| P8 | 109,8181 | 443,4990 | 267,1393 | 0,10 | 0,10 | 0,15 | 0,11 | 0,11 | 109,8180 | 443,4995 | 267,1395 | 0,11 | 0,09 | 0,17 | 0,12 | 0,10 |
| 87.1 | 153,3736 | 535,3811 | 255,2245 | 0,15 | 0,10 | 0,17 | 0,16 | 0,11 | 153,3741 | 535,3808 | 255,2252 | 0,16 | 0,09 | 0,2 | 0,17 | 0,10 |
| 99.1 | 282,4442 | 535,3857 | 255,2931 | 0,18 | 0,13 | 0,26 | 0,19 | 0,14 | 282,4440 | 535,3864 | 255,2942 | 0,20 | 0,12 | 0,29 | 0,21 | 0,13 |
| 87 | 153,8692 | 543,0898 | 255,1699 | 0,15 | 0,25 | 0,18 | 0,16 | 0,26 | 153,8704 | 543,0909 | 255,1698 | 0,16 | 0,2 | 0,2 | 0,17 | 0,21 |
| 99 | 281,8424 | 543,1353 | 254,1841 | 0,19 | 0,26 | 0,26 | 0,20 | 0,26 | 281,8424 | 543,1357 | 254,1848 | 0,20 | 0,21 | 0,29 | 0,21 | 0,22 |
| Kvadratický průměr směrodatných od. (6) | | | | 0,13 | 0,15 | 0,19 | 0,14 | 0,16 | | | | 0,14 | 0,13 | 0,21 | 0,15 | 0,14 |
| Souřadnicová směrodatná odchylka (5) | | | | 0,14 | | 0,15 | | 0,15 | | | | | | 0,14 | | 0,15 |

| Číslo bodu | Základní etapa – celá síť | | | | | | | | Ověřovací etapa – celá síť | | | | | | | |
|------------|---------------------------|----------|----------|--------------|------------|------------|-------------|-------------|----------------------------|----------|----------|--------------|------------|------------|-------------|-------------|
| | X | Y | Z | aposteriorní | | | upravené | | X | Y | Z | aposteriorní | | | upravené | |
| | | | | σ_X | σ_Y | σ_Z | σ_X' | σ_Y' | | | | σ_X | σ_Y | σ_Z | σ_X' | σ_Y' |
| | [m] | [m] | [m] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [m] | [m] | [m] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] |
| M | 195,8865 | 309,4993 | 242,0980 | 0,15 | 0,14 | 0,15 | 0,16 | 0,15 | 195,8864 | 309,4992 | 242,0983 | 0,14 | 0,13 | 0,18 | 0,15 | 0,14 |
| P2 | 361,9978 | 162,5774 | 225,3885 | 0,27 | 0,19 | 0,24 | 0,27 | 0,20 | 361,9981 | 162,5771 | 225,3876 | 0,25 | 0,19 | 0,30 | 0,26 | 0,20 |
| P6 | 156,3215 | 322,9703 | 259,6361 | 0,15 | 0,16 | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 156,3213 | 322,9697 | 259,6364 | 0,14 | 0,15 | 0,19 | 0,15 | 0,16 |
| P7 | 280,3095 | 404,0868 | 228,8724 | 0,12 | 0,17 | 0,18 | 0,13 | 0,18 | 280,3094 | 404,0872 | 228,8724 | 0,13 | 0,17 | 0,22 | 0,14 | 0,18 |
| P8 | 109,8181 | 443,4991 | 267,1393 | 0,09 | 0,19 | 0,14 | 0,10 | 0,20 | 109,8182 | 443,4996 | 267,1397 | 0,11 | 0,17 | 0,17 | 0,12 | 0,18 |
| 87.1 | 153,3739 | 535,3815 | 255,2245 | 0,07 | 0,15 | 0,07 | 0,09 | 0,16 | 153,3746 | 535,3810 | 255,2254 | 0,08 | 0,13 | 0,09 | 0,09 | 0,14 |

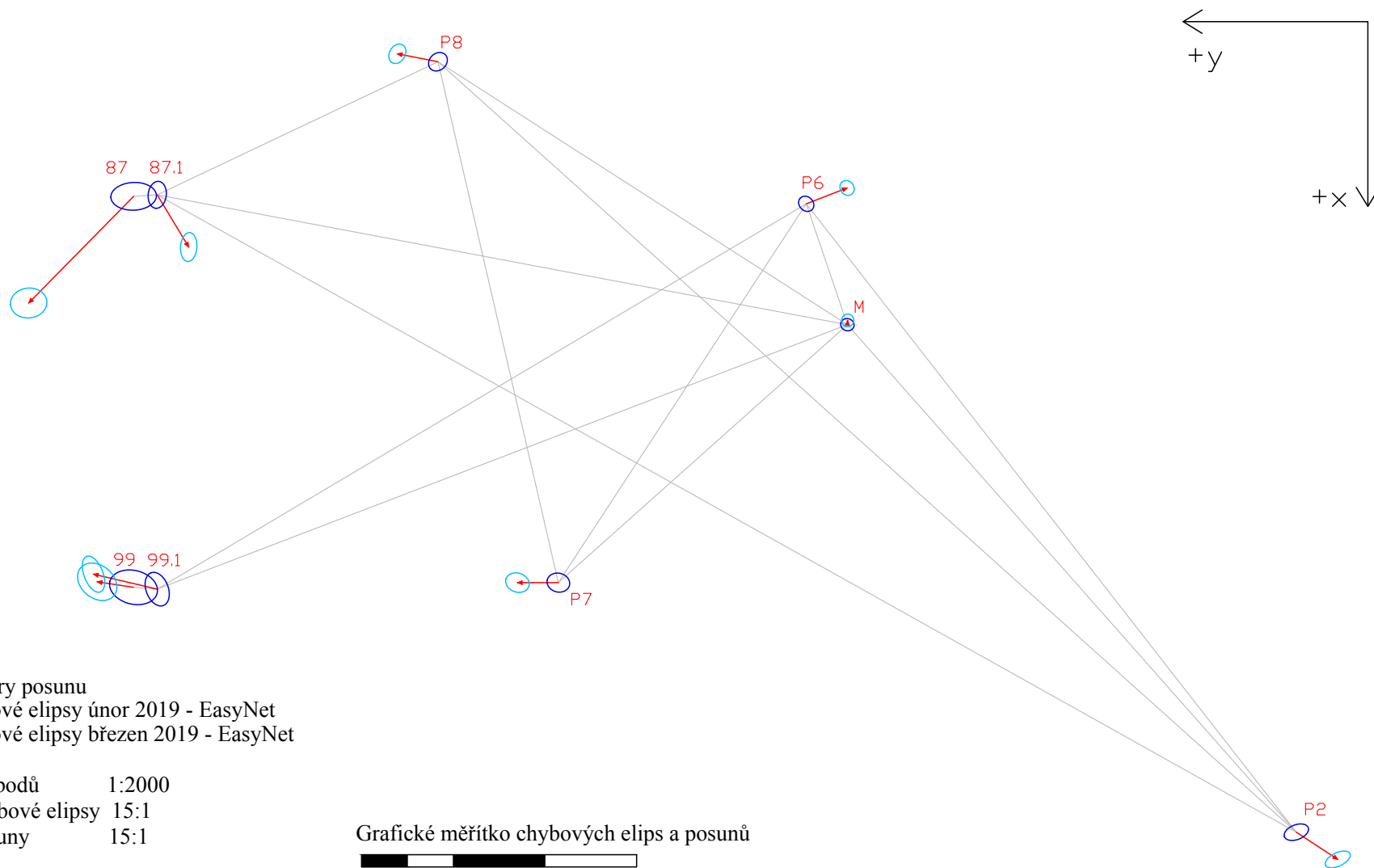
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|------|------|------|------|------|----------|----------|----------|------|------|------|------|------|
| 99.1 | 282,4422 | 535,3867 | 255,2932 | 0,09 | 0,14 | 0,10 | 0,10 | 0,15 | 282,4428 | 535,3868 | 255,2939 | 0,11 | 0,13 | 0,13 | 0,12 | 0,14 |
| 81 | 101,6989 | 543,7516 | 262,7798 | 0,26 | 0,24 | 0,12 | 0,30 | 0,28 | 101,6995 | 543,7541 | 262,7799 | 0,27 | 0,24 | 0,14 | 0,30 | 0,28 |
| 82 | 112,9124 | 544,2012 | 262,6023 | 0,23 | 0,21 | 0,14 | 0,27 | 0,25 | 112,9128 | 544,2055 | 262,6005 | 0,25 | 0,20 | 0,15 | 0,29 | 0,24 |
| 83 | 120,5110 | 544,0894 | 259,1034 | 0,24 | 0,18 | 0,12 | 0,28 | 0,23 | 120,5117 | 544,0910 | 259,1036 | 0,26 | 0,17 | 0,14 | 0,30 | 0,22 |
| 84 | 125,8308 | 544,1487 | 255,6877 | 0,09 | 0,17 | 0,07 | 0,10 | 0,18 | 125,8307 | 544,1502 | 255,6878 | 0,12 | 0,16 | 0,09 | 0,13 | 0,17 |
| 85 | 133,9603 | 544,2281 | 255,2048 | 0,12 | 0,15 | 0,07 | 0,19 | 0,21 | 133,9604 | 544,2296 | 255,2050 | 0,17 | 0,14 | 0,10 | 0,22 | 0,20 |
| 86 | 142,9639 | 544,1416 | 255,1188 | 0,13 | 0,13 | 0,07 | 0,19 | 0,19 | 142,9638 | 544,1428 | 255,1191 | 0,17 | 0,12 | 0,09 | 0,22 | 0,19 |
| 87 | 153,8696 | 543,0901 | 255,1699 | 0,07 | 0,11 | 0,06 | 0,09 | 0,12 | 153,8708 | 543,0911 | 255,1700 | 0,08 | 0,10 | 0,09 | 0,09 | 0,11 |
| 88 | 164,0871 | 544,1720 | 254,9099 | 0,12 | 0,09 | 0,07 | 0,19 | 0,17 | 164,0879 | 544,1728 | 254,9101 | 0,17 | 0,09 | 0,10 | 0,22 | 0,17 |
| 89 | 176,0688 | 544,1373 | 254,8527 | 0,15 | 0,08 | 0,09 | 0,21 | 0,16 | 176,0690 | 544,1379 | 254,8528 | 0,23 | 0,10 | 0,13 | 0,27 | 0,17 |
| 90 | 186,5108 | 544,1759 | 254,7364 | 0,15 | 0,09 | 0,11 | 0,21 | 0,17 | 186,5112 | 544,1762 | 254,7366 | 0,23 | 0,12 | 0,17 | 0,27 | 0,19 |
| 91 | 196,9743 | 544,1123 | 254,6206 | 0,15 | 0,10 | 0,13 | 0,21 | 0,17 | 196,9746 | 544,1124 | 254,6209 | 0,23 | 0,15 | 0,22 | 0,27 | 0,21 |
| 92 | 208,1023 | 544,1848 | 254,4702 | 0,15 | 0,12 | 0,16 | 0,21 | 0,19 | 208,1024 | 544,1845 | 254,4701 | 0,23 | 0,19 | 0,26 | 0,27 | 0,24 |
| 93 | 217,9581 | 544,1080 | 254,3795 | 0,12 | 0,10 | 0,09 | 0,19 | 0,17 | 217,9587 | 544,1076 | 254,3797 | 0,17 | 0,11 | 0,12 | 0,22 | 0,18 |
| 94 | 228,7670 | 544,0531 | 254,4783 | 0,08 | 0,10 | 0,08 | 0,09 | 0,11 | 228,7673 | 544,0527 | 254,4786 | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,11 | 0,12 |
| 95 | 239,4006 | 544,0927 | 254,1458 | 0,14 | 0,11 | 0,09 | 0,20 | 0,18 | 239,4010 | 544,0921 | 254,1461 | 0,17 | 0,12 | 0,12 | 0,22 | 0,19 |
| 96 | 250,3800 | 544,1111 | 254,0635 | 0,14 | 0,13 | 0,10 | 0,20 | 0,19 | 250,3801 | 544,1109 | 254,0640 | 0,17 | 0,13 | 0,13 | 0,22 | 0,19 |
| 97 | 259,3467 | 544,1249 | 254,0189 | 0,18 | 0,13 | 0,11 | 0,23 | 0,19 | 259,3469 | 544,1246 | 254,0194 | 0,24 | 0,13 | 0,17 | 0,28 | 0,19 |
| 98 | 270,2256 | 544,0923 | 253,9868 | 0,18 | 0,15 | 0,10 | 0,23 | 0,21 | 270,2260 | 544,0923 | 253,9872 | 0,24 | 0,13 | 0,14 | 0,28 | 0,19 |
| 99 | 281,8404 | 543,1363 | 254,1842 | 0,09 | 0,17 | 0,09 | 0,10 | 0,18 | 281,8411 | 543,1361 | 254,1845 | 0,11 | 0,15 | 0,13 | 0,12 | 0,16 |
| 100 | 290,3524 | 544,1012 | 254,0291 | 0,18 | 0,19 | 0,09 | 0,23 | 0,24 | 290,3528 | 544,1013 | 254,0296 | 0,24 | 0,17 | 0,13 | 0,28 | 0,22 |
| 101 | 300,0455 | 543,9121 | 254,0844 | 0,18 | 0,21 | 0,11 | 0,23 | 0,25 | 300,0459 | 543,9122 | 254,0847 | 0,24 | 0,19 | 0,15 | 0,28 | 0,24 |
| 102 | 305,7144 | 543,3280 | 254,1971 | 0,18 | 0,23 | 0,12 | 0,23 | 0,27 | 305,7145 | 543,3278 | 254,1977 | 0,24 | 0,21 | 0,17 | 0,28 | 0,25 |
| 4001 | 115,9155 | 543,4344 | 260,9796 | 0,14 | 0,19 | 0,09 | 0,15 | 0,20 | 115,9161 | 543,4362 | 260,9797 | 0,17 | 0,19 | 0,12 | 0,18 | 0,20 |
| Kvadratický průměr směrodatných od. (6) | | | | 0,16 | 0,16 | 0,12 | 0,19 | 0,19 | | | | 0,19 | 0,15 | 0,16 | 0,22 | 0,19 |
| Souřadnicová směrodatná odchylka (5) | | | | 0,16 | | | 0,19 | | | | | 0,17 | | | 0,21 | |

| Číslo bodu | Základní etapa – revizní chodba | | | | | | | | Ověřovací etapa – revizní chodba | | | | | | | |
|---|---------------------------------|----------|----------|--------------|------------|------------|-------------|-------------|----------------------------------|----------|----------|--------------|------------|------------|-------------|-------------|
| | X | Y | Z | aposteriorní | | | upravené | | X | Y | Z | aposteriorní | | | upravené | |
| | | | | σ_X | σ_Y | σ_Z | σ_X' | σ_Y' | | | | σ_X | σ_Y | σ_Z | σ_X' | σ_Y' |
| | [m] | [m] | [m] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [m] | [m] | [m] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] |
| 81 | 101,6991 | 543,7516 | 262,7798 | 0,28 | 0,06 | 0,11 | 0,31 | 0,15 | 101,6993 | 543,7516 | 262,7796 | 0,27 | 0,07 | 0,11 | 0,30 | 0,16 |
| 82 | 112,9126 | 544,2012 | 262,6022 | 0,25 | 0,06 | 0,14 | 0,29 | 0,15 | 112,9125 | 544,2032 | 262,6001 | 0,25 | 0,06 | 0,14 | 0,29 | 0,15 |
| 83 | 120,5111 | 544,0894 | 259,1034 | 0,26 | 0,04 | 0,12 | 0,30 | 0,15 | 120,5114 | 544,0887 | 259,1033 | 0,26 | 0,04 | 0,13 | 0,30 | 0,15 |
| 84 | 125,8310 | 544,1487 | 255,6876 | 0,10 | 0,02 | 0,06 | 0,11 | 0,05 | 125,8305 | 544,1480 | 255,6875 | 0,12 | 0,03 | 0,08 | 0,13 | 0,06 |
| 85 | 133,9605 | 544,2281 | 255,2048 | 0,13 | 0,02 | 0,06 | 0,19 | 0,14 | 133,9601 | 544,2275 | 255,2047 | 0,17 | 0,03 | 0,08 | 0,22 | 0,14 |
| 86 | 142,9641 | 544,1415 | 255,1187 | 0,14 | 0,02 | 0,06 | 0,20 | 0,14 | 142,9636 | 544,1408 | 255,1188 | 0,17 | 0,03 | 0,08 | 0,22 | 0,14 |
| 87 | 153,8698 | 543,0901 | 255,1698 | 0,07 | 0,02 | 0,06 | 0,09 | 0,05 | 153,8706 | 543,0892 | 255,1697 | 0,09 | 0,03 | 0,07 | 0,10 | 0,06 |
| 88 | 164,0873 | 544,1720 | 254,9099 | 0,13 | 0,03 | 0,06 | 0,19 | 0,14 | 164,0877 | 544,1710 | 254,9098 | 0,17 | 0,04 | 0,08 | 0,22 | 0,15 |
| 89 | 176,0690 | 544,1373 | 254,8526 | 0,16 | 0,04 | 0,07 | 0,21 | 0,15 | 176,0688 | 544,1362 | 254,8525 | 0,24 | 0,05 | 0,10 | 0,28 | 0,15 |
| 90 | 186,5110 | 544,1758 | 254,7363 | 0,16 | 0,05 | 0,09 | 0,21 | 0,15 | 186,5110 | 544,1747 | 254,7363 | 0,24 | 0,07 | 0,13 | 0,28 | 0,16 |
| 91 | 196,9745 | 544,1122 | 254,6206 | 0,16 | 0,06 | 0,11 | 0,21 | 0,15 | 196,9744 | 544,1111 | 254,6206 | 0,24 | 0,09 | 0,16 | 0,28 | 0,17 |
| 92 | 208,1025 | 544,1847 | 254,4702 | 0,16 | 0,07 | 0,13 | 0,21 | 0,16 | 208,1023 | 544,1833 | 254,4698 | 0,24 | 0,11 | 0,20 | 0,28 | 0,18 |
| 93 | 217,9583 | 544,1079 | 254,3795 | 0,13 | 0,05 | 0,07 | 0,19 | 0,15 | 217,9583 | 544,1065 | 254,3793 | 0,16 | 0,07 | 0,09 | 0,21 | 0,16 |
| 94 | 228,7669 | 544,0531 | 254,4784 | 0,09 | 0,04 | 0,07 | 0,10 | 0,06 | 228,7669 | 544,0517 | 254,4782 | 0,10 | 0,06 | 0,09 | 0,11 | 0,08 |
| 95 | 239,4005 | 544,0926 | 254,1458 | 0,16 | 0,04 | 0,08 | 0,21 | 0,15 | 239,4006 | 544,0913 | 254,1457 | 0,17 | 0,05 | 0,09 | 0,22 | 0,15 |
| 96 | 250,3798 | 544,1111 | 254,0635 | 0,16 | 0,04 | 0,09 | 0,21 | 0,15 | 250,3797 | 544,1101 | 254,0636 | 0,17 | 0,05 | 0,10 | 0,22 | 0,15 |
| 97 | 259,3465 | 544,1249 | 254,0189 | 0,20 | 0,03 | 0,10 | 0,24 | 0,14 | 259,3464 | 544,1241 | 254,0190 | 0,26 | 0,04 | 0,13 | 0,30 | 0,15 |
| 98 | 270,2254 | 544,0923 | 253,9868 | 0,20 | 0,02 | 0,09 | 0,24 | 0,14 | 270,2255 | 544,0920 | 253,9868 | 0,25 | 0,03 | 0,11 | 0,29 | 0,14 |
| 99 | 281,8402 | 543,1363 | 254,1842 | 0,11 | 0,02 | 0,08 | 0,12 | 0,05 | 281,8407 | 543,1359 | 254,1841 | 0,13 | 0,03 | 0,11 | 0,14 | 0,06 |
| 100 | 290,3523 | 544,1012 | 254,0292 | 0,20 | 0,04 | 0,08 | 0,24 | 0,15 | 290,3523 | 544,1013 | 254,0292 | 0,25 | 0,05 | 0,11 | 0,29 | 0,15 |
| 101 | 300,0454 | 543,9121 | 254,0845 | 0,20 | 0,05 | 0,09 | 0,24 | 0,15 | 300,0455 | 543,9123 | 254,0843 | 0,26 | 0,07 | 0,12 | 0,30 | 0,16 |
| 102 | 305,7142 | 543,3280 | 254,1972 | 0,20 | 0,06 | 0,10 | 0,24 | 0,15 | 305,7141 | 543,3280 | 254,1973 | 0,26 | 0,08 | 0,14 | 0,30 | 0,16 |
| 4001 | 115,9157 | 543,4344 | 260,9795 | 0,15 | 0,03 | 0,09 | 0,16 | 0,06 | 115,9158 | 543,4338 | 260,9794 | 0,17 | 0,04 | 0,10 | 0,18 | 0,06 |
| Kvadratický průměr směrodatných od. (6) | | | | 0,17 | 0,04 | 0,09 | 0,21 | 0,13 | | | | 0,21 | 0,06 | 0,11 | 0,25 | 0,14 |
| Souřadnicová směrodatná odchylka (5) | | | | 0,13 | | | 0,18 | | | | | 0,15 | | | 0,20 | |

Příloha 14:

**Výkresy se zobrazením posunů a chybovými elipsami
z programu EN**

VD Slapy - vyrovnání vztažné sítě



- vektory posunu
- chybové elipsy únor 2019 - EasyNet
- chybové elipsy březen 2019 - EasyNet

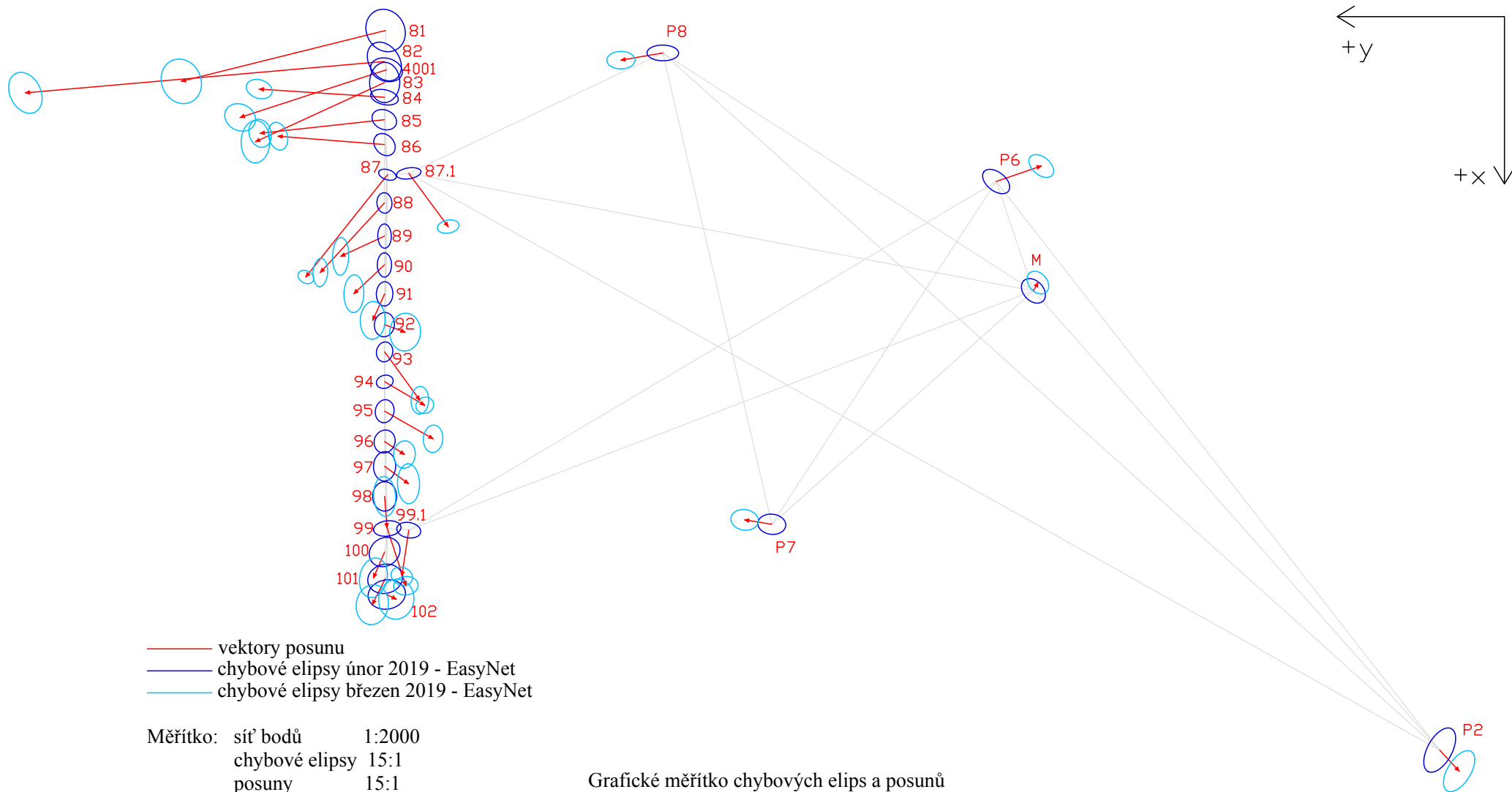
Měřítko: síť bodů 1:2000
 chybové elipsy 15:1
 posuny 15:1

Formát: A4

Grafické měřítko chybových elips a posunů

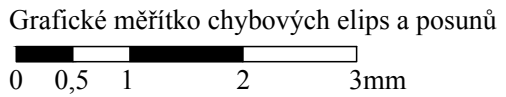


VD Slapy - vyrovnání celé sítě

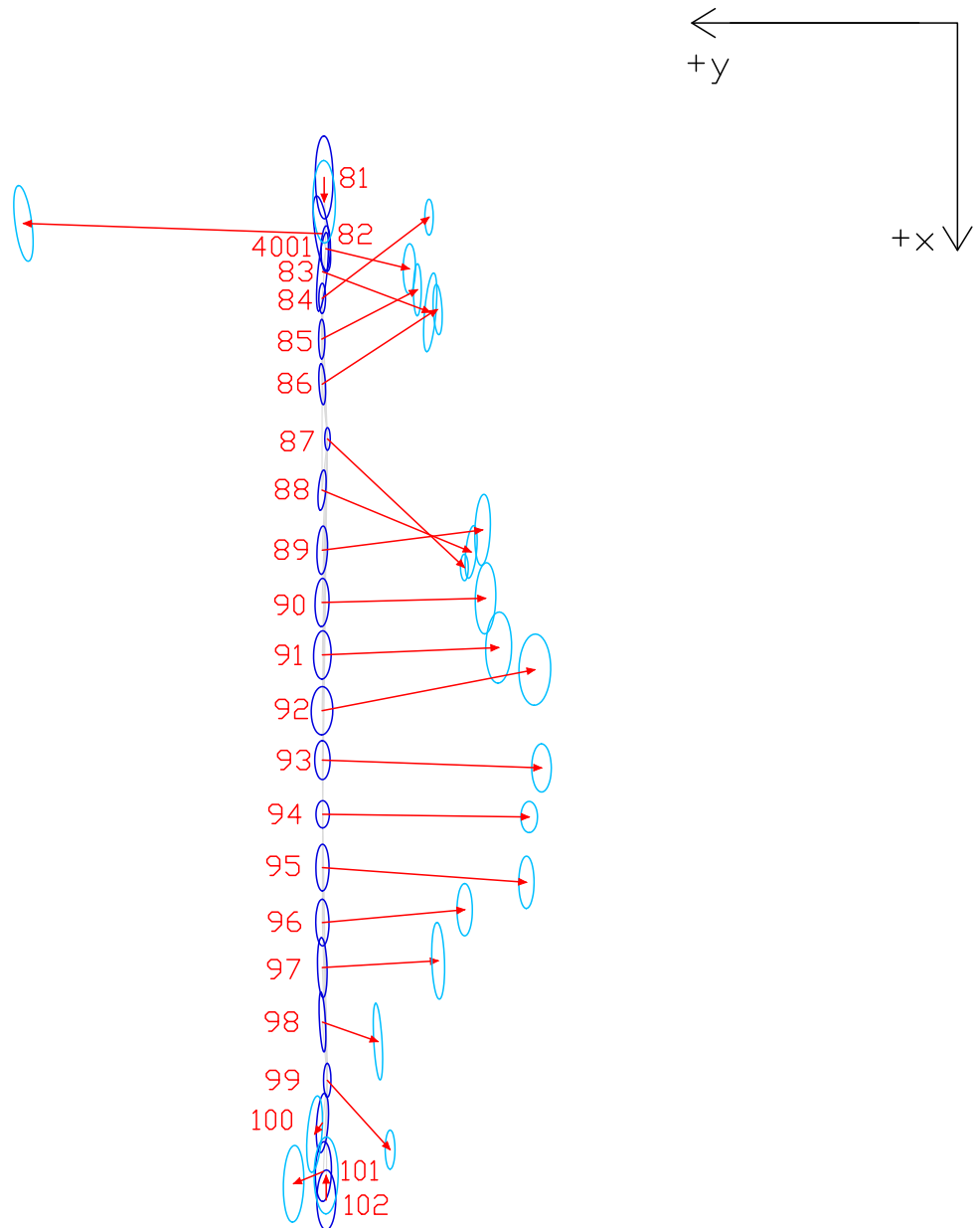


Měřítka: síť bodů 1:2000
chybové elipsy 15:1
posuny 15:1

Formát: A4



VD Slapy - vyrovnání samotné revizní chodby



- vektory posunu
- chybové elipsy únor 2019 - EasyNet
- chybové elipsy březen 2019 - EasyNet

Měřítko: síť bodů 1:1500
chybové elipsy 20:1
posuny 20:1

Formát: A4

Grafické měřítko chybových elips a posunů

