



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta stavební
Katedra speciální geodézie**

Deformace modelu říčního koryta

Diplomová práce

Studijní program: Geodézie a kartografie
Studijní obor: Geodézie a kartografie
Vedoucí práce: Doc. Ing. Rudolf Urban, Ph.D.

Bc. Petra Prouzová

Praha 2017



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Tháškova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Prouzová Jméno: Petra Osobní číslo: 396926
Zadávací katedra: Katedra speciální geodézie
Studijní program: Geodézie a kartografie
Studijní obor: Geodézie a kartografie

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Deformace modelu říčního koryta.
Název diplomové práce anglicky: Deformation of riverbed model.
Pokyny pro vypracování:
Praktické zaměření vztažné sítě a vřícovacích bodů pro laserové skenování. Rozbory přesnosti a vyrovnání vztažné sítě. Praktické zaměření modelu říčního koryta metodou laserového skenování alespoň ve dvou etapách. Zpracování modelu koryta. Porovnání modelů z jednotlivých etap skenování a vytvoření rozdílového modelu.

Seznam doporučené literatury:
Urban, R.: Geodetické práce při měření posunů a přetvoření stavebních objektů. 1. vyd. Praha. CTU Publishing House, 2015.
Štroner, M. - Hampacher, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 1. vyd. Praha: CTU Publishing House, 2011. 313 s. ISBN 978-80-01-04900-6.
Štroner a kol.: 3D skenovací systémy. 1. vyd. Praha. CTU Publishing House, 2013.

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Rudolf Urban, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce: 5.10.2016 Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2017

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“.

5. 10. 2016
Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem vypracovala diplomovou práci samostatně za odborného vedení vedoucího práce Doc. Ing. R. Urbana Ph.D. a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Praze dne

Bc. Petra Prouzová

Podpis:

Poděkování

Ráda bych zde poděkovala vedoucímu mé diplomové práce panu Doc. Ing. Rudolfu Urbanovi, Ph.D. a dále panu prof. Ing. Martinovi Štronerovi, Ph.D., Ing. Bronislavu Kostkovi, Ph.D. a Ing. Tomáši Křemenovi, Ph.D. za velikou trpělivost, ochotu čas a odborné konzultace.

Také bych chtěla poděkovat ústavu VÚV T.G.M. za poskytnutí příležitosti zaměření modelu vodního koryta. Dále bych chtěla poděkovat katedře speciální geodézie za poskytnutí přístrojů, pomůcek a softwaru.

Velké díky také patří mé babičce, přáteli, přátelům a kolegům v práci za velikou trpělivost, motivaci a podporu při studiu.

Abstrakt

Obsahem této práce je zaměření jednotlivých etap modelu vodního díla a vytvoření modelů koryta. Je zde popsán postup od počátku měření až po vytvoření jednotlivých modelů koryta z mračna bodů. Dále se popisují použité metody, přístroje k měření, vyrovnání přesných měření za použití programu EasyNet, zpracování dat laserového skenování v programu Leica Cyclone a porovnání modelu mračen bodů v programu CloudCompare.

Výsledkem této práce je vytvoření modelů koryta jednotlivých změřených etap.

Klíčová slova

3D model, deformace, laserové skenování, metoda nejmenších čtverců, mračno bodů, odrazný hranol, program Leica Cyclone, program Surphaser, program PrecisPlanner 3D, program CloudCompare, přesnost, směrodatná odchylka, stabilizace, totální stanice, vyrovnání, vztažná síť.

Abstract

Content of this work is scanning of individual phases of water construction model and creation of point cloud model. There is described process from beginning of measurement to creation of individual point cloud models. Further we describe used methods, devices for measurement, leveling of precise measurements using EasyNet program, processing of laser scanning data in Leica Cyclone program and comparison of point cloud models in CloudCompare program.

The result of this work is creation of point cloud models of individual measured phases.

Keywords

3D model, deformations, laser scanning, least squares method, point cloud, reflective prism, Leica cyclone program, Surphaser program, PrecisPlanner 3D program, CloudCompare program, precision, , stabilization, total station, standard deviation, micro-network.

OBSAH

1	Úvod.....	8
2	Model vodního díla.....	9
3	Časový harmonogram	10
4	Pomůcky a programy	11
4.1	Totální stanice Trimble S8 1" DR HP	12
4.2	Trimble CU	12
4.3	Surphaser 25 HSX – IR_X.....	13
4.4	Program EasyNet 3.4.2.....	14
4.5	Programy Leica Cyclone.....	15
4.6	Program PrecisPlanner 3D	16
4.7	Program CloudCompare	16
5	Zaměření vřícovacích bodů totální stanicí	18
5.1	Rozbory přesnosti před měřením.....	18
5.1.1	Teoretický základ.....	18
5.1.2	Praktická část	19
5.2	Příprava měřické sítě	26
5.3	Postup měřických prací	27
5.4	Rozbory přesnosti při měření.....	28
6	Zpracování měřických dat	30
6.1	Vyrovnaní MNČ.....	30
6.1.1	Princip MNČ.....	30
6.1.2	Určení váhové matice	31
6.2	Vyrovnaní zprostředkujících měření	32
6.3	Charakteristika přesnosti	34
6.4	Zpracování dat z totální stanice.....	35
6.5	Zpracování dat v programu EasyNet.....	39
6.5.1	Načtení zápisníku a prvotní úprava měření	39
6.5.2	Kontroly měření a nastavení programu	39
6.5.3	Průběh procesu zpracování dat.....	40
6.6	Zhodnocení vyrovnaných hodnot	42
6.7	Rozbory přesnosti po měření	45
7	Zaměření modelu 3D skenerem	46

8	Zpracování dat z 3D skeneru.....	49
9	Import dat do softwaru Leica Cyclone.....	49
10	Modelování vřicovacích bodů.....	50
11	Registrace jednotlivých zaměřených dnů	52
11.1	Popis Registrace.....	52
11.2	Kontrola a oprava přesnosti během registrace.....	53
12	Práce s jednotlivými mračny	53
13	Porovnání modelů	54
14	Závěr.....	61
15	Seznam použité literatury	63
16	Seznam obrázků	64
17	Seznam tabulek.....	65
18	Seznam příloh	66
19	Seznam elektronických příloh na přiloženém cd.....	66
20	Přílohy	67
20.1	Parametry Trimble S8	67
20.2	Vlastnosti Trimble CU	69
20.3	Vlastnosti 3D skeneru.....	70
20.4	Vlastnosti programu EasyNet :	71
20.5	Rozbory přesnosti při měření	72
20.6	Upravený elektronický zápisník měření	77

1 Úvod

Na Výzkumném ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka v Praze (dále VÚV) byl vytvořen zmenšený model vodního koryta řeky Labe v měřítku 1:70. Koryto slouží k plánování toku řeky Labe u města Děčín a k zjištění průtoku při různých situacích. Model koryta řeky byl vytvořen z betonu a dno řeky bylo tvořené uhlazeným pískem. Na základě zakázky od VÚV vznikl požadavek vytvořit model koryta, ze kterého se následně vytvořilo zadání této diplomové práce. Cílem této práce je tedy vytvořit model koryta z mračna bodů, který slouží k porovnání dna koryta tvořeného pískem po průtoku stoleté, či tisícileté vody, vzhledem k nulovému stavu.

Práce je členěna do tří hlavních částí: na zaměření vztažné sítě a laserového skenování modelu koryta, zpracování dat a následnému porovnání modelu po průtoku vody.

V kapitolách, které se věnují zaměření sítě, je popsána volba a rozmístění stanovisek a vřícovacích terčů použitých k horizontování, a také spojení jednotlivých mračen bodů a vytvoření modelu. Následuje podrobný popis zaměření jednotlivých terčů vztažné sítě totální stanicí. Dále jsou popsány rozbor přesnosti při měření.

Upravené hodnoty v elektronickém zápisníku byly vyrovnány v programu EasyNet. Nakonec byly provedeny rozbor přesnosti po měření pro zjištění dosažené přesnosti, a zda byla tato přesnost dostatečná.

Po zaměření vztažné sítě následuje kapitola zabývající se skenováním koryta laserovým 3D skenerem a zpracováním získaných mračen bodů.

Zpracování dat probíhalo v programech *Geomagic studio* a *Leica Cyclone*, kde byla data horizontována, zaregistrována a očištěna. Dále bylo provedeno ověření přesnosti modelu.

Na závěr byly mračna posuzovány v programu *CloudCompare* pomocí barevné hypsometrie. Tento postup byl výhodný zejména pro vyhledání deformací modelu na neměnných stranách koryta. Výsledkem této práce jsou tedy 3D modely vodního koryta a grafické porovnání změn v korytě po záplavách.

2 Model vodního díla

Model vodního koryta (Obr. 2) se nachází ve venkovním areálu Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka v Praze. Tento model byl vytvořen za účelem simulace budoucího vodního toku řeky Labe, který se má nacházet u Děčína v rámci projektu „Vylepšení navigačních podmínek na řece Labe mezi Ústí nad Labem - statní hranicí CR/FRG plavebním stupněm Děčín“.

Model byl vytvořen v měřítku 1:70. Skládá se z betonového základu, který byl vymodelován ve tvaru skutečného koryta řeky. Dno koryta je zaplněno uhlazeným pískem s velikostí zrna odpovídající opravdovému dnu koryta pro detekci a pozorování nánosů po uměle vytvořeném toku vody. Po obou stranách koryta, po jeho celé délce se nachází dřevěné přístupové cesty. Celý model je zastřešen dřevěnou střechou a obklopen síťovinou, aby nedošlo k poškození uhlazeného písku zvířaty, a aby nenapadaly do modelu nečistoty (bylo nutné zachovat nedotknutelnost dna koryta pro přesné výsledky měření).

Tento model slouží jako studie pro budoucí vodní tok a analýzu chování koryta při různých průtocích vody. Bylo třeba vyhotovit velice přesný model mračna bodů s vysokou přesností pro zkoumání nánosů písku a deformací koryta po různém povodňovém stavu (stoletá, tisíciletá povodeň).

Cílem je porovnat modely mračen bodů prvotního stavu se stavem po vyvolaném umělém toku vody.

Dříve používaná metoda (Obr. 1) využívala hrotové měřítko upevněné na pohyblivém můstku jezdicím na kolejnicích zabudovaném do modelu, kterým se zaměřily vrstevnice dna. Vrstevnice byly zařazovány špendlíky a následně byly vyznačeny bavlnkou s výškovou kótou. Model s vyznačenými vrstevnicemi byl následně zdokumentován pomocí fotogrammetrie. Tato metoda byla velice náročná na čas a navíc byla často nepřesná a neposkytovala dostatek informací.

Z výše uvedených důvodů byla vyzkoušena nová moderní metoda zaměření koryta laserovým skenováním.



Obr. 1 Vrstevnicový obraz reliéfu

3 Časový harmonogram

Zaměření koryta (Obr. 2) bylo realizováno v průběhu listopadu 2015 ve VÚV. Nejdříve bylo provedeno první měření pro určení vztažné sítě a vřícovacích bodů pomocí totální stanice. Toto měření bylo uskutečněno 3. 11. 2015 od 8 hodin do 15 hodin. V té době bylo zataženo, teplota 3,9°C a tlak 1014 kPa.

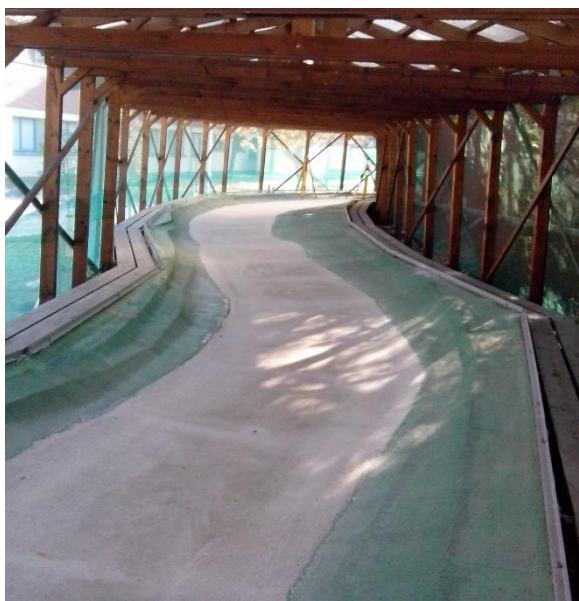
Další část měření byla provedena 3D skenerem. Toto měření bylo rozděleno do 3 etap:

první etapa 4. 11. 2015,

druhá etapa 18. 11. 2015,

třetí etapa 25. 11. 2015.

Zaměření jedné etapy trvalo přibližně 3 hodiny. Tlak a teplota se u laserového skenování neměily, protože vliv na výsledky je zanedbatelný. Zpracování měření z totální stanice proběhlo v průběhu listopadu a data z 3D skeneru byla zpracována během prosince téhož roku.



Obr. 2 Koryto

4 Pomůcky a programy

K zaměření projektu byly použity dvě měřické metody. Přesné úhlové a délkové zaměření totální stanicí sloužilo k určení vztažné sítě a laserové skenování k zaměření mračna bodů. Každá metoda využila různých pomůcek.

Pro určení vztažné sítě bylo potřeba: totální stanice Trimble S8 (sériové číslo 98111877), Trimble CU model (sériové číslo 95013242), vřícovací body (kulové terče), 4 odrazné štítky, 6 polystyrenových kulových terčů (Obr. 5), 4 odrazné hranoly Leica (sériové číslo 5902367) (Obr. 4), 6 statívů a optický centrovač (sériové číslo 20242) (Obr. 3).

U druhé metody byl využit 3D skener Surphaser 25HSX (sériové číslo BS-SCHSX025858), stativ, 16 polystyrenových kulových terčů, šuplera a notebook Asus EeePC (Obr. 6) s programem SurphExpress Standart v. 2.20. Všechny pomůcky byly zapůjčeny katedrou speciální geodézie.



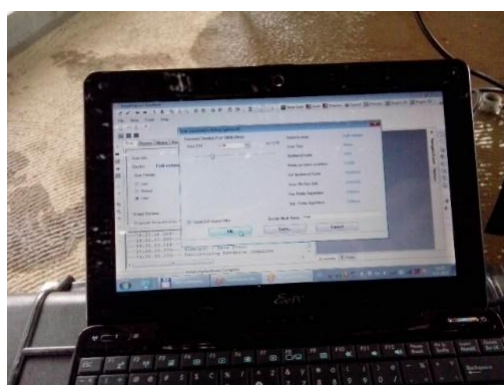
Obr. 3 Centrovač



Obr. 4 Odrazný hranol



Obr. 5 Vřícovací bod, kulový terč



Obr. 6 Asus EeePC

4.1 Totální stanice Trimble S8 1" DR HP

Výrobce totální stanice Trimble S8 1" DR HP (Obr. 7) je Kalifornská firma Trimble. Přístroj je na českém trhu od roku 2007. Jedná se o robotickou totální stanici, která má zabudovaný software Trimble Survey Controller™ a Trimble® 4D Control. Tato automatizovaná totální stanice má v geodézii široké využití v tachymetrii, inženýrské geodézii, ve sledování posunů a deformací či ve strojírenství. Výrobce udává směrodatnou odchylku při měření úhlů 0,3 mgon a směrodatnou odchylku pro měření délek 0,8 mm +1 ppm.

Parametry totální stanice Trimble S8 byly převzaty od výrobce [1] a jsou uvedeny v příloze [20.1].



Obr. 7 Totální stanice Trimble S8 1" DR HP

4.2 Trimble CU

Kontrolní jednotka Trimble CU (Obr. 8) byla vyrobena pro lehčí práci a manipulaci s totální stanicí. Kontrolní jednotka lze připnout na totální stanici nebo se dá vzít do přenosného nosiče, který dovoluje manipulaci s totální stanicí na dálku. Kontrolní jednotka je vybavena dotykovým displejem, operačním systémem Windows a bezdrátovým připojením integrovanou technologií Bluetooth.

Parametry totální stanice Trimble CU byly převzaty od výrobce [2] a jsou uvedeny v příloze [20.2].



Obr. 8 Trimble CU

4.3 Surphaser 25 HSX – IR_X

3D skener Surphaser 25 HSX-IR_X (Obr. 9) je výrobkem americké firmy Surphaser z Washingtonu. Přístroj je na českém trhu od roku 2011. Jedná se o polokulový fázový laserový 3D skener s konfigurací IR_X, který má při této konfiguraci maximální dosah 70 m. Doporučená vzdálenost je 0,4-30 m, náhodná směrodatná odchylka je 0,1 mm na 3 m a celková přesnost skeneru je lepší než 0,5 mm na 5 m. U tohoto přístroje se rychlost měření pohybuje od 216 tisíc do 1,2 miliónu bodů za sekundu v závislosti na nastavené hustotě skenovaných bodů.

Tento skener má využití ve stavitelství, geodézii, památkové péči a ve strojírenství. Software dodávaný se skenerem umožňuje export čistých a přesných datových sad do různých programů (*PolyWorks, RapidForm, Geomagic, Cysclone, RealWorks* a dalších).

Parametry 3D skeneru Surphaser 25 HSX – IR_X byly převzaty od výrobce [3] a jsou uvedeny v příloze [20.3].



Obr. 9 Surphaser 25 HSX – IR_X

4.4 Program EasyNet 3.4.2.

Aplikace EasyNet (Obr. 10) byla vyvinuta panem Ing. Třásákem, Ph.D. na katedře speciální

Stanovisko			Cíl		Měřené veličiny		
Pořadí	Číslo	Výška [m]	Číslo	Výška [m]	Vodorovný směr [gon]	Zenitový úhel [gon]	Šikmá délka [m]
1	4001	0.0000	4002	0.0000	326.23793	98.13296	3.3920
			4004	0.0000	0.38383	99.75939	25.5590
			4003	0.0000	5.15293	99.87274	24.2770
			P2	0.0000	368.36444	113.47980	6.4550
			P1	0.0000	7.96820	115.55059	5.5900
			K1	0.0000	225.29522	110.71991	0
			K2	0.0000	265.63919	111.53294	0
			K2	0.0000	65.64077	288.46998	0
			K1	0.0000	25.29567	289.28379	0
			P1	0.0000	207.97031	284.45234	5.5900
			P2	0.0000	168.36723	286.52357	6.4540
			4003	0.0000	205.15503	300.13031	24.2770
			4004	0.0000	200.38570	300.24317	25.5590
			4002	0.0000	126.24061	301.87228	3.3920

Obr. 10 EasyNET

geodézie. Slouží pro zpracování a vyhodnocování velmi přesných měření v inženýrské geodézii.

Data se v aplikaci upraví do měřických skupin, které se následně vyhodnotí robustním vyrovnáním volné prostorové geodetické sítě. Vlastnosti programu jsou popsány v příloze: [20.4].

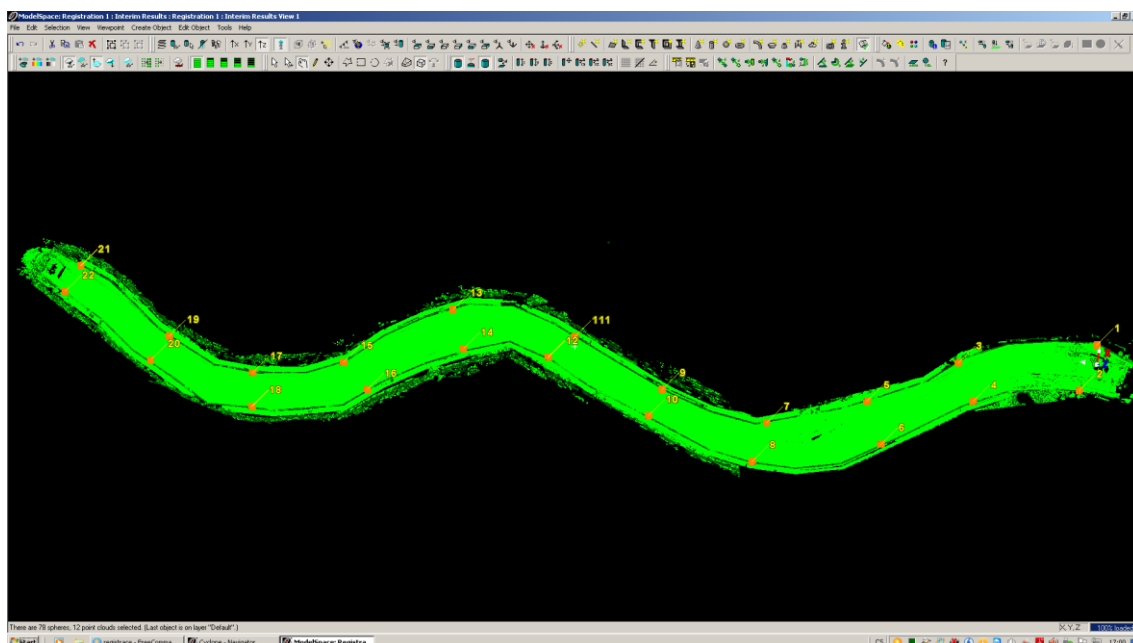
Tento program je nainstalován na školním počítači poskytnutý katedrou speciální geodézie, kde byl program využit ke zpracování měření. [9]

4.5 Programy Leica Cyclone

Leica Cyclone je skupina programů, která slouží ke zpracování mračna bodů ze skenování. Tato skupina programů umožňuje efektivně zpracovávat velké množství dat, jež jsou nedílnou součástí mračna bodů, a to díky unikátní objektové klient/server databázi. Níže uvedený obrázek (Obr. 11) zachycuje zobrazení mračna bodů s vřícovacími body v programu *Leica Cyclone – Model*.

Hlavními programy jsou:

- *Cyclone-REGISTER*: Program, který rychle a přesně natransformuje získaná mračna bodů z jednotlivých skenů.
- *Cyclone-MODEL*: Nástroj umožňující expertům použít mračna bodů přímo, případně je změnit na objekty pro robustní export/import do z programu CAD a jiných programů. Program má největší, kompletní a automatizovanou sadu nástrojů v průmyslu pro přesné modelování mračen bodů jako CAD geometrie nebo sítě pro inženýrství, skenování, architekturu a další podobné aplikace.

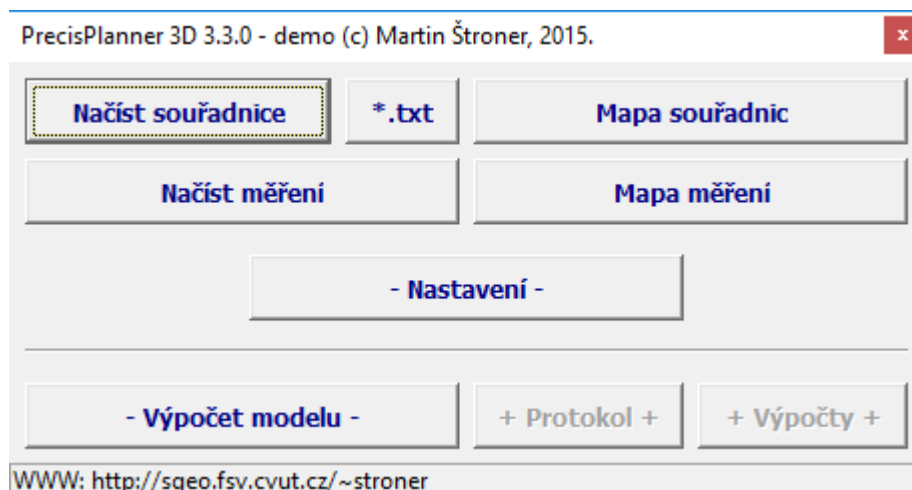


Obr. 11 Leica Cyclone

Tento program byl využit na školním počítači poskytnutý katedrou speciální geodézie na zpracování dat z 3D skeneru.

4.6 Program PrecisPlanner 3D

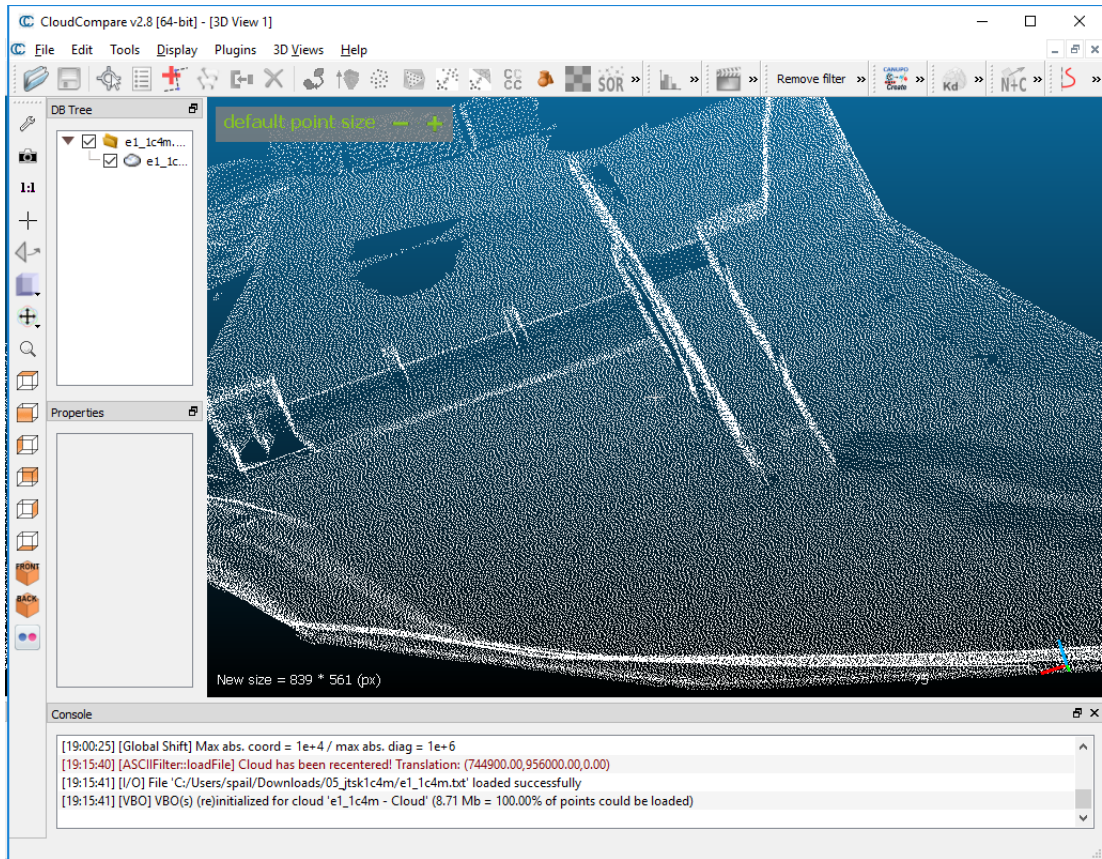
Program PrecisPlanner 3D (Obr. 12) vytvořil prof. Ing. Martin Štroner, Ph.D.. Slouží k vytvoření modelu za pomoci přibližných souřadnic pro úlohy s vyrovnáním, úlohy bez vyrovnání a volné i vázané úlohy pro rozbor přesnosti před měřením. Dále program vypočítává směrodatné odchylky souřadnic, parametry elipsoidu chyb, kovarianční matice směrodatné odchylky centrace a směrodatné odchylky z výšky přístroje a cíle [4].



Obr. 12 Program PrecisPlanner 3D

4.7 Program CloudCompare

Program CloudCompare (Obr. 13) byl vytvořen v roce 2003. Program slouží pro zpracování mračna bodů, trojúhelníkových sítí a kalibrovaných obrázků. Původně byl vytvořen pro rychlou detekci změny v 3D mračnecích bodů s vysokou hustotou získaných z laserového skenování v průmyslových zařízeních. Po nějakém čase bylo vyvíjení softwaru směřováno k obecnějšímu a pokročilejšímu zpracování 3D dat. Nyní je program nezávislým open source projektem a svobodným softwarem.



Obr. 13 CloudCompare

5 Zaměření vřícovacích bodů totální stanicí

Zaměření šesti vřícovacích bodů totální stanicí vztažné sítě je nezbytné pro napojení zaměřených dat z 3D skeneru. Tato kapitola se zabývá rozboru přesnosti před měřením, přípravou měřické sítě, postupem měřických prací a rozborům přesnosti při měření.

5.1 Rozbor přesnosti před měřením

Rozbor přesnosti byl proveden z důvodu volby měřického postupu. Dále rozbor přesnosti ze zadané přesnosti použitých pomůcek stanoví počet opakování, aby byla splněna požadovaná přesnost.

5.1.1 Teoretický základ

Přesnost učení změny ve skutečnosti bylo s požadovanou přesností 0,15 m (0,15 m je velikost balvanů, které reprezentují dno koryta) zadavatelem práce. Pro model v měřítku 1:70 je přesnost $2,1 \approx 2$ mm. Přesnost 2 mm je určena pro posun a změnu, ale to vše pouze ve výšce, protože se posuzují změny v terénu dna koryta.

Směrodatná odchylka posunu (posun = rozdíl dvou etap) je $\sigma_p = 1$ mm.

$$\sigma_p = \frac{\delta_p}{u_p}, \quad (5.1)$$

Kde:

$\delta_p = 2$ mm požadovaná přesnost

$u_p = 2$ koeficient spolehlivosti

Na jednu etapu vychází směrodatná odchylka $\sigma_{p_1et} = 0,7$ mm ze vzorce.

$$\sigma_{p_1et} = \frac{\sigma_p}{\sqrt{2}} \quad (5.2)$$

Vzhledem k tomu, že na síť je potřeba napojit ještě skenování, jehož přesnost a opakovatelnost v etapách nebyla úplně známá, byla po konzultaci s prof. Ing. Martinem Štronerem, Ph.D. zvolena pro zaměření vztažné sítě požadovaná přesnost 0,3 mm a na skenování v jedné etapě bylo odvozeno 0,64 mm podle zákona o hromadění směrodatných odchylek [7].

$$\sigma_l = \sqrt{\sigma_{p_1et}^2 - \sigma_{pp}^2} \quad (5.3)$$
$$0,64 = \sqrt{0,7^2 - 0,3^2} [mm]$$

Vzhledem k přesnosti délek a krátkým záměrům měla být požadovaná přesnost teoreticky splnitelná.

Pomocí rozborů přesnosti před měřeními byla vybrána metoda měření ve dvou skupinách a ve dvou polohách dalekohledu. Byla vytvořena vztažná síť a zvolené pomůcky. Bylo zkoumáno, zda je dostatečná přesnost směrodatných odchylek Z-ových souřadnic při zvyšování počtu měření.

Pro rozbor přesnosti byl vytvořen chybový model. Výpočet byl proveden v programu *PrecisPlanner3D*.

Program si sestavil matice derivací A pro vyrovnání a váhovou matici P , kde při sestavení vah byla použita směrodatná odchylka jednotková apriorní.

Model volné geodetické sítě je dán normálními rovnicemi:

$$\begin{pmatrix} A^T P A & B \\ B^T & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dx \\ k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} A^T P l' \\ b \end{pmatrix} = 0 \quad (5.4)$$

A matice derivací

P váhová matice daná přesností měřených veličin

B, b podmínky umístění do prostoru dané volbou výpočtu a konfigurací

l' vektor redukovaných měření

dx vektor přírůstků neznámých oproti přibližným hodnotám

k vektor korelát

Určí se kovarianční matice M , která popisuje přesnost výsledků vyrovnání:

$$M = \sigma_0^2 \cdot \begin{pmatrix} A^T P A & B \\ B^T & 0 \end{pmatrix}^{-1} \quad (5.5)$$

σ_0 směrodatná odchylka jednotková apriorní

5.1.2 Praktická část

Do programu byla vložena přibližná konfigurace vztažné sítě, ze které byly vypočteny přesnosti sítě.

Nejdříve bylo potřeba zvolit přibližné (fiktivní) souřadnice s použitím projektové dokumentace modelu koryta. Zvolené přibližné souřadnice stanovisek a měřených bodů byly vymodelované měření (Obr. 14). Rozmístění stanovisek bylo zvoleno až na místě měření.

Program vypočítal přesnosti měřených veličin s ohledem na počet opakování.

Po konzultaci s prof. Ing. Martinem Štronerem, Ph.D. byla volena směrodatná odchylka směru pro jednu skupinu $\sigma_{\varphi 1sk} = 1 \text{ mgon}$ a pro délky z důvodu blízkých vzdáleností.

$$\sigma_{d1sk} = 1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm} \cdot sd[\text{km}] \quad (5.7)$$

kde sd šikmá vzdálenost v km

Směrodatná odchylky pro měření směrů pro dvě skupiny $\sigma_{\varphi 2sk}$ se vypočetla:

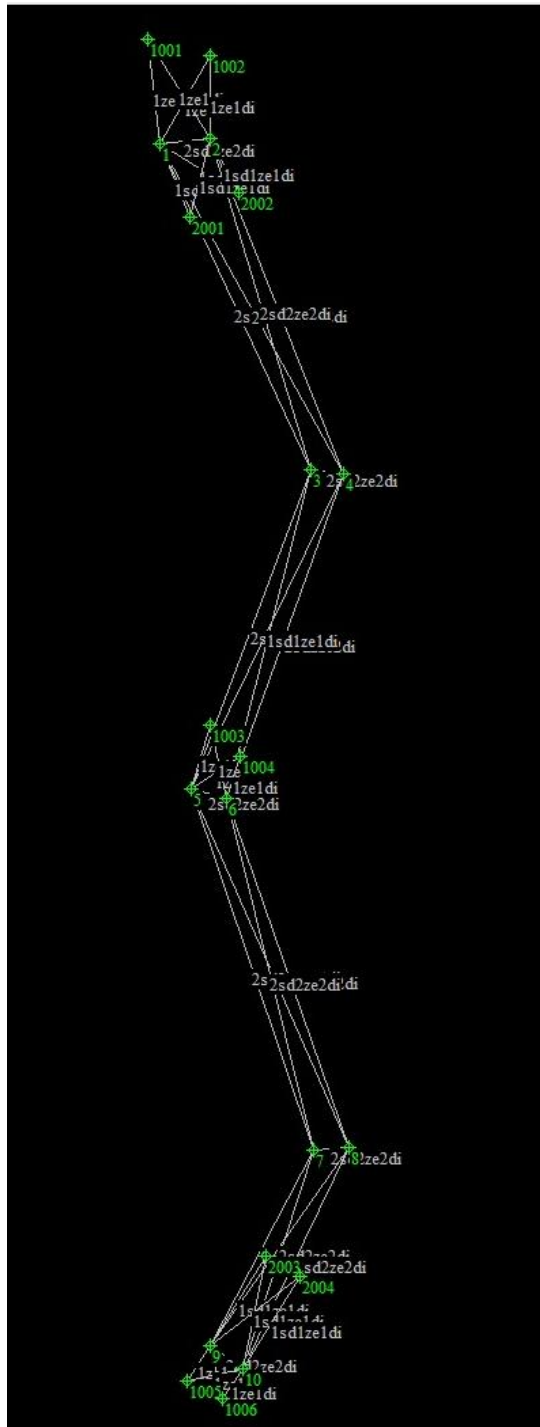
$$\sigma_{\varphi 2sk} = \frac{\sigma_{\varphi 1sk}}{\sqrt{2}} \quad (5.8)$$

$$\sigma_{\varphi 2sk} = 0,71 \text{ mgon} \quad (5.9)$$

kde $\sigma_{\varphi 1sk} = 1 \text{ mgon}$ směrodatná odchylka směru pro jednu skupinu

A přesnost pro délku $\sigma_{d2sk} = \sigma_{d1sk}$ zůstala stejná z důvodu krátkých záměr. Tyto přesnosti byly vloženy do programu (Tab. 1), a bylo zkoumáno, zda vypočtené přesnosti jsou dostačující pro přesnost vztažné sítě.

Program vypočítal model a přesnosti (kovarianční matice, směrodatné odchylky souřadnic a parametry elips). Tyto přesnosti byly posouzeny jako dostatečné pro daný účel.



Obr. 14 Mapa měření programu PrecisPlanner

Na (Obr. 14) je znázorněna vztažná síť. Č. bodů 1-10 jsou fiktivní stanoviště, 1001-1006 jsou vřícovací body a 2001-2004 jsou odrazné štítky. Mezi jednotlivými body je znázorněno, co se měří: *sd* šikmá vzdálenost, *ze* horizontální směr, *di* zenitový úhel.

Tab. 1 Rozbory přesnosti před měřením - zadaná přesnost

Typ	Stanovisko	Cíl	Přesnost
zu	1.00	3.00	0.00071
di	1.00	3.00	0.00071
sd	1.00	3.00	0.00102
zu	1.00	4.00	0.00071
di	1.00	4.00	0.00071
sd	1.00	4.00	0.00103
zu	1.00	2.00	0.00071
di	1.00	2.00	0.00071
sd	1.00	2.00	0.00100
zu	1.00	1001.00	0.00071
di	1.00	1001.00	0.00071
zu	1.00	1002.00	0.00071
di	1.00	1002.00	0.00071
zu	1.00	2001.00	0.00071
di	1.00	2001.00	0.00071
sd	1.00	2001.00	0.00101
zu	1.00	2002.00	0.00071

zu horizontální směr - přesnost 0,71 mgon

di zenitový úhel - přesnost 0,71 mgon

sd šikmá vzdálenost - přesnost 1 mm + 1 ppm · sd [km]

Požadavek od zadavatele byl pouze na výšku. Jedná se o model říčního koryta, proto malý posun v poloze způsobí velmi malou změnu ve výšce. Po konzultaci s prof. Ing. Martinem Štronerem, Ph.D. byla učena požadovaná přesnost 1mm pro jednu souřadnici.

Pro souřadnice Z byla volena 0 (Tab. 2), protože při návrhu sítě nebyly k dispozici výšky modelu. Většinou řeka bývá vodorovná, a také je zde předpoklad, že stativy budou stavěny přibližně stejně vysoko.

Směrodatné odchylky Z-ové souřadnice splňují požadovanou přesnosti 0,3 mm a směrodatné souřadnicové odchylky též splňují požadovanou přesnost pro jednu souřadnici 1 mm, viz. (Tab. 3).

Tab. 2 Zadané přibližné souřadnice.

Souřadnice v místním systému			
Č.b.	X/m	Y/m	Z/m
1	11,05	-30,01	0,00
2	14,42	-30,36	0,00
3	21,23	-7,97	0,00
4	23,48	-7,68	0,00
5	13,20	13,67	0,00
6	15,56	14,34	0,00
7	21,43	38,10	0,00
8	23,84	37,87	0,00
9	14,43	51,34	0,00
10	16,62	52,85	0,00
1001	10,22	-37,08	0,00
1002	14,43	-35,96	0,00
1003	14,46	9,28	0,00
1004	16,51	11,44	0,00
1005	12,86	53,73	0,00
1006	15,27	54,91	0,00
2001	13,10	-24,99	0,00
2002	16,39	-26,66	0,00
2003	18,26	45,22	0,00
2004	20,56	46,63	0,00

Tab. 3 Směrodatné odchylky souřadnic.

Směrodatné odchylky souřadnic			
Č.b.	s(X)/mm	s(Y)/mm	s(Z)/mm
1	0,16	0,37	0,11
2	0,12	0,36	0,11
3	0,15	0,30	0,09
4	0,18	0,31	0,09
5	0,19	0,25	0,07
6	0,18	0,26	0,07
7	0,12	0,30	0,09
8	0,15	0,30	0,09
9	0,13	0,36	0,10
10	0,13	0,37	0,10
1001	0,30	0,76	0,13
1002	0,19	0,65	0,12
1003	0,18	0,45	0,09
1004	0,24	0,32	0,09
1005	0,26	0,41	0,11
1006	0,14	0,46	0,11
2001	0,10	0,48	0,12
2002	0,22	0,43	0,12
2003	0,18	0,50	0,12
2004	0,28	0,45	0,12

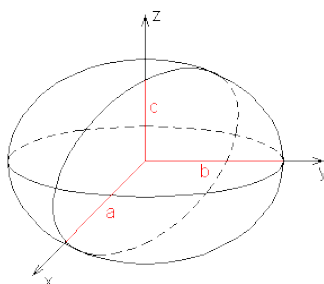
Elipsoid chyb je množina trojrozměrných normálně rozdělených náhodných chyb se stejnou hustotou pravděpodobností. Elipsoid chyb má tyto poloosy (Obr. 15) a parametry jednotlivých bodů jsou uvedeny v Tab. 4.

Popis parametrů elipsoidu:

a - hlavní poloosa elipsoidu

b - vedlejší poloosa elipsoidu

c - poloosa elipsoidu



Obr. 15 Elipsoid

Tab. 4 Elipsoid chyb

Elipsoid chyb			
Č.b.	a/mm	b/mm	c/mm
1	0,37	0,16	0,11
2	0,37	0,12	0,11
3	0,15	0,30	0,09
4	0,18	0,31	0,09
5	0,19	0,26	0,07
6	0,18	0,26	0,07
7	0,12	0,30	0,09
8	0,15	0,30	0,09
9	0,36	0,13	0,10
10	0,37	0,13	0,10
1001	0,80	0,18	0,13
1002	0,66	0,16	0,12
1003	0,45	0,18	0,09
1004	0,35	0,20	0,09
1005	0,43	0,23	0,11
1006	0,46	0,14	0,11
2001	0,48	0,10	0,12
2002	0,45	0,17	0,12
2003	0,14	0,52	0,12
2004	0,49	0,21	0,12

Přesnost určení výšky přístroje/cíle a centrace je uvedena v (Tab. 5, Tab. 6). Přesnost centrace a změny výšky byly dány opakovaným upínáním přístrojů/cílů do trojnožky. Tedy při změně umístění cíle a totální stanice při měření dojde ke změně výšky a centrace, která se musí dále zohlednit při výpočtech přesnosti. Hodnoty pro vstup do programu byly přesnost centrace a výšky cíle 0,00005 mgon, tyto hodnoty byly konzultovány s prof. Ing. Martinem Štronerem, Ph.D. Při záměrách na větší vzdálenosti, například 100m, jsou tyto odchylky zanedbatelné, ale při záměrách na 5 m již mají znatelný vliv na přesnost měření.

Tab. 5 Směrodatná odchylka přesnosti výšky přístroje a cíle.

Směrodatná odchylka přesnosti výšky přístroje a cíle			
Č.b.	z(a)/mm	z(b)/mm	z(c)/mm
1	0,10	0,10	0,20
2	0,10	0,10	0,20
3	0,10	0,10	0,20
4	0,10	0,10	0,00
5	0,10	0,10	0,00
6	0,10	0,10	0,00
7	0,10	0,10	0,00
8	0,10	0,10	0,00
9	0,10	0,10	0,20
10	0,10	0,10	0,00
1001	0,10	0,10	0,20
1002	0,10	0,10	0,20
1003	0,10	0,10	0,00
1004	0,10	0,10	0,00
1005	0,10	0,10	0,00
1006	0,10	0,10	0,00
2001	0,10	0,10	0,20
2002	0,10	0,10	0,00
2003	0,10	0,10	0,00
2004	0,10	0,10	0,00

Tab. 6 Směrodatné odchylky přesnosti centrace

Směrodatná odchylka přesnosti centrace			
Č.b.	w(a)/mm	w(b)/mm	w(c)/mm
1	-0,10	0,00	0,00
2	-0,11	0,00	0,01
3	-0,20	-0,02	-0,02
4	0,00	0,01	-0,19
5	0,01	0,00	-0,20
6	0,00	0,03	-0,19
7	-0,20	0,02	-0,15
8	-0,20	0,00	-0,01
9	0,10	-0,01	-0,01
10	-0,10	0,20	0,01
1001	-0,12	-0,02	-0,18
1002	0,11	0,11	0,10
1003	0,10	0,03	-0,17
1004	0,13	0,10	0,01
1005	0,12	-0,10	0,18
1006	0,10	-0,09	-0,20
2001	-0,10	0,10	-0,01
2002	-0,12	0,10	-0,18
2003	0,01	0,10	-0,14
2004	0,13	0,00	-0,19

Směrodatná odchylka přesnosti výšky přístroje a cíle a centrace v osách:

z(a), w(a) ... v ose x

z(b), w(b) ... v ose y

z(c), w(c) ... v ose z

5.2 Příprava měřické sítě

Po příjezdu byla zjištěna situace. Připravily se pomůcky. Vyndal se teploměr a tlakoměr. Nejdříve byly namontovány polystyrenové kulové terče (vlícovací body) na začátek, střed a na konec modelu vždy po jeho obou stranách do připravených závitů trvale zalitých do betonu (Obr. 5). Dále byly namontovány čtyři odrazné štítky, jejichž usazení bylo důležité pro zajištění sítě. Dva štítky byly umístěny za první dva polystyrenové kulové terče po směru toku a druhé dva štítky byly umístěny před poslední dva kulové terče.

V další fázi bylo třeba zvážit umístění jednotlivých stanovisek. U modelu vodního toku byl zakázán dotyk s prostřední částí modelu, kde byl uhlazený písek.

Prvních šest stanovisek bylo rozmístěno tak, že první dvě stanoviska byla zvolena mezi první pár kulových terčů a první pár odrazných štítků. Další dvě stanoviska byla zvolena mezi první pár kulových terčů a druhý pár kulových terčů tak, aby byla dobrá viditelnost na všechny potřebné body. Třetí pár stanovisek byl umístěn za pár kulových terčů. Takto byla stanoviska volena po celé délce koryta.

Na jednotlivá stanoviska byl postaven stativ s trojnožkou. Každá trojnožka byla zhorizontována pomocí centrovače (Obr. 3). Na prvním stanovisku (Obr. 16) byla připevněna totální stanice a na zbylá stanoviska byly připevněny odrazné hranoly, které byly natočeny na totální stanici.

Po takto připravené části měřické sítě bylo možné začít měření.



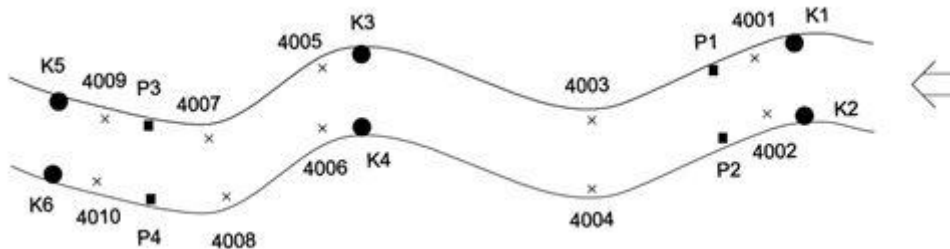
Obr. 16 Koryto

5.3 Postup měřických prací

V totální stanici byla nejprve nastavena zakázka. Jednotlivá stanoviška byla zaměřena jako prostorová síť. Byly měřeny horizontální směry, vertikální úhly a šikmé vzdálenosti. Na stanoviškách 4001, 4002, 4005, 4006, 4009 a 4010 byly dále měřeny horizontální směry a zenitové úhly na polystyrenové kulové terče a to vždy na levé, pravé, horní a dolní straně. Na stanoviškách 4001, 4002, 4009 a 4010 byly změřeny také odrazné štítky, na které se měřila kromě úhlů i vzdálenost.

Vše bylo měřeno ve dvou polohách dalekohledu a ve dvou skupinách s automatickým cílením a ručním docilováním dle výsledků z rozboru přesnosti před měřením. Ruční docilování bylo zvoleno z důvodu větší přesnosti u krátkých vzdáleností. Po zaměření obou skupin byly v přístroji zobrazeny naměřené hodnoty pro provedení rozborů přesnosti při měření.

Značení jednotlivých stanovišek, štítků a vlíčovacích bodů je znázorněno v náčrtu (Obr. 17).



Obr. 17 náčrt vlíčovacích bodů

Na obrázku je znázorněno: K1, K2, -, K6 vlíčovací body, P1, P2, P3, P4 odrazné štítky, 4001, 4002, -, 4010 stanoviška totální stanice, šipka ukazuje směr toku koryta.

5.4 Rozbory přesnosti při měření

Totální stanice umožňovala kontrolovat přesnost jednotlivých směrů vždy na konci měřické skupiny a tím byl prováděn rozbor přesnosti při měření. Tím bylo zajištěno dodržení předpokládané přesnosti měření.

Na základě rozborů přesnosti před měřením je směrodatná odchylka směru v jedné skupině:

$$\sigma_{\varphi 1sk} = 1 \text{ mgon} \quad (5.10)$$

Mezní rozdíl měření směrů mezi skupinami se stanoví dle vzorce:

$$\Delta_{mez\varphi} = u_p \cdot \sqrt{2} \cdot \sigma_{\varphi 1sk} = 2,8 \text{ mgon} \quad (5.11)$$

kde $u_p = 2$.

Rozdíl měřených hodnot mezi skupinami byl porovnáván v terénu po zaměření stanoviska.

$$\varphi_{1sk.} - \varphi_{2sk.} < \Delta_{mez\varphi} \quad (5.12)$$

Dále z rozborů přesnosti před měřením je směrodatná odchylka délky v jedné skupině:

$$\sigma_{d1sk} = 1 \text{ mm} \quad (5.13)$$

Mezní oprava měření délek, mezi skupinami:

$$\Delta_{mez d} = u_p \cdot \sqrt{2} \cdot \sigma_{d1sk} = 2,8 \text{ mm} \quad (5.14)$$

Rozdíl měřených hodnot mezi skupinami byl porovnáván v terénu po zaměření stanoviska.

$$sd_{1sk.} - sd_{2sk.} < \Delta_{mez d} \quad (5.15)$$

Dodatečně byla vyhotovena tabulka s posouzením rozborů přesnosti při měření (v přílohách Tab. 15, Tab. 16, Tab. 17 pro přehlednost je zde ukázka (Tab. 7).

Tab. 7 Ukázka z Tab. 16 rozboru přesnosti při měření

Horizontální směry [gon]									
Stan.	bod	I.poloha				II.poloha			
		1.sk.	2.sk.	rozdíl	splňuje	1.sk.	2.sk.	rozdíl	splňuje
4001	4002	326,2379	326,2407	-0,0027	Ano	126,2406	126,2409	-0,0003	Ano
	4004	0,3838	0,3851	-0,0012	Ano	200,3857	200,3857	0,0000	Ano
	4003	5,1529	5,1541	-0,0012	Ano	205,1550	205,1557	-0,0006	Ano
	P1	7,9682	7,9686	-0,0004	Ano	207,9703	207,9712	-0,0009	Ano
	P2	368,3644	368,3655	-0,0011	Ano	168,3672	168,3669	0,0003	Ano
	K1L	224,6358	224,6360	-0,0003	Ano	24,6367	24,6371	-0,0004	Ano
	K1P	225,9547	225,9550	-0,0003	Ano	25,9547	25,9559	-0,0012	Ano
	K2L	264,9521	264,9524	-0,0003	Ano	64,9526	64,9538	-0,0011	Ano
K2P	266,3263	266,3273	-0,0010	Ano	66,3289	66,3280	0,0009	Ano	

Některé hodnoty nesplňovaly mezní rozdíl. Na stanovisku 4002 ve směru na stanovisko 4001 nebyl dodržen mezní rozdíl u měřeného horizontálního směru $3,2 \text{ mgon} > 2,8 \text{ mgon}$ a zenitového úhlu $3,5 \text{ mgon} > 2,8 \text{ mgon}$. Hodnoty jsou velké, ale byla brána v potaz velmi krátká vzdálenost $3,392 \text{ m}$, která při úhlové odchylce $3,2 \text{ mgon}$ dělala v příčném směru $0,00017 \text{ mm}$. Dále na stanovisku 4006 nebyl dodržen mezní rozdíl v horizontálním směru na kulový terč $3,4 \text{ mgon} > 2,8 \text{ mgon}$ a na stanovisku 4009 to samé $3,3 \text{ mgon} > 2,8 \text{ mgon}$ a $3,7 \text{ mgon} > 2,8 \text{ mgon}$. U kulového terče došlo k překročení mezního rozdílu z důvodu obtížné rozeznatelnosti hrany terče. Toto překročení lze považovat za zanedbatelné.

Po konzultaci s vedoucím práce nebylo přidáno měření z důvodu, že překročení hodnot je minimální na tak velmi krátkou vzdálenost.

6 Zpracování měřických dat

V této kapitole je popsáno vyrovnání MNČ, vyrovnání zprostředkujícího měření, charakteristika přesnosti, zpracování dat z totální stanice, zpracování dat v programu EasyNet [9], zhodnocení vyrovnaných hodnot a rozbor přesnosti po měření. Výsledkem zpracování jsou vyrovnané souřadnice vřícovacích bodů.

6.1 Vyrovnání MNČ

Pro zvýšení přesnosti výsledku a vyloučení hrubých chyb se měření neznámé veličiny opakují anebo se měří další veličiny ve vzájemném vztahu. Každá měřená hodnota má různý vliv měřických chyb. Z tohoto důvodu jsou k dispozici nadbytečná měření. Díky různým vlivům měřických chyb není řešení úlohy jednoznačné a je potřeba provést vyrovnání. Vyrovnání je výpočet nejpravděpodobnějších hodnot neznámých měřených veličin a odstranění nesrovnalostí ve vztazích.

Informace pro kapitoly (6.1, 6.2, 6.3) byly čerpány z [6].

Rozdělení vyrovnání podle způsobu:

- vyrovnání měření přímých – jedna neznámá veličina měřená nezávisle vícekrát
- vyrovnání měření zprostředkujících – více neznámých veličin jsou s neznámými ve známém funkčním vztahu
- vyrovnání měření podmínkových – jednotlivé veličiny měřeny přímo, současně však mají splnit předem danou podmínku
- další kombinované způsoby

Vyrovnávacích metod je více, ale v geodézii se nejvíce využívá vyrovnání pomocí metody MNČ.

6.1.1 Princip MNČ

Principem vyrovnání MNČ je, aby součet druhých mocnin oprav na jednotlivých bodech byl minimální:

$$v^T \cdot P \cdot v = \min \quad (6.1)$$

v ... vektor oprav,

P ... váhová matice koeficientů

MNČ má dvě podmínky:

- měření musí být vzájemně nezávislé.
- náhodné chyby měření musí mít náhodné rozdělení pravděpodobnosti.

Musí existovat nadbytek měření, aby mohlo dojít k vyrovnání.

Náhodný výběr ze základního souboru možných hodnot je každé měření l_1, \dots, l_n s různě přesným výsledkem. Měření je zatíženo skutečnými chybami ε_i . Neznámé skutečné hodnoty se označují L_i a platí vztah:

$$L_i = l_i + \varepsilon_i \quad (6.2)$$

Neznáme ani nemůžeme určit skutečné hodnoty chyb ε_i a skutečné hodnoty L_i , proto se za pomoci aproximace L_i určí vyrovnaná hodnota \bar{l}_i . Potom má tvar rovnice oprav v_i :

$$v_i = \bar{l}_i - l_i \quad (6.3)$$

6.1.2 Určení váhové matice

Při vyrovnání se musí zavést váhy z důvodu různé přesnosti veličin (délky, úhlu). Váhy ovlivňují výsledek u hodnot měřené s vyšší přesností, které se zavádějí do vyrovnání.

Váhy jsou závislé na směrodatné odchylce. Vztah pro váhy je poměr hodnot a platí:

$$p_i = \frac{k}{\sigma_i^2} \quad (6.4)$$

k vhodně zvolená konstanta

σ_i směrodatná odchylka

Je patrné, že součin vah a druhé mocniny směrodatných odchylek měření je konstantní

$$p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_n = \frac{1}{\sigma_1^2} \cdot \frac{1}{\sigma_2^2} \cdot \dots \cdot \frac{1}{\sigma_n^2} \quad (6.5)$$

$$p_i \sigma_i^2 = k \quad (6.6)$$

Pokud použijeme měření o váze $p_0 = 1$, pak měření odpovídá jednotková směrodatná odchylka σ_0 .

Poté platí vztah: $\sigma_i^2 = k$ a po dosazení do vzorce získáme základní vztah pro určení váhy:

$$p_i = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_i^2} \quad (6.7)$$

6.2 Vyrovnání zprostředkujících měření

V této práci bylo vyrovnání provedeno metodou vyrovnání zprostředkujících měření. Tato metoda se využívá, když nejsou měřené hledané veličiny (souřadnice) přímo, ale určují se z prostředkujících měření. Přímě měřené veličiny jsou ve vzájemném funkčním vztahu s hledanými veličinami, proto platí vztah [6]:

$$L = l + \varepsilon = L(x^T) \quad (6.8)$$

x vektor neznámých hodnot

Dále převedeme L za \bar{l} a získá se vztah:

$$\bar{l} = l + v = \bar{l}(x^T) \quad (6.9)$$

Z toho můžeme odvodit rovnice oprav:

$$v = \bar{l}(x^T) - l \quad (6.10)$$

Pro tuto rovnici musí být splněna podmínka minima (6.1) a musí mít lineární tvar. Toho dosáhneme rozvojem funkčního vztahu v Taylorově řadě s omezením na členy prvního řádu. Je potřeba zavést přibližné hodnoty neznámých x_0 , ve kterých bude funkce Taylorovým rozvojem aproximovaná, vyjádřit $x = x_0 + dx$ a dosadíme do rovnic oprav:

$$v = \bar{l}(x_0^T) + \left(\frac{\delta \bar{l}(x^T)}{\delta x^T} \right)_{x=x_0} dx - l \quad (6.11)$$

Následuje sestavení matice plánu A . Tato matice obsahuje parciální derivace funkčních vztahů podle jednotlivých neznámých parametrů:

$$A = \begin{pmatrix} \frac{\delta \bar{l}_1(x^T)}{\delta x_1} & \dots & \frac{\delta \bar{l}_1(x^T)}{\delta x_k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\delta \bar{l}_n(x^T)}{\delta x_1} & \dots & \frac{\delta \bar{l}_n(x^T)}{\delta x_k} \end{pmatrix} \quad (6.12)$$

n počet měřených veličin

k počet neznámých parametrů

Definuje se vektor redukovaných měření $l' = l - \bar{l}(x_0^T)$ a po dosazení do rovnice oprav platí:

$$v = Adx - l' \quad (6.13)$$

Vypočítáme vektor vyrovnaných přírůstků neznámých:

$$dx = (A^T P A)^{-1} \cdot A^T P l' \quad (6.14)$$

Z takto určených přírůstků se určí vyrovnané hodnoty neznámých parametrů:

$$x = x_0 + dx \quad (6.15)$$

Následovně se z vektoru vyrovnaných přírůstků určí opravy a poté se z nich určí vyrovnané hodnoty měřených veličin:

$$\bar{l} = l + v \quad (6.16)$$

Provede se kontrola druhým výpočtem oprav:

$$v^{II} = \bar{l}(x^T) - l \quad (6.17)$$

Výpočty oprav podle prvního (6.13) a druhého (6.17) postupu se musejí rovnat. Pokud se nerovnají, je potřeba zkontrolovat linearizaci anebo přičtení přírůstků (6.14).[6]

6.3 Charakteristika přesnosti

Charakteristikou přesnosti hodnotí se spolehlivost vyrovnaných hodnot [6].

- Odhad aposteriorní jednotkové směrodatné odchylky:

$$m'_0 = \sqrt{\frac{v^T P v}{n - k}} \quad (6.18)$$

n počet všech měření

k počet všech nutných měření.

- Směrodatné odchylky vyrovnaných neznámých:

$$\bar{m}_x = \bar{m}'_0 \sqrt{Q x_i x_j} \quad (6.19)$$

$Q x_i x_j$ diagonální prvky kovarianční matice Q_x , pro které platí vztah:

$$Q_x = N^{-1} = (A^T P A)^{-1} \quad (6.20)$$

- Směrodatné odchylky vyrovnaných měření:

$$\bar{m}_x = \bar{m}'_0 \sqrt{Q \bar{l}_i \bar{l}_j} \quad (6.21)$$

$Q \bar{l}_i \bar{l}_j$ diagonální prvky kovarianční matice $Q_{\bar{l}}$, pro kterou platí vztah:

$$Q_{\bar{l}} = A (A^T P A)^{-1} A^T \quad (6.22)$$

6.4 Zpracování dat z totální stanice

Nejdříve byly upraveny hodnoty v elektronickém zápisníku. Byla potřeba z naměřených hodnot na vlíčovací body udělat průměry, aby byly získány hodnoty pro středy kulových terčů. Byly vzaty vodorovné směry levé a pravé strany kulového terče a ty byly zprůměrovány. Poté byly zprůměrovány zenitové úhly horní hrany a spodní hrany. Takto byly získané hodnoty horizontálních směrů a vertikálních úhlů středů kulových terčů. Jednotlivé průměry kulových terčů byly vypočteny v Tab. 8 a Tab. 9.

V elektronickém zápisníku byly upraveny směry na vlíčovací body, kde u jednotlivých vlíčovacích bodů vystupovala pouze jedna hodnota vodorovného směru a zenitového úhlu.

Dále bylo v elektronickém zápisníku odmazáno 8 řádků hlavičky a byla odsunuta hodnota -1, která odděluje stanoviska, až na konec stanoviska pro načtení do programu EasyNet.

V neposlední řadě byla u elektronického zápisníku změněna koncovka na .asc. Takto byl připravený elektronický zápisník (příložený v příloze 20.6) pro import do programu EasyNet. Výsledná tabulka zprůměrování kulových terčů pro dosazení do elektronického zápisníku je uvedena v přílohách [20.6] (pro přehlednost je zde ukázáno jen jedno stanovisko vstupního souboru připraveného pro program EasyNet (Obr. 18)).

Tab. 8 Horizontální směry

stanovisko		Horizontální směry															
		I. poloha						II. poloha									
		část	1.sk [gon]	průměr [gon]	2.sk [gon]	průměr [gon]	1.sk [gon]	průměr [gon]	2.sk [gon]	průměr [gon]							
4001	K1	L	224,63575		224,63601		24,63665		24,63709		25,95469		25,95588		25,29649		
		P	225,95469	225,29522		225,95499	225,29550		25,95469	25,29567		64,95263		64,95375		65,64086	
	K2	L	264,95211		264,95241		266,32890		396,55579		397,73753		31,97503		31,97455		32,81704
		P	266,32626	265,63919		266,32730	265,63986		66,32890	65,64077		396,55538		397,73827		397,14683	
4002	K1	L	196,55460		196,55371		197,73757		197,73690		232,81547		49,46118		49,46118		50,49579
		P	197,73757	197,14609		197,73690	197,14531		33,65957	32,81730		51,52929		51,53039		51,53039	
	K2	L	231,97209		231,97247		293,73595		293,73716		294,92142		93,73716		93,73815		94,92239
		P	233,65850	232,81530		233,65846	232,81547		296,10688	294,92037		18,13222		18,13120		18,13120	
4005	K3	L	249,45929		249,45931		218,13042		218,13042		219,04314		19,95959		19,95615		19,04368
		P	251,52887	250,49408		251,52890	250,49411		219,95585	219,04270		51,41597		51,41552		51,41552	
	K4	L	293,73574		293,73595		254,51287		252,96393		252,96393		54,51188		54,51291		52,96422
		P	296,10499	294,92037		296,10688	294,92142		16,68699	16,68699		216,68705		216,68632		216,68632	
4006	K3	L	218,12901		218,13042		19,25573		19,25573		17,97136		219,25605		219,25714		217,97173
		P	219,95638	219,04270		219,95585	219,04314		17,96867	17,96867		268,09464		268,09566		268,09566	
	K4	L	251,41400		251,41499		71,39336		69,74418		69,74418		271,39361		271,39578		269,74572
		P	254,51225	252,96313		254,51287	252,96393		71,39336	69,74195		267,80317		267,80435		267,80435	
4009	K6	L	16,68325		16,68699		67,80346		67,80346		69,71042		271,62052		271,61920		269,71178
		P	19,25408	17,96867		19,25573	17,97136		71,61978	69,71057		316,92318		316,92309		316,92309	
	K5	L	68,09170		68,09499		116,92231		116,92231		118,13182		319,34048		319,34144		318,13227
		P	71,39220	69,74195		71,39336	69,74418		119,34133	118,13056		318,13183		319,34048		319,34144	
4010	K6	L	67,80135		67,80346		118,13056		118,13056		118,13182		319,34048		319,34144		318,13227
		P	71,61978	69,71057		71,61738	69,71042		119,34133	118,13056		318,13183		319,34048		319,34144	
	K5	L	116,92161		116,92231		118,13056		118,13056		118,13182		319,34048		319,34144		318,13227
		P	119,33951	118,13056		119,34133	118,13182		119,34133	118,13056		318,13183		319,34048		319,34144	

Tab. 9 Zenitové úhly

Zenitové úhly												
stanovisko	bod	část	I. poloha				II. poloha					
			1.sk [gon]	průměr [gon]	2.sk [gon]	průměr [gon]	1.sk [gon]	průměr [gon]	2.sk [gon]	průměr [gon]		
4001	K1	H	110,06556	110,06482	110,06482	289,93800	289,93811	289,93811				
		D	111,37426	110,71991	111,37523	110,72003	288,62957	289,28379	288,62961	289,28386		
	K2	H	110,85320		110,85317		289,14995		289,14988			
		D	112,21267	111,53294	112,21278	111,53298	287,79000	288,46998	287,78959	288,46974		
4002	K1	H	109,83203		109,83285		290,16942		290,17009			
		D	111,00586	110,41895	111,00616	110,41951	288,99793	289,58368	288,99707	289,58358		
	K2	H	114,26389		114,26359		285,73859		285,73938			
		D	115,90432	115,08411	115,90499	115,08429	284,09857	284,91858	284,09954	284,91946		
4005	K3	H	115,23992		115,24085		284,76428		284,76462			
		D	117,24297	116,24145	117,24506	116,24296	282,75907	283,76168	282,75967	283,76215		
	K4	H	117,35242		117,35171		282,65078		282,65271			
		D	119,61568	118,48405	119,61613	118,48392	280,38751	281,51915	280,38658	281,51965		
4006	K3	H	112,26382		112,26408		287,74045		287,74116			
		D	114,05513	113,15948	114,05464	113,15936	285,95027	286,84536	285,94922	286,84519		
	K4	H	120,34386		120,34256		279,66257		279,66179			
		D	123,25514	121,79950	123,25495	121,79876	276,74992	278,20625	276,75051	278,20615		
4009	K6	H	120,13815		120,13666		279,86694		279,86780			
		D	122,55874	121,34845	122,56000	121,34833	277,44532	278,65613	277,44561	278,65671		
	K5	H	124,96401		124,96218		275,04209		275,04262			
		D	127,97486	126,46944	127,97523	126,46871	272,03165	273,53687	272,03154	273,53708		
4010	K6	H	129,34782		129,34677		270,65989		270,65936			
		D	132,72312	131,03547	132,72393	131,03535	267,28358	268,97174	267,28202	268,97069		
	K5	H	119,35022		119,34996		280,65436		280,65503			
		D	121,66016	120,50519	121,66139	120,50568	278,34348	279,49892	278,34348	279,49926		

1 4001 0
-1
4002 3.3920 0 326.23793 98.13296
4004 25.5590 0 0.38383 99.75939
4003 24.2770 0 5.15293 99.87274
P2 6.4550 0 368.36444 113.47980
P1 5.5900 0 7.96820 115.55059
K1 0 0 225.29522 110.71991
K2 0 0 265.63919 111.53294
K2 0 0 65.64077 288.46998
K1 0 0 25.29567 289.28379
P1 5.5900 0 207.97031 284.45234
P2 6.4540 0 168.36723 286.52357
4003 24.2770 0 205.15503 300.13031
4004 25.5590 0 200.38570 300.24317
4002 3.3920 0 126.24061 301.87228
4002 3.3920 0 326.24067 98.13169
4004 25.5590 0 0.38506 99.75867
4003 24.2770 0 5.15412 99.87247
P2 6.4550 0 368.36553 113.47920
P1 5.5900 0 7.96863 115.55099
K1 0 0 225.29550 110.72003
K2 0 0 265.63986 111.53298
K2 0 0 65.64086 288.46974
K1 0 0 25.29649 289.28386
P1 5.5890 0 207.97120 284.45308
P2 6.4530 0 168.36693 286.52386
4003 24.2770 0 205.15565 300.13011
4004 25.5590 0 200.38570 300.24385
4002 3.3920 0 126.24092 301.87402
/

(Obr. 18) Ukázka elektrického zápisníku připraveného pro načtení do programu EasyNet

Na prvním řádku je číslo stanoviška.

Na třetím řádku je číslo cíle, šikmá vzdálenost, výška cíle, horizontální směr a zenitový úhel.

6.5 Zpracování dat v programu EasyNet

V této kapitole je uveden ucelený postup zpracování v programu EasyNet.

6.5.1 Načtení zápisníku a prvotní úprava měření

Zpracování probíhalo na školním počítači, který měl program nainstalován s hardwarovým klíčem. Tento počítač byl zpřístupněn katedrou speciální geodézie.

Projekt byl založen. Připravená data v elektronickém zápisníku s příponou .asc byla načtena. Byla provedena detekce měřických skupin. U každého stanoviska bylo rozděleno měření na skupiny, které byly barevně rozlišeny. Dále byla rozpoznána I. a II. poloha měření. Pokud nebyla provedena detekce správně, tak bylo nutné jednotlivé řádky přemístit, aby měření bylo rozpoznáno dobře.

Nastavení - Vyrovnání sítě	
Vyloučení odlehlých hodnot	Směrodatná odchylka měřené veličiny
Hladina významnosti: 0.01	Vodorovný směr [mgon]: 1.000
Metoda robustního odhadu: Huber	Zenitový úhel [mgon]: 1.000
Analyzované veličiny	Šikmá délka [mm]: 0.50
<input checked="" type="checkbox"/> Vodorovný směr	<input checked="" type="checkbox"/> Šikmá délka (doplňek)
<input checked="" type="checkbox"/> Zenitový úhel	<input checked="" type="checkbox"/> Směrník
<input checked="" type="checkbox"/> Šikmá délka	<input checked="" type="checkbox"/> Převýšení
	<input checked="" type="checkbox"/> Svislé provažování
Ukončení iteračního vyrovnání	Směrodatná odchylka doplňkové veličiny
Maximální počet iterací: 100	Šikmá délka [mm]: 2.00
Maximální změna robustní váhy: 0.001	Směrník [mgon]: 0.500
Maximální změna souřadnice bodu [mm]: 0.010	Převýšení [mm]: 1.00
	Svislé provažování [mm]: 1.00
	A priori jednotková směrodatná odchylka
	1
	Vložit [Ent] Ukončit [Esc]

Obr. 19 EasyNet - Nastavení vyrovnání sítě

6.5.2 Kontroly měření a nastavení programu

Byla provedena mezipolohová a meziskupinová kontrola měření. Tato kontrola musí splňovat kritéria mezních rozdílů (uvedeno v kapitole 5.1).

Byly nastaveny parametry pro redukci délek a měřítkový koeficient 1, protože bylo měřeno v místním souřadnicovém systému. V nastavení pro vyrovnání sítě bylo nastaveno vyloučení odlehlých hodnot na hladině významnosti 0,01 (1% měření se vyloučí) a metoda robustního odhadu Huber (Tyto odhady jsou založeny na metodě maximální věrohodnosti. Při volbě robustní odhadové funkce vychází Huber z normálního rozdělení náhodné veličiny [8]). Dále byly analyzované všechny

veličiny. Toto nastavení sloužilo k odhalení hrubých chyb a odlehlých měření. U ukončení iteračního vyrovnání byl maximální počet iterací 100, maximální změna robustní váhy 0,001 a maximální změna souřadnice bodu 0,01 mm. Větší počet iterací nebo snížení maximální změny souřadnic je s ohledem na dosaženou přesnost zbytečné. Dále byly nastaveny směrodatné odchylky měřených veličin. U vodorovných směrů a zenitových úhlů na 1 mgon a délek na 0,5 mm (viz. kapitola 5.1). Nakonec byla zvolena apriorní jednotková směrodatná odchylka 1. Zobrazení nastavení je na (Obr. 19).

6.5.3 Průběh procesu zpracování dat

Celkové vyrovnání se skládá ze dvou funkcí, a to z analýzy měření a vyrovnání sítě. Nejprve se provede analýza měření, která zahrnuje veškeré přípravné předpracování vstupních dat. Slouží k určení přibližných souřadnic a jejich kontroly, redukci hodnot měřených hodnot a pro apriorní analýzu geodetické sítě.

Nejdříve musely být spočteny souřadnice bodů 4001 a 4002 (Tab. 10) v místní soustavě. Tyto souřadnice byly použity jako přibližné pro vyrovnání. Do programu byly souřadnice zadány jako volné (nefixní).

Tab. 10 Souřadnice počátku vztahné sítě

č.bodu	Souřadnice bodů [m]		
	X	Y	Z
4001	10000,0000	5000,0000	200,0000
4002	10003,3905	5000,0000	200,0995

Byla zhoršena vnitřní přesnost sítě pro vzdálenosti do 5 m. Apriorní směrodatné odchylky u zenitových úhlů byly nastaveny 2,5 mgon, kvůli velké excentricitě cíle. Upravené přesnosti u hodnot byly provedeny z toho důvodu, aby došlo k výpočtům vzdálenosti mezi body a nebyly vyloučeny hodnoty z měření (Obr. 20).

Během apriorní analýzy vnitřní sítě se porovnávají opravy měření s mezními opravami stanovenými na základě kritérií meziskupinové kontroly (mezní opravy uvedeny v kapitole 5.1). U apriorní analýzy vnější sítě se porovnávají opravy s mezními opravami protisměrných měření. Obě analýzy sítě měly menší směrodatné odchylky, než byly zadané, což je patrné z (Obr. 20) a byla tedy dosažena minimální požadovaná směrodatná odchylka.

Po nastavení analýzy bylo vypočteno vyrovnání sítě (Obr. 22) metodou MNČ, která je popsána v kapitole (6.2). Získaly se vyrovnané souřadnice se směrodatnými odchylkami. Výsledky jsou popsány v kapitole (6.6).

Stanovisko		Cíl	Měřené veličiny		
Pořadí	Číslo	Číslo	Vodorovný směr [mgon]	Zenitový úhel [mgon]	Šikmá délka [mm]
1	4001	4002	-	2.500	-
		4004	-	-	-
		4003	-	-	-
		P2	-	-	-
		P1	-	-	-
		K1	-	-	-
		K2	-	-	-
		4002	-	2.500	-
		4004	-	-	-
		4003	-	-	-
		P2	-	-	-
		P1	-	-	-
		K1	-	-	-
		K2	-	-	-
2	4002	4001	-	2.500	-
		4004	-	-	-
		4003	-	-	-
		K1	-	-	-
		K2	-	-	-
		P2	-	-	-
		P1	-	-	-
		4001	-	2.500	-
		4004	-	-	-
		4003	-	-	-
		K1	-	-	-
		K2	-	-	-
		P2	-	-	-
		P1	-	-	-
3	4004	4003	-	2.500	-
		4001	-	-	-
		4002	-	-	-
0 / 124			1.000	1.000	0.50

Obr. 20 Apriorní směrodatné odchylky

Apriorní analýza sítě

Směrodatná odchylka měřené veličiny

1. Vnitřní přesnost sítě

Vodorovný směr [mgon]: 0.473

Zenitový úhel [mgon]: 0.467

Šikmá délka [mm]: 0.30

2. Vnější přesnost sítě

Vodorovný směr [mgon]: 0.843

Zenitový úhel [mgon]: 2.620

Šikmá délka [mm]: 0.32

3. Zadaná přesnost sítě

Vodorovný směr [mgon]: 1.000

Zenitový úhel [mgon]: 1.000

Šikmá délka [mm]: 0.50

Apriorní jednotková směrodatná odchylka

1

Vložit [Ent] Ukončit [Esc]

Obr. 21 Apriorní analýza sítě

6.6 Zhodnocení vyrovnaných hodnot

Pomocí aplikace byly spočteny vyrovnané souřadnice a její směrodatné odchylky (Tab. 11). Po vyrovnání byla vypočtena aposteriorní jednotková směrodatná odchylka:

$$s_0 = 0,74 \quad (6.23)$$

To svědčí o lepší dosažené přesnosti, neboť apriorní jednotková směrodatná odchylka byla zvolena 1 (Obr. 22).

Celkem bylo vyrovnáno 20 bodů, 338 měření, 119 vodorovných směrů, 119 zenitový úhlů, 100 šikmých délek a počet nadbytečného měření bylo 272.

Vyloučení odlehlých hodnot		Vyrovnání sítě	
Metoda robustního odhadu:	Huber	Apriorní jednotková směrodatná odchylka:	1.000
Hladina významnosti:	0.01	Aposterioorní jednotková směrodatná odchylka:	0.740
Počet vyloučených odlehlých hodnot:	10/348 [0.029]	Počet fixních bodů:	0
Vodorovný směr:	5/124 [0.040]	Počet vyrovnaných bodů:	20
Zenitový úhel:	5/124 [0.040]	Počet vyrovnaných orientačních posunů:	10
Šikmá délka:	0/100 [0.000]	Počet vyrovnaných měření:	338
Šikmá délka (doplněk):	-	Vodorovný směr:	119
Směrník:	-	Zenitový úhel:	119
Převýšení:	-	Šikmá délka:	100
Svislé provažování:	-	Šikmá délka (doplněk):	0
		Směrník:	0
		Převýšení:	0
		Svislé provažování (X + Y):	0 (0)
		Počet nadbytečných měření:	272

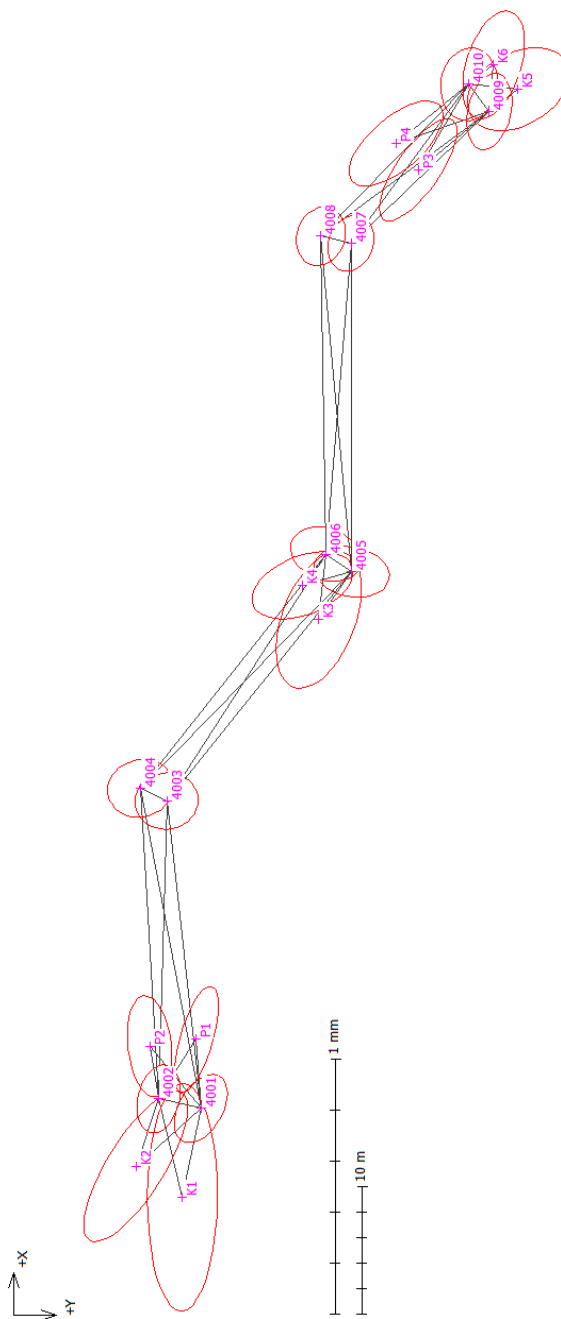
Obr. 22 Vyrovnání sítě

Při vyrovnání bylo vyloučeno 10 odlehlých hodnot (5 vodorovných směrů a 5 zenitových úhlů). Vyloučené hodnoty nepřesáhly 5%, tzn. velmi dobrý výsledek.

Dále byly vypočteny elipsoidy chyb (Obr. 23). Směrodatné odchylky (Tab. 11) vyrovnaných souřadnic jsou v rozmezí (0,05 – 0,33 mm), kde jsou důležité hlavně směrodatné odchylky v Z - ové souřadnici (0,05 – 0,10 mm). Dosažené výsledky jsou velmi dobré a svědčí o splnění požadované přesnosti.

Tab. 11 Vyrovnané souřadnice a jejich směrodatné odchytky

č. bodu	vyrovnané souřadnice [m]			směrodatné odchytky [mm]		
	x	y	z	X	y	Z
K1	9936,9269	5032,2182	198,7964	0,33	0,10	0,10
K2	9939,3209	5028,5799	198,7523	0,22	0,15	0,09
K3	9982,2387	5042,8995	198,7616	0,20	0,12	0,07
K4	9984,9301	5041,6306	198,7571	0,10	0,15	0,07
K5	10023,8854	5058,5018	198,7690	0,12	0,15	0,09
K6	10025,7679	5056,5861	198,7545	0,16	0,09	0,09
P1	9949,2999	5033,3148	198,6536	0,15	0,06	0,08
P2	9948,7619	5029,6655	198,6490	0,15	0,06	0,08
P3	10017,5282	5050,6800	198,6152	0,15	0,11	0,08
P4	10019,5928	5048,9443	198,5934	0,12	0,14	0,08
4001	9943,8884	5033,6731	200,0052	0,10	0,08	0,07
4002	9944,6313	5030,3645	200,1049	0,10	0,06	0,07
4003	9968,0176	5030,9998	200,0541	0,08	0,09	0,06
4004	9969,0095	5028,9646	200,1023	0,08	0,10	0,06
4005	9986,0012	5045,4834	199,9519	0,07	0,11	0,05
4006	9987,3783	5043,4558	199,8455	0,08	0,10	0,05
4007	10011,7775	5045,4182	199,9555	0,08	0,07	0,06
4008	10012,3246	5043,0632	200,0437	0,08	0,07	0,06
4009	10022,1162	5056,2530	200,0322	0,11	0,07	0,07
4010	10024,2457	5054,6537	200,0586	0,11	0,08	0,07



Obr. 23 Elipsy chyb

6.7 Rozbory přesnosti po měření

Rozborem přesnosti po měření byly hodnoceny dosažené výsledky a posouzeny požadované přesnosti. Tyto rozbory byly vypočteny zároveň s vyrovnáním sítě v programu EasyNet.

Posouzení:

Apriorní jednotková směrodatná odchylka je:

$$\sigma_0 = 1 \quad (6.24)$$

Mezní jednotková směrodatná odchylka se určí:

$$\sigma_{Mo} = \sigma_0 \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{2}{n}} \right] \quad (6.25)$$

$$\sigma_{Mo} = 1,1 \quad (6.26)$$

n počet nadbytečných měření.

Aposteriorní jednotková směrodatná odchylka se porovnává s mezní jednotkovou směrodatnou odchylkou:

$$s_0 = 0,740 \quad \text{aposteriorní jednotková směrodatná odchylka}$$

$$s_0 < \sigma_{Mo} \quad (6.27)$$

$$0,74 < 1,1 \quad (6.28)$$

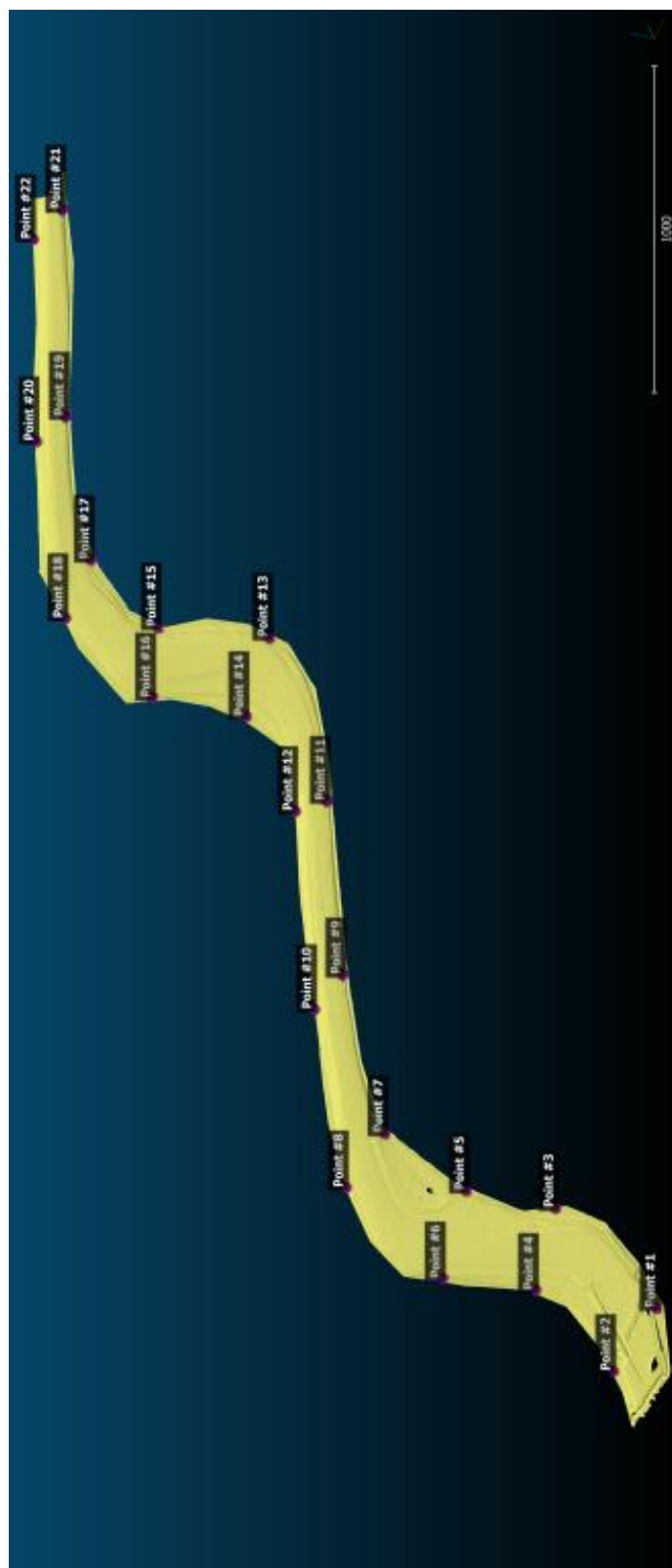
Z porovnání mezní jednotkové směrodatné odchylky a aposteriorní jednotkové směrodatné odchylky vyplývá, že byla splněna požadovaná přesnost.

7 Zaměření modelu 3D skenerem

Před zaměřením 3D skenerem byly do zabetonovaných závitů našroubovány další polystyrenové kulové terče po obou stranách koryta. Tyto vlíčovací body byly doplněny z důvodu napojení jednotlivých skenů do jednotného modelu mračna bodů. Nově tedy vzniklo 11 profilů. Původní kulové terče byly očíslovány jako K1-K6. Nové body dostaly číslo 1-22 (Obr. 24). Číslování bodů je znázorněny v (Tab. 12).

Tab. 12 Číslování bodů

čísla bodů	vztažná síť	K1	K2								K3	K4								K5	K6	
	1. skenování	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21



Obr. 24 Model mračna bodů se znázorněním vřícovacích bodů

Měření 3D skenerem bylo provedeno s panem Ing. Bronislavem Kostkou, Ph.D. a panem Ing. Tomášem Křemenem, Ph.D.

Bylo zvoleno první stanoviště před první profil kulových terčů tak, aby bylo co nejlépe vidět na daný prostor s vlíčovacími body. Na stativ byl upevněn skener s externím napájením. Tento skener se nijak neurovnává do vodorovné polohy. Ke skeneru musí být stále připojen notebook přes kabely. Skener se ovládá z notebooku přes software *SurphExpress Standart* a data byla ukládána na externí pevný disk.

Po spuštění programu *SurphExpress* bylo potřeba navolit některé vstupní parametry. Program už měl nastavená data o skeneru a stačilo nastavit tyto údaje:

- *adresář pro ukládání dat,*
- *konfigurace skeneru* (HQ – bližší objekty se světlými povrchy,
HS – vzdálenější objekty s tmavými povrchy)
- *režim skenování* (1 pass – vlnová délka ke každému bodu je měřena pouze jednou)
- *oblast skenování* (360°x270°)
- *hustotu skenování* (5x5 mm pro nominální délku 10m)

Jedno stanoviště trvalo cca 6 minut, bylo naskenováno cca 41 123 000 bodů a data měla přibližně velikost 1GB. Jednotlivá stanoviště byla rozmístěna pro měření vždy mezi jednotlivé profily tak, aby bylo vidět co nejvíce vlíčovacích bodů. Poslední stanoviště bylo zvoleno za posledním profilem. Přenášení skeneru na stativu muselo být prováděno opatrně, aby nedošlo poškození dna koryta.

V jeden den byly zaměřeny všechny stanoviště mezi jednotlivými profily. O týden později pracovníci z VÚV vytvořili umělou záplavovou vlnu a pustili jí do koryta. Poté bylo za pomoci 3D skeneru vše naskenováno znovu. Stanoviště byla volena na přibližně stejná místa jako při prvním měření a program byl nastaven se stejnými parametry. Za týden opět pustili umělé záplavy na koryto a bylo provedeno opětovné zaměření. 3D skenerem se měřilo ve 3 etapách.

8 Zpracování dat z 3D skeneru

Hlavní problém při práci s daty ze skeneru je jejich velikost, která neumožňuje jejich zpracování běžnými grafickými programy. Pro použití existují specializované programy, například *Geomagic studio* a *Leica Cyclone*. Z důvodu využití těchto programů a úspory času byla data ze skeneru zpracována na školním počítači katedry speciální geodézie s parametry uvedenými níže v (Tab. 13).

Tab. 13 Parametry počítače

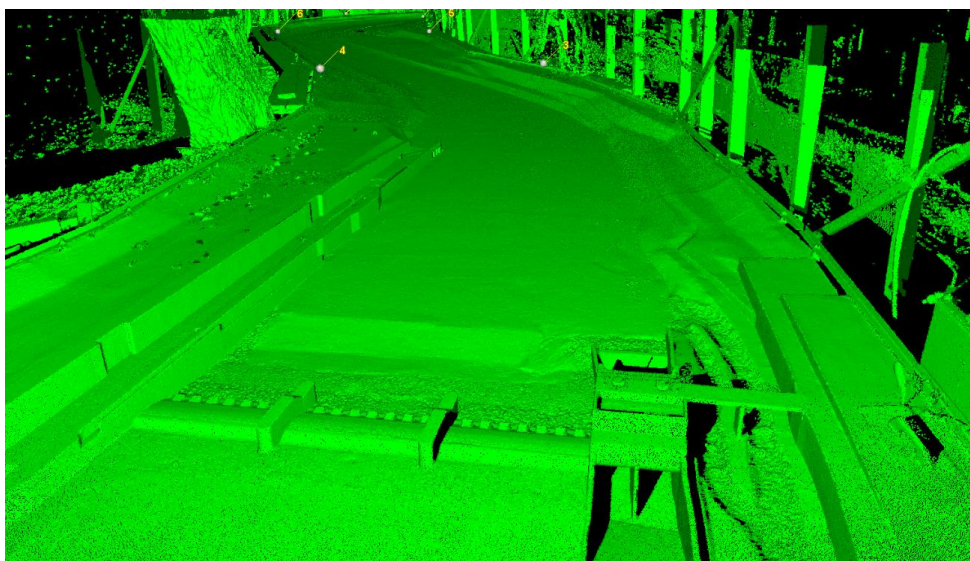
<i>operační systém</i>	<i>Windows 7 64b Enterprise Edition</i>
<i>operační paměť</i>	<i>64 GB RAM</i>
<i>procesor</i>	<i>Intel Core i7-3820 CPU @ 3,60 GHz</i>

Dále byly provedeny převody dat z binárního formátu c3d na textový formát VTX, který je vhodný k dalšímu zpracování. Převody dat byly provedeny panem Ing. B. Kostkou, Ph.D.,

9 Import dat do softwaru Leica Cyclone

Redukovaná mračna bodů byla následně zpracovávána v programu *Leica Cyclone*. Po spuštění programu *Leica Cyclone* se zobrazí okno Cyclone – Navigator, v němž jsou uvedeny jednotlivé servery, do kterých se ukládají databáze. V tomto případě byla vytvořena databáze *koryto*. V databázi *koryto* byly vytvořeny 3 projekty s naměřenými mračny bodů z jednotlivých etap. Dále bylo nutné naimportovat data ve formátu VTX do projektů. Souborům dat ve formátu VTX bylo nutné přejmenovat koncovky z VTX na .TXT, aby bylo možné do programu *Leica Cyclone* data naimportovat.

Zároveň byla data hrubě očištěna (Obr. 25) od vadných nebo nepotřebných bodů naskenovaných mimo koryto. Vzhledem k rozdílu mezi nepotřebnými a potřebnými body bylo toto očištění celkem časově náročné (cca 12 hodin pro každou etapu).



Obr. 25 Koryto před očištěním

10 Modelování vřícovacích bodů

Do projektu bylo uloženo všech 12 skenů z dané etapy a následně byly spojeny pomocí vřícovacích bodů, jež bylo nutné v každém skenu najít a označit před registrací. Z každého stanoviska byla vidět pouze část vřícovacího bodu a bylo tedy nutné tyto body v programu proložit koulí a na středy těchto vygenerovaných koulí dát identické body, které slouží pro spojení skenů.

Po označení bodu náležející dané kouli program dokázal pomocí funkce „*create Object – Region Grow – Sphere*“ detekovat a vybrat body z mračna představující danou kouli. Do středu takto vygenerované koule byl vložen identický bod nutný pro registraci. Tomuto identickému bodu bylo pomocí funkce „*Tools – Registration – Add/Edit Registration Label*“ přiřazeno číslo, jež bylo pro identické koule v jednotlivých skenech stejné a byl nastaven naměřený průměr pomocí funkce „*Edit – Object Preferences – Fit Diameter*“, kde se nastavil typ objektu na *Sphere* a průměry koulí na hodnoty dané (Tab. 14) v každém skenu.

Tab. 14 Průměry kulových terčů naměřených šuplerou

č.terče	průměr [mm]	č.terče	průměr [mm]
1	147	12	148,5
2	148	13	149
3	148	14	147
4	148	15	148
5	147	16	146
6	148	17	148
7	146,5	18	148
8	147	19	147,5
9	147,5	20	147,5
10	147	21	148
11	147,5	22	147

11 Registrace jednotlivých zaměřených dnů

Registrací byla všechna mračna bodů představující objekt transformována pomocí vřícovacích bodů do jednotného společného systému souřadnic. Výsledkem registrace je objekt koryta v dané etapě.

11.1 Popis Registrace

V okně databáze byla v menu použita funkce „*Create – Registration*“ pro otevření okna k vytvoření registrace, v tomto okně byly postupně provedeny následující kroky:

1. Pomocí funkce „*ScanWorld – Add ScanWorld*“ byly vybrány spojované skeny.
2. Nastavení domácího mračna bodů a jemu náležející souřadnicové soustavy, do kterých budou ostatní mračna transformována. Nastavení se provádí použitím funkce „*ScanWorld – Set Home ScanWorld*“. Automaticky je za domácí mračno bodů vybráno první mračno a je zvýrazněno tučně.
3. Kontrola mračen, zda byla horizontovaná. Pokud je mračno horizontováno, je označeno za jeho názvem nápisem „*Leveled*“. Horizontování je důležité pro výsledky registrace.
4. Vyhledání identických bodů a jejich vzájemné propojení bylo provedeno pomocí funkce „*Constraint – Auto-Add Constraints*“.
5. Výpočet registrace byl proveden pomocí funkce „*Registration – Register*“.
6. Kontrola spojení mračen. Průměrná odchylka (*Mean Absolute Error for Enabled Constraints*) by neměla přesáhnout hodnotu 2 mm. V případě větší odchylky lze vynechat danou podmínku.
7. Ukončení registrace. Před spuštěním výpočtu je nejprve potřeba v záložce *ModelSpaces* označit *ControlSpace* jednotlivých registrovaných mračen. Pomocí funkce „*Registration – Create ScanWorld/Freeze Registration*“ byl vytvořen *ModelSpace*, obsahující registrovaná mračna.
8. Zobrazení a uložení protokolu o provedené registraci (*Registration – Show Diagnostics*). V protokolu jsou vypsány dosažené odchylky na jednotlivých identických bodech, celková průměrná odchylka registrace a transformační klíč pro jednotlivá mračna (*Mean Absolute Error for Enabled Constraints*).

Tento proces byl poměrně zdlouhavý z důvodu nutnosti spojit všech 12 skenů pro každou etapu měření (cca 5h).

11.2 Kontrola a oprava přesnosti během registrace

Při kontrole přesnosti během 1. registrace byla zjištěna průměrná absolutní odchylka okolo 3 mm pro data získána 3D skenerem, ačkoli očekávaná odchylka byla 1 milimetr a méně, vzhledem k uvedeným parametrům přístroje.

Druhá kontrola převážně zjišťuje systematické chyby. Tyto chyby zjišťuje pomocí shodnosti transformace na 5 identických bodů, jež byly kulové terče označeny K1, K2, K4, K5 a K6 (kontrolní bod K3 byl poškozený a tudíž nebyl použit), nalézajících se zároveň v datech získaných 3D skenerem a vypočtenými souřadnicemi z vyrovnání zaměřené totální stanicí. Byla odhalena extrémně vysoká směrodatná odchylka 20 milimetrů. Hlavní odchýlení bylo nalezeno v podélném směru modelu, přičemž ve vertikálním směru bylo až desetkrát nižší. Na základě experimentu pana Ing. Bronislava Kostky, Ph.D a pana Ing. Tomáše Křemena, Ph.D. byla zjištěna penetrace použitých polystyrenových kulových terčů paprskem 3D skeneru do průměrné hloubky až téměř 3 milimetrů.

Po opravě průměru vřícovacích bodů byla standardní odchylka snížena na 3,5 milimetru z původních 20 milimetrů a průměrná absolutní odchylka poklesla na okolí očekávaného 1 milimetru (pro jednotlivé etapy 1,15; 1,29 a 1,44 milimetrů). Lze prohlásit, že získaná přesnost je tedy pro daný účel dostatečná.

12 Práce s jednotlivými mračny

Než mohlo být mračno porovnáváno, musel být odmazán nepořádek na korytě ve formě napadaných listů (Obr. 25). Na levé části koryta jsou vidět nečistoty na korytě. V programu Leica Cyclone byl nepořádek oříznut. Tento proces byl velice zdlouhavý (cca 7 dní) a jednalo se o velmi titěrnou práci v takovém velikém počtu bodů. Vždy bylo na jednotlivý list „zoomováno“ a byly odstraněny všechny body, které tvořily list. Toto očistění mračna bylo provedeno list po listu v každé etapě.

13 Porovnání modelů

Poslední kontrolou bylo porovnání polohových rozdílů mezi polohou mračen bodů dvou etap s maximálním rozdílem 2 mm krom částí modelu vytvořeného z písku, ze kterého bylo vytvořeno dno modelu koryta. Zvlášť důležité byly betonové boky a základy modelu, kde nebyly očekávány žádné deformace.

V programu *CloudCompare* byla importována 2 mračna bodů, první mračno byla 1. etapa měření a druhé mračno bylo z 3. etapy měření. Na mračna bodů byla použita funkce *Match Bounding box centers*, jež posunula střed mračna bodů 1. etapy na střed mračna bodů 3. etapy pro hrubé zarovnání bodů. Tato funkce byla použita pro svou jednoduchost, stačilo pouze označit obě mračna a použít funkci.

Nutnou podmínkou pro použití metody ICP (iterační nejbližší bod) je hrubé zarovnání bodů. Tato metoda byla použita pro své minimální časové nároky na uživatele. Algoritmus ICP spočívá v provádění následujících kroků:

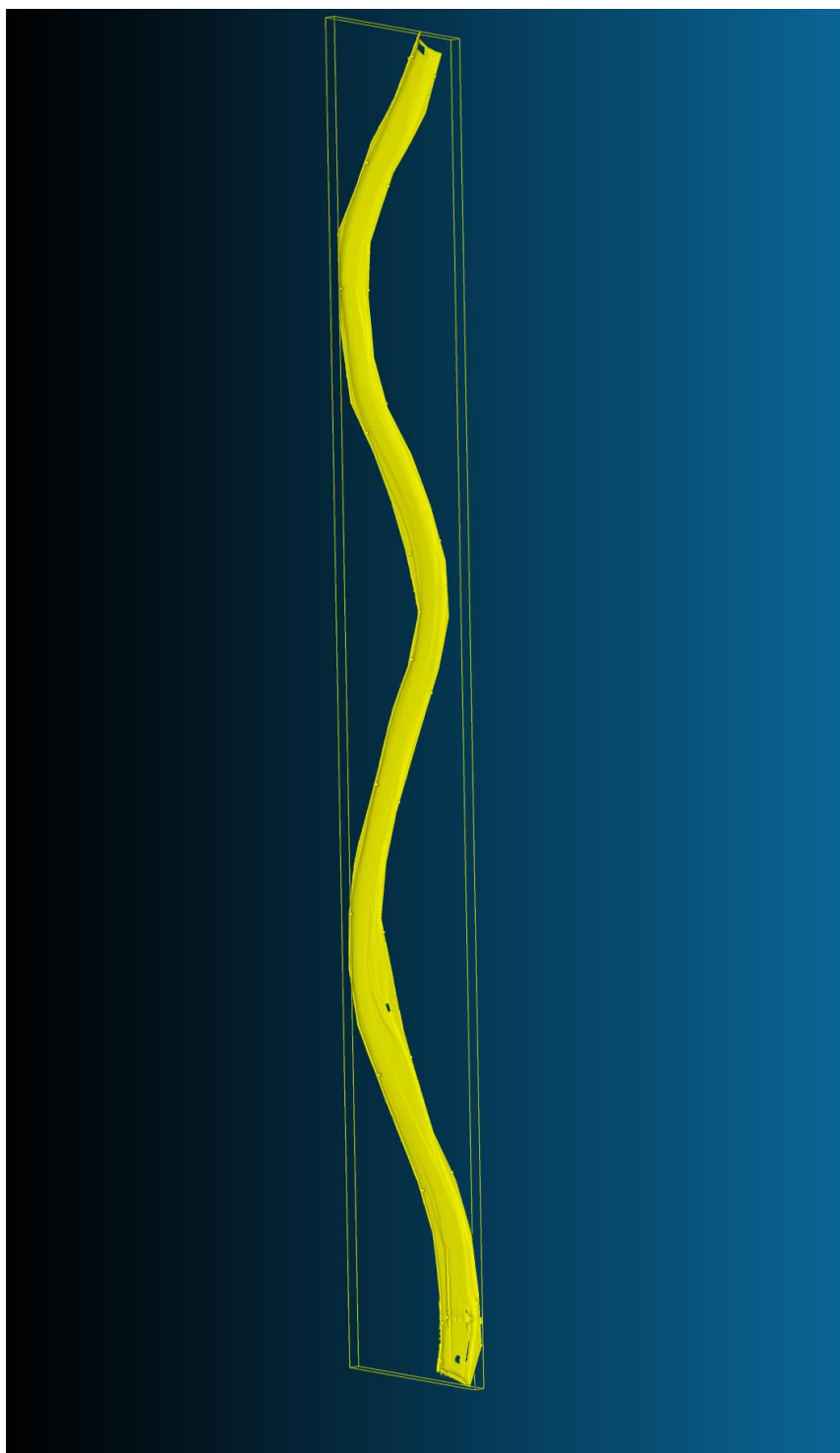
1. Pro každý bod ve zdrojovém mračnu - (1.etapa) najdi nejbližší bod v referenčním mračnu bodů (3. etapy).
2. Odhadni transformační matici za použití funkce průměrné kvadratické odchylky, která nejlépe srovná každý bod zdroje na referenční bod nalezený v 1. kroku
3. Použij transformační matici získanou ve 2. kroku na zdrojové mračno dat.
4. Opakuj znovu od 1. kroku

Typickými ukončovacími podmínkami je dosažení stanoveného počtu iterací nebo snížení změny mezi jednotlivými iteracemi pod stanovenou úroveň.

Mračno 1. etapy byla následně transformována získanou transformační maticí a zaregistrováno spolu s mračnem 3. etapy. Následně bylo mračno graficky porovnáno zbarvením podle velikosti chyby ve vertikálním směru. Chyby měly změněnou barvu vždy po 0,25 mm, aby byly dobře rozeznatelné odchýlené hodnoty.

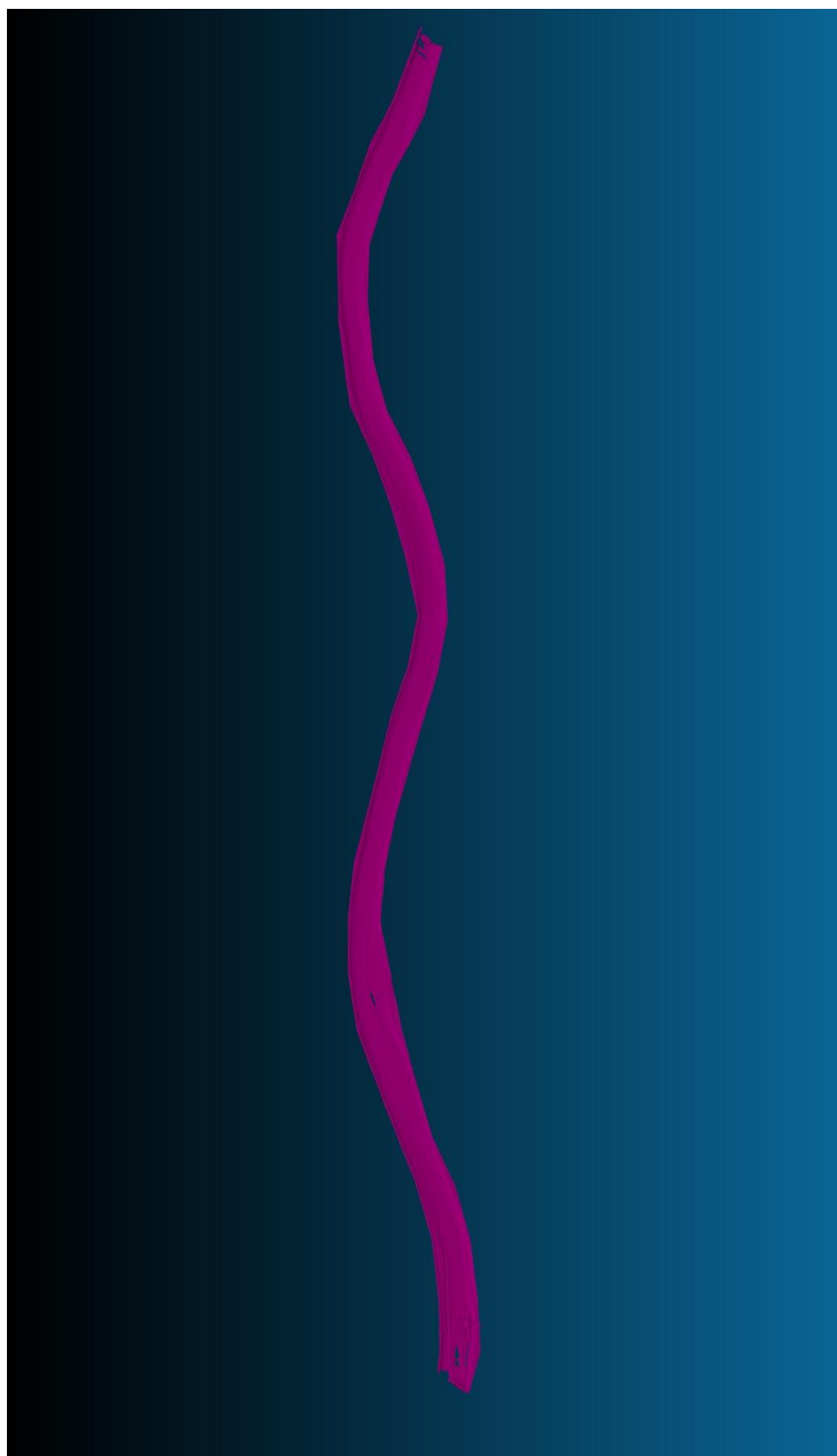
Po porovnání v softwaru *CloudCompare* se ukázalo, že na převážné většině povrchu tohoto modelu byly rozdíly poloh mezi mračny menší než 2 milimetry na betonovém základu modelu koryta.

To znamená, že deformace se nevyskytla a mračna bodů jsou stabilní a může se tedy na nich zkoumat dno koryta.



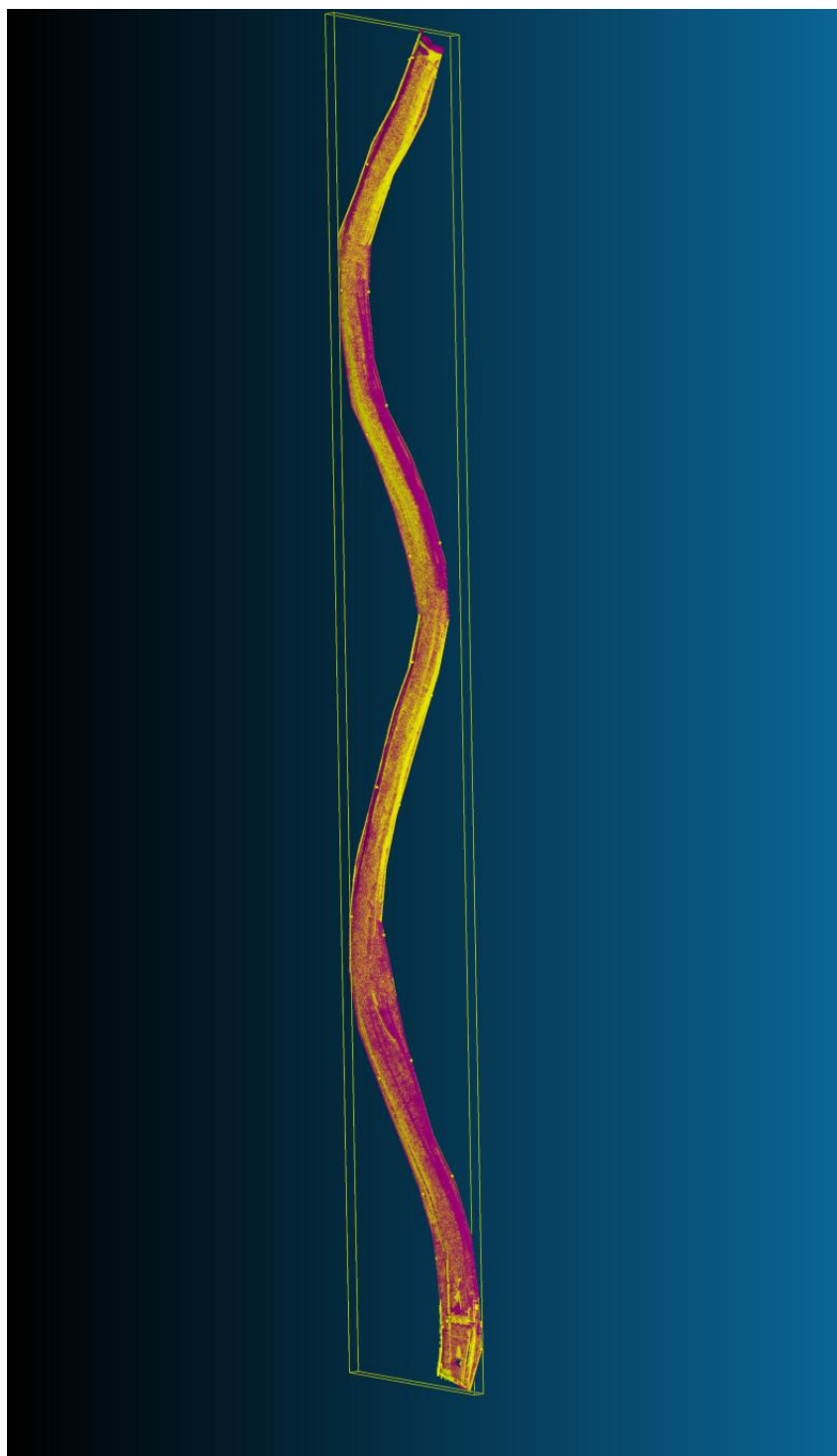
Obr. 26 Model mračna bodů - 1.etapa

Na obrázku (Obr. 26) je znázorněn model mračna bodů, který byl vytvořen ze zaměření laserovým skenováním z první etapě.



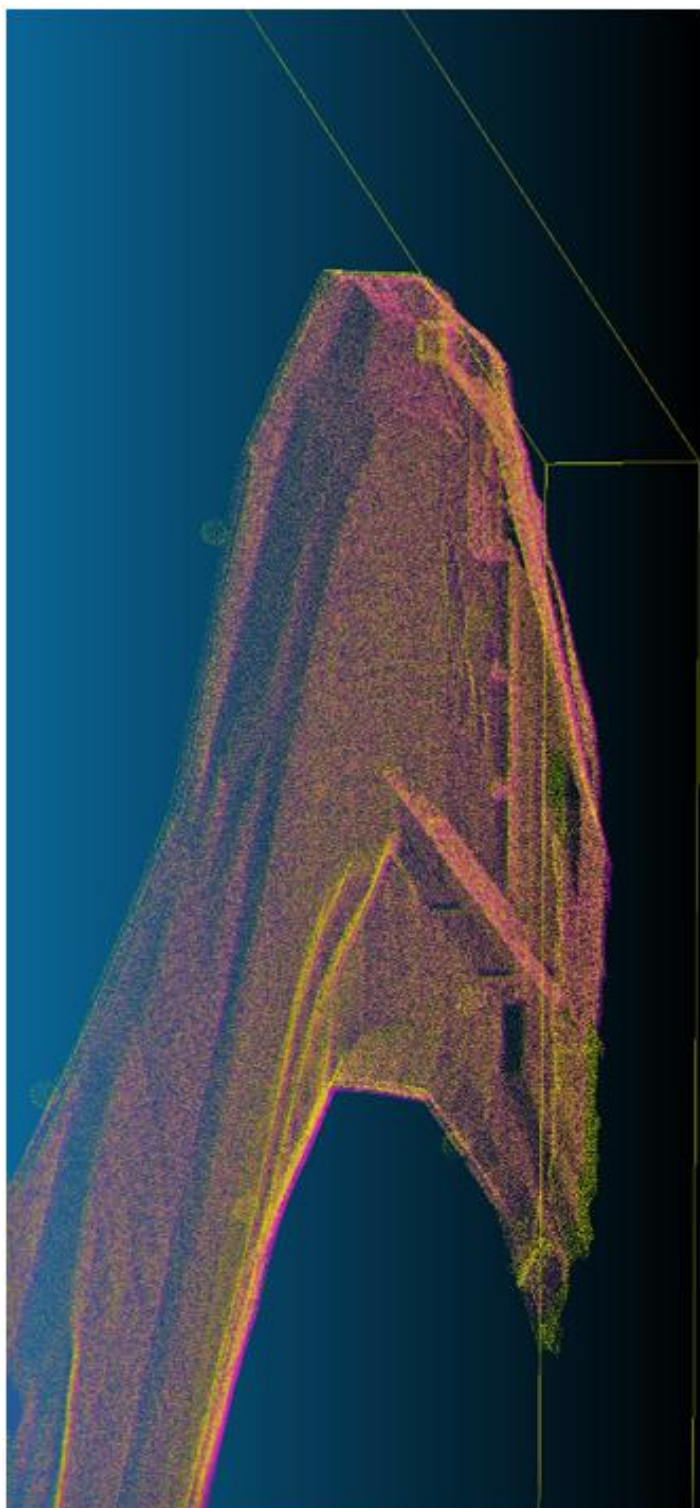
Obr. 27 Model mračna bodů – 3.etapa

Na obrázku (Obr. 27) je znázorněn model mračna bodů, který byl vytvořen ze zaměření laserovým skenováním z třetí etapy.



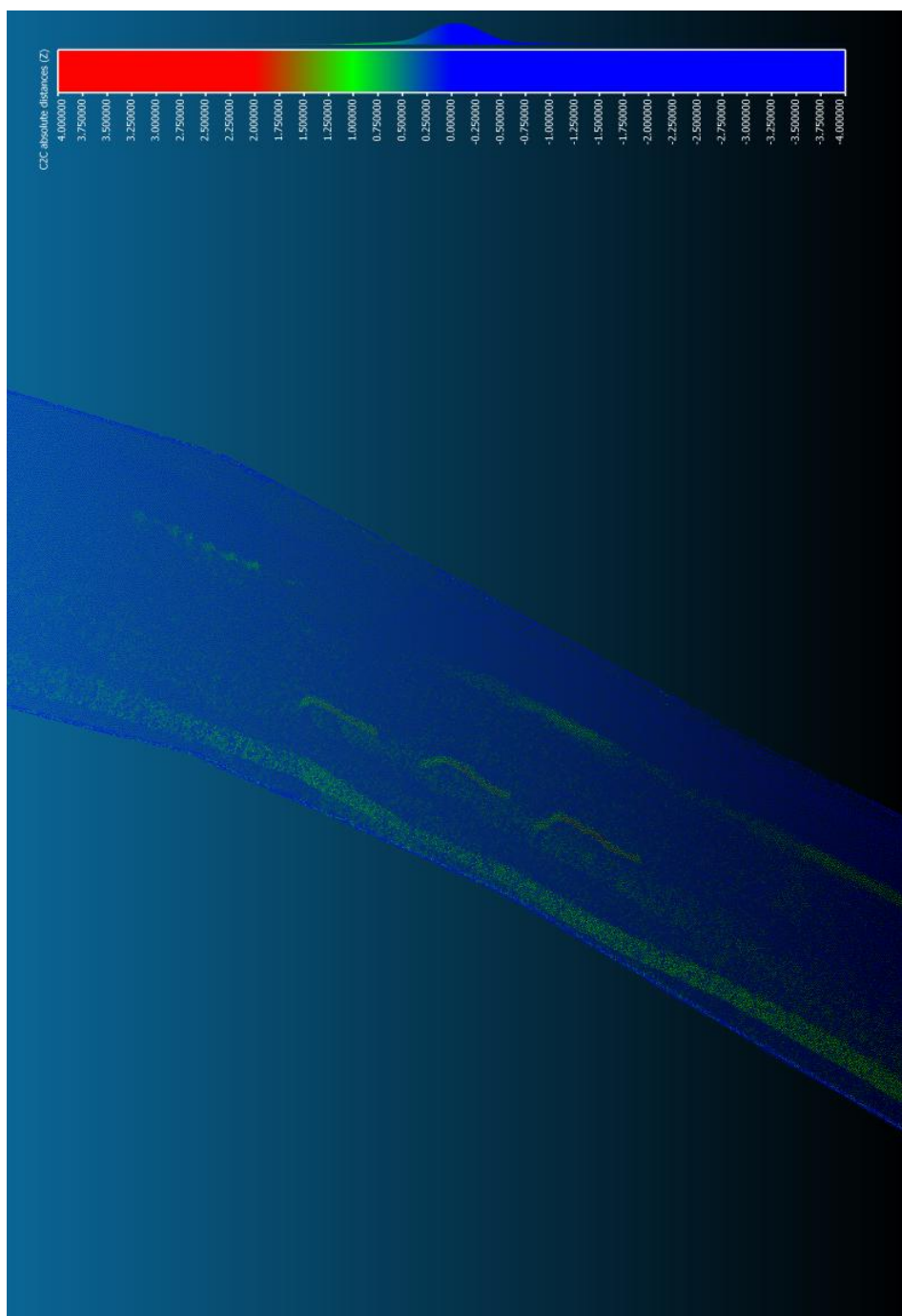
Obr. 28 Modely mračen bodů - napasování modelů

Na obrázku (Obr. 28) je vidět, jak si odpovídají obě mračna bodů z první a třetí etapy.



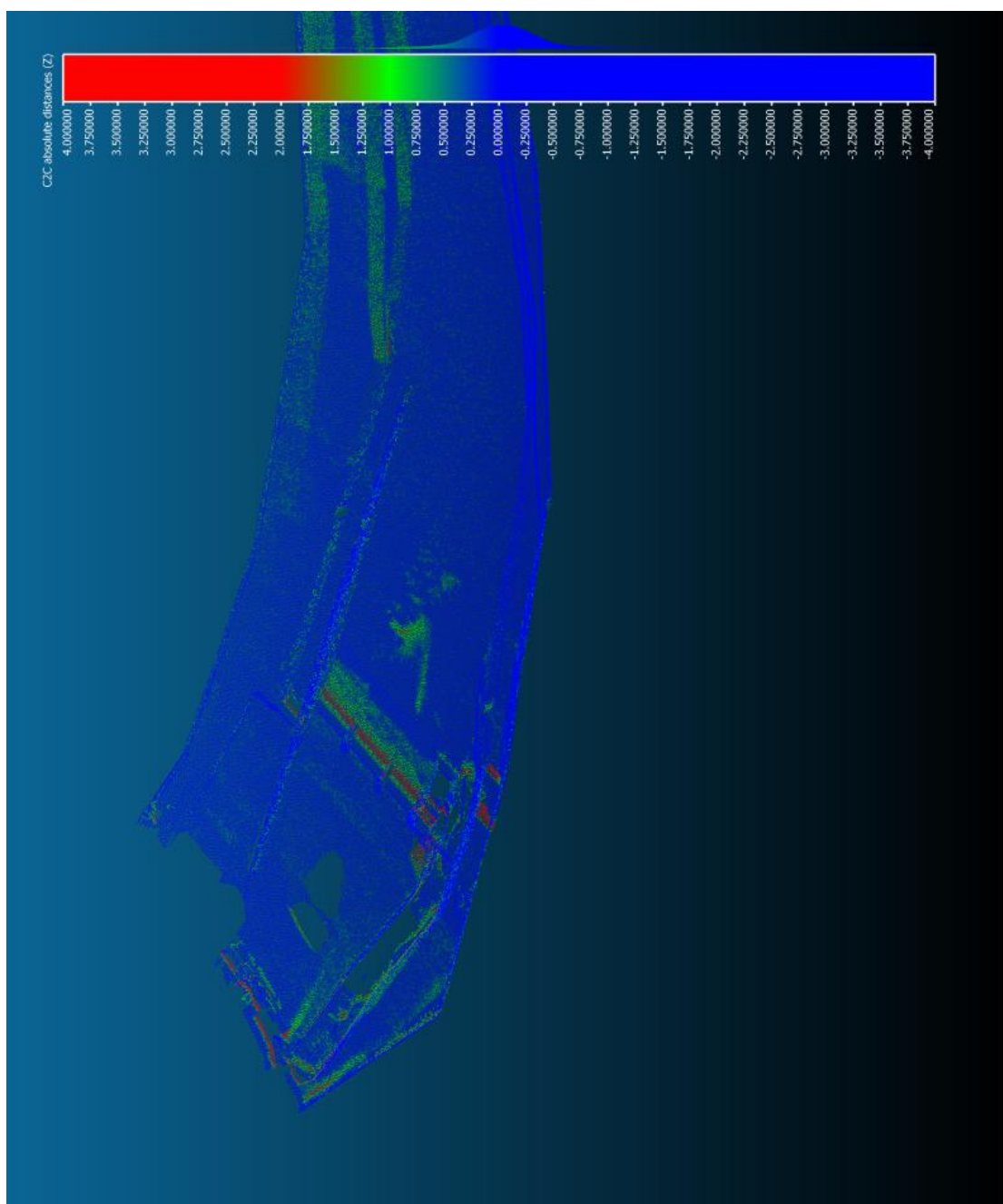
Obr. 29 Detail mračna bodů – napasování mračen

Na (Obr. 29) je vidět detail napasování mračen na sebe, kde každá barva signalizuje jinou etapu.



Obr. 30 Detail mračna bodů – porovnání mračen

Na obrázku (Obr. 30, Obr. 31) je vytvořená barevná hypsometrie na porovnání obou mračen. Barevně je to po 0,25 mm a na obrázku je dobře vidět nánosy písku po tisícileté vodě a její vliv na dno koryta.



Obr. 31 Detail mračna bodů - porovnání mračen

14 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vyhotovit zaměření modelu koryta v několika etapách. Model říčního koryta byl zaměřen ve třech etapách laserovým skenováním a byl dále zpracováván a porovnáván v příslušných programech. Byl vytvořen rozdílový model první a třetí etapy.

Před měřením byly vytvořeny rozbor přesnosti před měřením v programu *PrecisPlanner 3D*. Pro požadovanou přesnost 2 mm (pro celkový model) byla zvolena směrodatná odchylka v Z-ové souřadnici 0,3 mm na vyrovnanou vztažnou síť. Byla zvolena horší přesnost pro směrodatnou odchylku směru 1 mgon a pro směrodatnou odchylku délky byla zvolena 1 mm v 1 skupině z důvodu krátkých záměr. Tyto hodnoty byly dostačující pro splnění požadované přesnosti pro měření ve dvou skupinách.

Na korytu byly rozmístěny vřícovací body a zajišťovací štítky, které byly zaměřeny ve vztažné síti v trojpodstavcové soustavě ve dvou polohách a ve dvou skupinách s automatickým cílením, ale ručním docilováním. V terénu byly provedeny rozbor přesnosti, kde se porovnávaly měřené hodnoty mezi skupinami.

Naměřená data byla upravena před vyrovnáním. Z důvodu nejasného určení středu kulových terčů byl měřen levý, pravý, spodní a horní okraj, který se potom zprůměroval. Takto byly upravené směry na kulové terče, které se upravily v elektronickém zápisníku.

V programu *EasyNet* byly vypočteny souřadnice se směrodatnými odchylkami, kde směrodatné odchylky pro Z-ovou souřadnici jsou (0,05 – 0,10 mm) a aposteriorní jednotková směrodatná odchylka vyšla 0,74, kde byla apriorní jednotková směrodatná odchylka volena 1. Tato hodnota nám ukazuje, že měření splňuje požadovanou přesnost. Při rozborech po měření bylo zjištěno, že aposteriorní jednotková směrodatná odchylka je menší než apriorní jednotková směrodatná odchylka.

Další částí bylo laserové skenování koryta 3D skenerem. Jednotlivá stanoviska byla zvolena mezi vřícovací body, aby došlo k překrytu. Naskenovalo se 12 stanovisek ve všech třech etapách a každý sken měl přibližně 41 123 000 bodů. Data získaná z 3D skeneru byla převedena z formátu C3D do formátu VTX vhodnému k dalšímu zpracování panem Ing. B. Kostkou, Ph.D.

Za pomoci kulových terčů byly spojeny jednotlivé skeny laserového skenování do jednoho skenu a bylo vytvořeno souvislé mračno bodů. Toto bylo provedeno v každé etapě.

Následně byla skeny ze 3D skeneru zaregistrovány zvlášť pro každou etapu v programu *Leica Cyclone*. Byla zjištěna průměrná absolutní odchylka až 3 milimetrů, na rozdíl od očekávaného

1 mm. V druhé registraci byla data ze 3D skeneru spojena s výstupními horizontovanými daty vztažné sítě zaměřené totální stanicí, a tím tedy horizontována. Po ověření dat byla zjištěna extrémně vysoká systematická odchylka 20 mm způsobená paprskem 3D skeneru, který procházel povrchem kulového terče. Po opravení průměru kulových terčů byla směrodatná odchylka snížena pod požadovanou maximální hodnotu, a pro jednotlivé etapy bylo dosaženo průměrné absolutní odchylky 1,15, 1,29 a 1,44 milimetrů. Požadovaná odchylka byla splněna. Mohu zkonstatovat, že zvolená metoda byla správná a měření dosáhlo lepších výsledků než požadovaná přesnost.

Mračna bodů byla upravena od nečistot. Poté byla mračna bodů naimportována do programu *CloudCompare*, kde se jednotlivá mračna porovnávala pomocí barevné škály. Bylo zhodnoceno, že nenastala deformace a mračna se mohou použít k dalším účelům.

15 Seznam použité literatury

- [1] Trimble S8 - Datasheet. *Trimble.com* [online]. Sunnyvale, California : Trimble, ©2017 [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://www.trimble.com/Survey/trimbles8.aspx>
- [2] Trimble CU. *Trimble.com* [online]. Sunnyvale, California : Trimble, ©2017 [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: http://www.trimble.com/Survey/trimble-u.aspx?tab=P%C5%99ehled_produk%C5%AF
- [3] Surphaser – 25 HSX. *Laserscanning-europe.com* [online]. Magdeburg: Laserscanning Europe, ©2017 [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://www.laserscanning-europe.com/en/content/surphaser-25hsx>
- [4] Štroner. *České vysoké učení technické v Praze* [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, ©2017 [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: <http://www.k154.fsv.cvut.cz/~stroner/PPlanner/index.html>
- [5] CloudCompare. *CloudCompare* [online]. Paříž: CloudCompare.com, ©2017 [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://www.danielgm.net/cc/>
- [6] HAMPACHER, Miroslav a Martin ŠTRONER. *Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii*. Vydání druhé, upravené a doplněné. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2015. ISBN 978-80-01-05843-5.
- [7] HAMPACHER, Miroslav a Vladimír RADOUCH. *Teorie chyb a vyrovnávací počet 10*. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-01-01704-4.
- [8] URBAN, Rudolf. *Geodetické práce při měření posunů a deformací stavebních objektů*. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05786-5.
- [9] EasyNET. *Adjust Solutions | Complex processing of geodetic measurements* [online]. Adjust Solutions, ©2016 [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://AdjustSolutions/en/easynet/>
- [10] Payne, Angie. 2011. *Leica Cyclone 7.1.1 : Interface Basics*. CAST Technical Publications Series. Number 7566. <http://gmvc.cast.uark.edu/scanning/software/leica-software/leica-cyclone/cyclone-shortcut-guides/leica-cyclone-interface-basics-2-3/>. [Date accessed: 4 January 2017]. [Last Updated: 13 February 2013].

16 Seznam obrázků

Obr. 1 Vrstevnicový obraz reliéfu	9
Obr. 2 Koryto.....	10
Obr. 3 Centrovač.....	11
Obr. 4 Odrazný hranol.....	11
Obr. 5 Vlíčovací bod, kulový terč.....	11
Obr. 6 Asus EeePC.....	11
Obr. 7 Totální stanice Trimble S8 1" DR HP.....	12
Obr. 8 Trimble CU	12
Obr. 9 Surphaser 25 HSX – IR_X.....	13
Obr. 10 EasyNET	14
Obr. 11 Leica Cyclone	15
Obr. 12 Program PreciPlanner 3D	16
Obr. 13 CloudCompare	17
Obr. 14 Mapa měření programu PreciPlanner.....	21
Obr. 15 Elipsoid.....	24
Obr. 16 Koryto.....	26
Obr. 17 Náčrt vřícovacích bodů.....	27
Obr. 18 Ukázka elektrického zápisníku připraveného pro načtení do programu EasyNet.....	38
Obr. 19 EasyNet - Nastavení vyrovnání sítě	39
Obr. 20 Apriorní směrodatné odchylky.....	41
Obr. 21 Apriorní analýza sítě	41
Obr. 22 Vyrovnání sítě	42
Obr. 23 Elipsy chyb.....	44
Obr. 24 Model mračna bodů se znázorněním vřícovacích bodů.....	47
Obr. 25 Koryto před očištěním	50
Obr. 26 Model mračna bodů - 1.etapa.....	55
Obr. 27 Model mračna bodů – 3.etapa	56
Obr. 28 Modely mračen bodů - napasování modelů	57
Obr. 29 Detail mračna bodů – napasování mračen.....	58
Obr. 30 Detail mračna bodů – porovnání mračen.....	59
Obr. 31 Detail mračna bodů - porovnání mračen	60

17 Seznam tabulek

Tab. 1 Rozbory přesnosti před měřením - zadaná přesnost.....	22
Tab. 2 Zadané přibližné souřadnice.....	23
Tab. 3 Směrodatné odchytky souřadnic.	23
Tab. 4 Elipsoid chyb.....	24
Tab. 5 Směrodatná odchytky přesnosti výšky přístroje a cíle.	25
Tab. 6 Směrodatné odchytky přesnosti centraxe.....	25
Tab. 7 Ukázka z Tab. 16 rozboru přesnosti při měření.....	29
Tab. 8 Horizontální směry.....	36
Tab. 9 Zenitové úhly.....	37
Tab. 10 Souřadnice počátku vztahné sítě	40
Tab. 11 Vyrovnané souřadnice a jejich směrodatné odchytky.....	43
Tab. 12 Číslování bodů	46
Tab. 13 Parametry počítače.....	49
Tab. 14 Průměry kulových terčů naměřených šuplerou.....	51
Tab. 15 Rozbor přesnosti při měření zenitové úhly	72
Tab. 16 Rozbory přesnosti při měření horizontální směřů	73
Tab. 17 Rozbory přesnosti při měření délky	75

18 Seznam příloh

- 19.1. Parametry Trimble S8
- 19.2. Vlastnosti Trimble CU
- 19.3. Vlastnosti 3D skeneru
- 19.4. Upravený elektronický zázpisník měření

19 Seznam elektronických příloh na přiloženém cd

- 1. rozbor presnosti pred merenim
 - a. kovariancni_matice
 - b. vstupni_presnost
 - c. vstupni_souradnice
 - d. vysledna_tab_presnost
- 2. rozbor presnosti pred merenim
- 3. VUV 2015 11 3_zapisnik_totalni_stanice
- 4. vypocet_stredu_kulovych_tercu
- 5. EasyNet
 - a. VUV2015_11_3_zapisnik_upraveny
 - b. vyrovnane_souradnice
 - c. project v program
 - d. protocol
 - e. kresba_elipsy_chyb
- 6. registrace
 - a. Protokoly ze registrace 1. etapy
 - b. Obrázky z registrace 1. etapy
 - c. Body z registrace 1. Etapy
- 7. Text diplomové práce

20 Přílohy

20.1 Parametry Trimble S8

Měření úhlů

Přesnost (základní směrodatná odchylka dle DIN 18723) 1'' (0,3 mgon)

Čtení úhlu (nejmenší zobrazovaný dílek):

Standard 1'' (0,1 mgon)

Tracking 2'' (0,5 mgon)

Průměrovaná observace 0,1'' (0,01 mgon)

Automatický kompenzátor:

Typ dvouosý

Přesnost 0,5'' (0,15 mgon)

Rozsah $\pm 6'$ (± 100 mgon)

Měření délek

Přesnost měření na hranol:

Standard $\pm (1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$

Tracking $\pm (5 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$

Přesnost bezhranolového měření:

Standard $\pm (3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$

Tracking $\pm (10 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$

Rychlost měření na hranol:

Standard 2 s

Tracking 0,4 s

Průměrovaná observace 2 s na jedno měření

Rychlost bezhranolového měření:

Standard 3 s - 15 s

Tracking 0,4 s

Průměrovaná observace 3 s - 15 s na jedno měření

Ostatní vlastnosti

Hmotnost:

Přístroj (servo/Autolock) 5,15 kg

Přístroj (Robotic) 5,25 kg

Výška	196 mm
Rychlost rotace	115 stupňů/sekundu (128 gon/s)
Čas rotace z I. do II. polohy	3,2 s
Rychlost otočení o 180°	3,2 s
<u>Dalekohled:</u>	
Zvětšení	30x
Světelnost	40 mm
Zorné pole na 100 m	2,6 m na 100 m
Rozsah ostření	1,5 m - ∞
Osvětlení ryskového kříže	nastavitelné (10 kroků)
<u>Zdroj napájení:</u>	
Vnitřní baterie	dobíjecí Li-ion baterie 11.1 V, 4.4 Ah
Jedna vnitřní baterie	cca 6 hodin
Tři vnitřní baterie v držáku	cca 18 hodin
Ustanovky	servo pohon, nekonečné
<u>Centrace a horizontace:</u>	
Krabicová libela na trojnožce	8'/2 mm
Elektronická dvouosá libela na displeji	0,3'' (0,1 mgon)
Systém centrace	Trimble, 3 trny
Optický centrovač	vestavěný
Provozní teplota	-20 °C až +50 °C

20.2 Vlastnosti

Trimble CU

Vlastnosti kontrolní jednotky byly převzaty od výrobce [2].

Rozměry	196 mm x 110 mm x 30 mm
Váha	0,4 kg
Paměť	64 MB SDRAM, 1 GB vnitřní stálé paměti
Procesor	400 MHz Intel PXA 225 ARM-Xscale CPU
Pracovní teplota	-30 °C až +55°C
Skladovací teplota	-40 °C až +70 °C
Písek	Ochrana před navátým prachem podle MIL-STD-810F a IP5X
Voda	IP5X
Displej	barevný, osvětlení TFT, dotyková obrazovka, rozlišení 320 x 240 pixelů (QVGA)
Klávesnice	19 alfanumerických kláves + 4 šipky

20.3 Vlastnosti 3D skeneru

Vlastnosti Surphaseru 25HSX – IR_X byly převzaty od výrobce [3].

Metoda měření vzáleností	fázový posun
Vlnová délka laseru	685 nm (červená)
Typ laseru	CW
Výkon laseru	15 mW
Třída laseru	Třídy 3R
Rychlost skenování	216000 - 1200000
Rozlišení vzdáleností	0,001 mm
Zorné pole	360° x 270°
Provozní teplota.....	5° - 45°C
Hmotnost.....	11 kg
Rozměry	425 x 167 x 237 mm
Rozsah	70 m
Doporučený pracovní rozsah.....	0,4 - 30 m
Rozsah hlučnosti	0,1 mm @ 3m
Rozsah nejistoty	0,5 mm @ 5m

20.4 Vlastnosti programu EasyNet :

- *Detekce měřických skupin:* Automaticky se vyhodnocuje a snadno se dá upravovat.
- *Základní kontrola měření:* Kontroluje hrubé chyby a omyly v I. a II. poloze dalekohledu a opakované měří ve více skupinách.
- *Redukce měřených geodetických veličin:* Provádí opravu ze zakřivení země a opravu z výšky přístroje a cíle. Redukuje šikmé vzdálenosti z nadmořské výšky do nulového horizontu a kartografického zobrazení.
- *Robustní výpočet přibližných souřadnic bodů sítě:* Automatický výpočet přibližných souřadnic.
- *Kontrola hrubých chyb:* Porovnává rozdíly délek vypočtené z přibližných souřadnic s naměřenými hodnotami.
- *Apriorní analýza geodetické sítě:* Slouží k určení apriorní směrodatné odchylky. Slouží k tomu vnitřní a vnější přesnost sítě.
- *Detekce odlehlých měření:* Vyhledává odlehlá měření v důsledku vypočtených oprav.
- *Vyrovnaní prostorové geodetické sítě (MNC):* Automaticky se zvolí způsob vyrovnaní podle zadaných fixních, nefixních souřadnic bodů. Získá se informace o proběhnutém vyrovnaní.
- *Transformace vyrovnané geodetické sítě:* Shodnostní transformací se souřadnice přepočítají. Je na výběr ze dvou možností a to z transformace s vyrovnaním a metodou bod a směrník.

20.5 Rozbory přesnosti při měření

Tab. 15 Rozbor přesnosti při měření zenitové úhly

Zenitové úhly [gon]									
Stan	bod	I.poloha				II.poloha			
		1.sk	2.sk	rozdíl	splňuje	1.sk	2.sk	rozdíl	splňuje
4001	4002	98,1330	98,1317	0,0013	Ano	301,8723	301,8740	-0,0017	Ano
	4004	99,7594	99,7587	0,0007	Ano	300,2432	300,2439	-0,0007	Ano
	4003	99,8727	99,8725	0,0003	Ano	300,1303	300,1301	0,0002	Ano
	P1	115,5506	115,5510	-0,0004	Ano	284,4523	284,4531	-0,0007	Ano
	P2	113,4798	113,4792	0,0006	Ano	286,5236	286,5239	-0,0003	Ano
	K1H	110,0656	110,0648	0,0007	Ano	289,9380	289,9381	-0,0001	Ano
	K1D	111,3743	111,3752	-0,0010	Ano	288,6296	288,6296	0,0000	Ano
	K2H	110,8532	110,8532	0,0000	Ano	289,1500	289,1499	0,0001	Ano
K2D	112,2127	112,2128	-0,0001	Ano	287,7900	287,7896	0,0004	Ano	
4002	4003	100,1392	100,1394	-0,0002	Ano	299,8640	299,8640	0,0000	Ano
	4001	101,8756	101,8773	-0,0017	Ano	298,1293	298,1258	0,0035	Ne
	4004	100,0084	100,0081	0,0004	Ano	299,9943	299,9944	-0,0001	Ano
	P1	116,3618	116,3620	-0,0002	Ano	283,6412	283,6417	-0,0005	Ano
	P2	121,2956	121,2947	0,0008	Ano	278,7087	278,7091	-0,0004	Ano
	K1H	109,8320	109,8329	-0,0008	Ano	290,1694	290,1701	-0,0007	Ano
	K1D	111,0059	111,0062	-0,0003	Ano	288,9979	288,9971	0,0009	Ano
	K2H	114,2639	114,2636	0,0003	Ano	285,7386	285,7394	-0,0008	Ano
K2D	115,9043	115,9050	-0,0007	Ano	284,0986	284,0995	-0,0010	Ano	
4004	4003	101,3471	101,3470	0,0001	Ano	298,6564	298,6587	-0,0023	Ano
	4001	100,2417	100,2426	-0,0009	Ano	299,7592	299,7597	-0,0005	Ano
	4002	99,9936	99,9932	0,0004	Ano	300,0099	300,0086	0,0013	Ano
	4006	100,7002	100,7002	0,0000	Ano	299,3024	299,3025	0,0000	Ano
	4005	100,4058	100,4056	0,0003	Ano	299,5971	299,5970	0,0001	Ano
4003	4004	98,6449	98,6462	-0,0013	Ano	301,3581	301,3592	-0,0011	Ano
	4006	100,5779	100,5784	-0,0005	Ano	299,4240	299,4243	-0,0003	Ano
	4005	100,2833	100,2833	0,0000	Ano	299,7193	299,7183	0,0010	Ano
	4001	100,1292	100,1307	-0,0014	Ano	299,8721	299,8725	-0,0003	Ano
	4002	99,8625	99,8627	-0,0003	Ano	300,1408	300,1405	0,0003	Ano
4005	4006	102,7583	102,7598	-0,0014	Ano	297,2457	297,2477	-0,0020	Ano
	4008	99,7806	99,7806	0,0000	Ano	300,2231	300,2226	0,0005	Ano
	4007	99,9928	99,9933	-0,0005	Ano	300,0103	300,0098	0,0004	Ano
	4003	99,7196	99,7195	0,0001	Ano	300,2823	300,2812	0,0010	Ano
	4004	99,5974	99,5973	0,0001	Ano	300,4051	300,4063	-0,0012	Ano
	K3H	115,2399	115,2409	-0,0009	Ano	284,7643	284,7646	-0,0003	Ano
	K3D	117,2430	117,2451	-0,0021	Ano	282,7591	282,7597	-0,0006	Ano
	K4H	117,3524	117,3517	0,0007	Ano	282,6508	282,6527	-0,0019	Ano
K4D	119,6157	119,6161	-0,0005	Ano	280,3875	280,3866	0,0009	Ano	

4006	4005	97,2366	97,2351	0,0015	Ano	302,7691	302,7692	-0,0001	Ano
	4003	99,4246	99,4261	-0,0015	Ano	300,5775	300,5773	0,0002	Ano
	4004	99,3043	99,3032	0,0012	Ano	300,6999	300,7002	-0,0004	Ano
	4008	99,4948	99,4956	-0,0009	Ano	300,5075	300,5082	-0,0007	Ano
	4007	99,7158	99,7158	0,0001	Ano	300,2876	300,2876	0,0000	Ano
	K3H	112,2638	112,2641	-0,0003	Ano	287,7405	287,7412	-0,0007	Ano
	K3D	114,0551	114,0546	0,0005	Ano	285,9503	285,9492	0,0010	Ano
	K4H	120,3439	120,3426	0,0013	Ano	279,6626	279,6618	0,0008	Ano
	K4D	123,2551	123,2550	0,0002	Ano	276,7499	276,7505	-0,0006	Ano
4007	4008	97,6824	97,6850	-0,0025	Ano	302,3230	302,3216	0,0014	Ano
	4010	99,5785	99,5795	-0,0009	Ano	300,4238	300,4251	-0,0013	Ano
	4009	99,6756	99,6755	0,0001	Ano	300,3278	300,3282	-0,0004	Ano
	4005	100,0110	100,0111	-0,0001	Ano	299,9922	299,9929	-0,0007	Ano
	4006	100,2873	100,2882	-0,0009	Ano	299,7160	299,7153	0,0007	Ano
4008	4007	102,3254	102,3254	0,0000	Ano	297,6815	297,6794	0,0020	Ano
	4005	100,2228	100,2231	-0,0002	Ano	299,7807	299,7805	0,0002	Ano
	4006	100,5071	100,5081	-0,0010	Ano	299,4966	299,4963	0,0003	Ano
	4010	99,9447	99,9449	-0,0002	Ano	300,0594	300,0590	0,0004	Ano
	4009	100,0462	100,0465	-0,0003	Ano	299,9570	299,9574	-0,0003	Ano
4009	4010	99,3698	99,3690	0,0008	Ano	300,6359	300,6385	-0,0026	Ano
	4007	100,3272	100,3273	-0,0001	Ano	299,6758	299,6766	-0,0007	Ano
	4008	99,9580	99,9575	0,0005	Ano	300,0467	300,0472	-0,0004	Ano
	P3	112,3414	112,3421	-0,0007	Ano	287,6616	287,6617	0,0000	Ano
	P4	111,7148	111,7145	0,0004	Ano	288,2889	288,2888	0,0001	Ano
	K6H	120,1382	120,1367	0,0015	Ano	279,8669	279,8678	-0,0009	Ano
	K6D	122,5587	122,5600	-0,0013	Ano	277,4453	277,4456	-0,0003	Ano
	K5H	124,9640	124,9622	0,0018	Ano	275,0421	275,0426	-0,0005	Ano
	K5D	127,9749	127,9752	-0,0004	Ano	272,0317	272,0315	0,0001	Ano
4010	4009	100,6252	100,6263	-0,0011	Ano	299,3808	299,3813	-0,0005	Ano
	4007	100,4247	100,4244	0,0003	Ano	299,5802	299,5786	0,0016	Ano
	4008	100,0586	100,0591	-0,0005	Ano	299,9456	299,9454	0,0002	Ano
	P3	111,6440	111,6438	0,0002	Ano	288,3613	288,3613	0,0001	Ano
	P4	112,5025	112,5033	-0,0008	Ano	287,5026	287,5023	0,0002	Ano
	K6H	129,3478	129,3468	0,0011	Ano	270,6599	270,6594	0,0005	Ano
	K6D	132,7231	132,7239	-0,0008	Ano	267,2836	267,2820	0,0016	Ano
	K5H	119,3502	119,3500	0,0003	Ano	280,6544	280,6550	-0,0007	Ano
	K5D	121,6602	121,6614	-0,0012	Ano	278,3435	278,3435	0,0000	Ano

Tab. 16 Rozbory přesnosti při měření horizontální směru

Horizontální směry [gon]									
Stan	bod	I.poloha				II.poloha			
		1.sk	2.sk	rozdíl	splňuje	1.sk	2.sk	rozdíl	splňuje
4001	4002	326,2379	326,2407	-0,0027	Ano	126,2406	126,2409	-0,0003	Ano
	4004	0,3838	0,3851	-0,0012	Ano	200,3857	200,3857	0,0000	Ano
	4003	5,1529	5,1541	-0,0012	Ano	205,1550	205,1557	-0,0006	Ano

	P1	7,9682	7,9686	-0,0004	Ano	207,9703	207,9712	-0,0009	Ano
	P2	368,3644	368,3655	-0,0011	Ano	168,3672	168,3669	0,0003	Ano
	K1L	224,6358	224,6360	-0,0003	Ano	24,6367	24,6371	-0,0004	Ano
	K1P	225,9547	225,9550	-0,0003	Ano	25,9547	25,9559	-0,0012	Ano
	K2L	264,9521	264,9524	-0,0003	Ano	64,9526	64,9538	-0,0011	Ano
	K2P	266,3263	266,3273	-0,0010	Ano	66,3289	66,3280	0,0009	Ano
4002	4003	13,9057	13,9051	0,0007	Ano	213,9073	213,9056	0,0017	Ano
	4001	126,2402	126,2369	0,0032	Ne	326,2402	326,2406	-0,0004	Ano
	4004	8,5260	8,5257	0,0004	Ano	208,5270	208,5260	0,0010	Ano
	P1	48,0570	48,0571	-0,0001	Ano	248,0581	248,0592	-0,0012	Ano
	P2	1,5063	1,5056	0,0008	Ano	201,5076	201,5071	0,0005	Ano
	K1L	196,5546	196,5537	0,0009	Ano	396,5558	396,5554	0,0004	Ano
	K1P	197,7376	197,7369	0,0007	Ano	397,7375	397,7383	-0,0007	Ano
	K2L	231,9721	231,9725	-0,0004	Ano	31,9750	31,9746	0,0005	Ano
	K2P	233,6585	233,6585	0,0000	Ano	33,6596	33,6595	0,0000	Ano
4004	4003	141,0584	141,0584	0,0000	Ano	341,0602	341,0603	-0,0001	Ano
	4001	200,3943	200,3942	0,0001	Ano	0,3944	0,3960	-0,0016	Ano
	4002	208,5367	208,5373	-0,0006	Ano	8,5368	8,5367	0,0000	Ano
	4006	54,7111	54,7110	0,0001	Ano	254,7120	254,7135	-0,0015	Ano
	4005	61,2900	61,2921	-0,0021	Ano	261,2920	261,2933	-0,0013	Ano
4003	4004	341,0584	341,0584	0,0000	Ano	141,0584	141,0585	-0,0001	Ano
	4006	48,5839	48,5839	0,0000	Ano	248,5849	248,5856	-0,0006	Ano
	4005	55,3534	55,3534	0,0000	Ano	255,3547	255,3548	-0,0001	Ano
	4001	205,1663	205,1664	-0,0001	Ano	5,1666	5,1674	-0,0008	Ano
	4002	213,9180	213,9181	-0,0001	Ano	13,9192	13,9200	-0,0009	Ano
4005	4006	350,1639	350,1639	0,0000	Ano	150,1649	150,1663	-0,0014	Ano
	4008	6,3464	6,3468	-0,0004	Ano	206,3468	206,3478	-0,0010	Ano
	4007	12,0231	12,0224	0,0007	Ano	212,0240	212,0241	-0,0002	Ano
	4003	255,3475	255,3467	0,0009	Ano	55,3495	55,3495	0,0000	Ano
	4004	261,2844	261,2851	-0,0007	Ano	61,2871	61,2877	-0,0007	Ano
	K3L	249,4593	249,4593	0,0000	Ano	49,4613	49,4612	0,0001	Ano
	K3P	251,5289	251,5289	0,0000	Ano	51,5293	51,5304	-0,0011	Ano
	K4L	293,7357	293,7360	-0,0002	Ano	93,7372	93,7382	-0,0010	Ano
	K4P	296,1050	296,1069	-0,0019	Ano	96,1066	96,1066	0,0000	Ano
4006	4005	150,1639	150,1639	0,0000	Ano	350,1634	350,1638	-0,0004	Ano
	4003	248,5744	248,5744	-0,0001	Ano	48,5748	48,5744	0,0003	Ano
	4004	254,7004	254,7004	-0,0001	Ano	54,7015	54,7004	0,0010	Ano
	4008	11,1770	11,1766	0,0003	Ano	211,1778	211,1770	0,0008	Ano
	4007	17,2890	17,2885	0,0004	Ano	217,2898	217,2883	0,0015	Ano
	K3L	218,1290	218,1304	-0,0014	Ano	18,1322	18,1312	0,0010	Ano
	K3P	219,9564	219,9559	0,0005	Ano	19,9596	19,9562	0,0034	Ne
	K4L	251,4140	251,4150	-0,0010	Ano	51,4160	51,4155	0,0005	Ano
	K4P	254,5123	254,5129	-0,0006	Ano	54,5119	54,5129	-0,0010	Ano
4007	4008	326,7131	326,7131	0,0000	Ano	126,7132	126,7132	0,0000	Ano
	4010	52,7681	52,7682	-0,0001	Ano	252,7691	252,7690	0,0001	Ano
	4009	63,6720	63,6728	-0,0008	Ano	263,6739	263,6741	-0,0002	Ano
	4005	212,0202	212,0202	0,0000	Ano	12,0214	12,0224	-0,0010	Ano

	4006	217,2904	217,2903	0,0001	Ano	17,2904	17,2904	0,0000	Ano
4008	4007	126,7131	126,7131	0,0000	Ano	326,7161	326,7145	0,0016	Ano
	4005	206,3453	206,3454	-0,0001	Ano	6,3467	6,3480	-0,0013	Ano
	4006	211,1804	211,1804	-0,0001	Ano	11,1819	11,1812	0,0007	Ano
	4010	61,2877	61,2878	-0,0001	Ano	261,2884	261,2886	-0,0002	Ano
	4009	71,5274	71,5287	-0,0012	Ano	271,5289	271,5286	0,0002	Ano
4009	4010	371,1787	371,1787	0,0000	Ano	171,1788	171,1788	0,0000	Ano
	4007	263,6707	263,6708	-0,0001	Ano	63,6719	63,6715	0,0004	Ano
	4008	271,5251	271,5252	-0,0001	Ano	71,5266	71,5270	-0,0004	Ano
	P3	268,3314	268,3315	0,0000	Ano	68,3327	68,3327	-0,0001	Ano
	P4	291,0154	291,0155	-0,0001	Ano	91,0175	91,0171	0,0004	Ano
	K6L	16,6833	16,6870	-0,0037	Ne	216,6871	216,6863	0,0007	Ano
	K6P	19,2541	19,2557	-0,0017	Ano	219,2561	219,2571	-0,0011	Ano
	K5L	68,0917	68,0950	-0,0033	Ne	268,0946	268,0957	-0,0010	Ano
K5P	71,3922	71,3934	-0,0012	Ano	271,3936	271,3958	-0,0022	Ano	
4010	4009	171,1787	171,1787	0,0000	Ano	371,1786	371,1787	-0,0001	Ano
	4007	252,7750	252,7738	0,0012	Ano	52,7751	52,7746	0,0005	Ano
	4008	261,2917	261,2917	0,0000	Ano	61,2922	61,2923	-0,0001	Ano
	P3	246,1932	246,1932	0,0000	Ano	46,1943	46,1942	0,0001	Ano
	P4	268,6549	268,6550	-0,0001	Ano	68,6572	68,6564	0,0008	Ano
	K6L	67,8014	67,8035	-0,0021	Ano	267,8032	267,8044	-0,0012	Ano
	K6P	71,6198	71,6174	0,0024	Ano	271,6205	271,6192	0,0013	Ano
	K5L	116,9216	116,9223	-0,0007	Ano	316,9232	316,9231	0,0001	Ano
	K5P	119,3395	119,3413	-0,0018	Ano	319,3405	319,3414	-0,0010	Ano

Tab. 17 Rozbory přesnosti při měření délky

Délky [m]									
stan	bod	I.poloha				II.poloha			
		1.sk	2.sk	rozdíl	splňuje	1.sk	2.sk	rozdíl	splňuje
4001	4002	3,392	3,392	0,000	Ano	3,392	3,392	0,000	Ano
	4004	25,559	25,559	0,000	Ano	25,559	25,559	0,000	Ano
	4003	24,277	24,277	0,000	Ano	24,277	24,277	0,000	Ano
	P1	5,590	5,590	0,000	Ano	5,590	5,589	0,001	Ano
	P2	6,455	6,455	0,000	Ano	6,454	6,453	0,001	Ano
4002	4003	23,395	23,395	0,000	Ano	23,394	23,394	0,000	Ano
	4001	3,392	3,392	0,000	Ano	3,392	3,392	0,000	Ano
	4004	24,419	24,418	0,001	Ano	24,418	24,419	-0,001	Ano
	P1	5,710	5,711	-0,001	Ano	5,711	5,711	0,000	Ano
	P2	4,435	4,435	0,000	Ano	4,436	4,435	0,001	Ano
4004	4003	2,265	2,265	0,000	Ano	2,264	2,265	-0,001	Ano
	4001	25,559	25,558	0,001	Ano	25,559	25,558	0,001	Ano
	4002	24,419	24,418	0,001	Ano	24,419	24,418	0,001	Ano
	4006	23,398	23,398	0,000	Ano	23,398	23,398	0,000	Ano
	4005	23,699	23,699	0,000	Ano	23,699	23,699	0,000	Ano
4003	4004	2,265	2,265	0,000	Ano	2,265	2,265	0,000	Ano

	4006	23,022	23,022	0,000	Ano	23,022	23,023	-0,001	Ano
	4005	23,091	23,091	0,000	Ano	23,091	23,091	0,000	Ano
	4001	24,276	24,276	0,000	Ano	24,277	24,277	0,000	Ano
	4002	23,395	23,395	0,000	Ano	23,395	23,396	-0,001	Ano
4005	4006	2,453	2,453	0,000	Ano	2,453	2,453	0,000	Ano
	4008	26,435	26,435	0,000	Ano	26,434	26,434	0,000	Ano
	4007	25,777	25,776	0,001	Ano	25,776	25,776	0,000	Ano
	4003	23,091	23,091	0,000	Ano	23,092	23,091	0,001	Ano
	4004	23,699	23,698	0,001	Ano	23,698	23,698	0,000	Ano
4006	4005	2,453	2,453	0,000	Ano	2,453	2,453	0,000	Ano
	4003	23,022	23,023	-0,001	Ano	23,023	23,022	0,001	Ano
	4004	23,398	23,398	0,000	Ano	23,399	23,398	0,001	Ano
	4008	24,950	24,950	0,000	Ano	24,951	24,950	0,001	Ano
	4007	24,479	24,479	0,000	Ano	24,479	24,478	0,001	Ano
4008	4007	2,419	2,419	0,000	Ano	2,419	2,419	0,000	Ano
	4005	26,435	26,434	0,001	Ano	26,434	26,434	0,000	Ano
	4006	24,950	24,950	0,000	Ano	24,950	24,950	0,000	Ano
	4010	16,627	16,627	0,000	Ano	16,627	16,627	0,000	Ano
	4009	16,427	16,427	0,000	Ano	16,427	16,427	0,000	Ano
4007	4008	2,420	2,419	0,001	Ano	2,419	2,419	0,000	Ano
	4010	15,516	15,517	-0,001	Ano	15,516	15,516	0,000	Ano
	4009	14,976	14,976	0,000	Ano	14,976	14,977	-0,001	Ano
	4005	25,776	25,777	-0,001	Ano	25,777	25,776	0,001	Ano
	4006	24,478	24,478	0,000	Ano	24,479	24,478	0,001	Ano
4009	4010	2,663	2,663	0,000	Ano	2,663	2,663	0,000	Ano
	4007	14,976	14,976	0,000	Ano	14,976	14,976	0,000	Ano
	4008	16,427	16,426	0,001	Ano	16,427	16,427	0,000	Ano
	P3	7,356	7,357	-0,001	Ano	7,356	7,357	-0,001	Ano
	P4	7,865	7,865	0,000	Ano	7,865	7,864	0,001	Ano
4010	4009	2,663	2,663	0,000	Ano	2,663	2,663	0,000	Ano
	4007	15,516	15,517	-0,001	Ano	15,517	15,517	0,000	Ano
	4008	16,627	16,626	0,001	Ano	16,627	16,627	0,000	Ano
	P3	7,938	7,937	0,001	Ano	7,937	7,937	0,000	Ano
	P4	7,510	7,510	0,000	Ano	7,510	7,509	0,001	Ano

20.6 Upravený elektronický zápisník měření

č.stanoviska	1 4002 0
č.b š.d Hz. z.	-1
	4001 3.3920 0 126.24018 101.87557
1 4001 0	4004 24.4190 0 8.52602 100.00841
-1	4003 23.3940 0 13.90505 100.13958
4002 3.3920 0 326.23793 98.13296	K1 0 0 197.14609 110.41895
4004 25.5590 0 0.38383 99.75939	K2 0 0 232.81530 115.08411
4003 24.2770 0 5.15293 99.87274	P2 4.4350 0 1.50633 121.29556
P2 6.4550 0 368.36444 113.47980	P1 5.7100 0 48.05700 116.36180
P1 5.5900 0 7.96820 115.55059	P1 5.7110 0 248.05805 283.64120
K1 0 0 225.29522 110.71991	P2 4.4350 0 201.50760 278.70873
K2 0 0 265.63919 111.53294	K2 0 0 32.81730 284.91858
K2 0 0 65.64077 288.46998	K1 0 0 397.14666 289.58368
K1 0 0 25.29567 289.28379	4003 23.3940 0 213.90728 299.86401
P1 5.5900 0 207.97031 284.45234	4004 24.4180 0 208.52697 299.99428
P2 6.4540 0 168.36723 286.52357	4001 3.3920 0 326.24017 298.12927
4003 24.2770 0 205.15503 300.13031	4001 3.3920 0 126.23694 101.87731
4004 25.5590 0 200.38570 300.24317	4004 24.4190 0 8.52567 100.00805
4002 3.3920 0 126.24061 301.87228	4003 23.3940 0 13.90506 100.13944
4002 3.3920 0 326.24067 98.13169	K1 0 0 197.14531 110.41951
4004 25.5590 0 0.38506 99.75867	K2 0 0 232.81547 115.08429
4003 24.2770 0 5.15412 99.87247	P2 4.4360 0 1.50558 121.29474
P2 6.4550 0 368.36553 113.47920	P1 5.7110 0 48.05707 116.36199
P1 5.5900 0 7.96863 115.55099	P1 5.7110 0 248.05924 283.64171
K1 0 0 225.29550 110.72003	P2 4.4350 0 201.50706 278.70913
K2 0 0 265.63986 111.53298	K2 0 0 32.81704 284.91946
K2 0 0 65.64086 288.46974	K1 0 0 397.14683 289.58358
K1 0 0 25.29649 289.28386	4003 23.3950 0 213.90562 299.86403
P1 5.5890 0 207.97120 284.45308	4004 24.4180 0 208.52597 299.99437
P2 6.4530 0 168.36693 286.52386	4001 3.3920 0 326.24061 298.12582
4003 24.2770 0 205.15565 300.13011	/
4004 25.5590 0 200.38570 300.24385	1 4004 0
4002 3.3920 0 126.24092 301.87402	-1
/	4003 2.2650 0 141.05840 101.34707

4001 25.5590 0 200.39433 100.24167
4002 24.4190 0 208.53673 99.99358
4006 23.3980 0 54.71109 100.70023
4005 23.6990 0 61.28995 100.40584
4005 23.6990 0 261.29195 299.59710
4006 23.3980 0 254.71201 299.30244
4002 24.4190 0 8.53677 300.00990
4001 25.5590 0 0.39437 299.75915
4003 2.2640 0 341.06023 298.65640
4003 2.2650 0 141.05840 101.34700
4001 25.5580 0 200.39419 100.24258
4002 24.4180 0 208.53734 99.99322
4006 23.3980 0 54.71104 100.70020
4005 23.6990 0 61.29207 100.40555
4005 23.6990 0 261.29325 299.59699
4006 23.3980 0 254.71346 299.30249
4002 24.4180 0 8.53674 300.00860
4001 25.5580 0 0.39601 299.75968
4003 2.2650 0 341.06034 298.65867
/
1 4003 0
-1
4004 2.2650 0 341.05840 98.64491
4006 23.0220 0 48.58389 100.57790
4005 23.0910 0 55.35336 100.28332
4001 24.2760 0 205.16625 100.12924
4002 23.3950 0 213.91803 99.86246
4002 23.3950 0 13.91916 300.14076
4001 24.2770 0 5.16660 299.87211
4005 23.0910 0 255.35466 299.71926
4006 23.0220 0 248.58494 299.42403
4004 2.2650 0 141.05844 301.35811
4004 2.2650 0 341.05840 98.64620
4006 23.0220 0 48.58389 100.57836
4005 23.0910 0 55.35339 100.28329
4001 24.2760 0 205.16639 100.13065

4002 23.3950 0 213.91809 99.86274
4002 23.3960 0 13.92004 300.14048
4001 24.2770 0 5.16737 299.87245
4005 23.0910 0 255.35481 299.71825
4006 23.0230 0 248.58558 299.42432
4004 2.2650 0 141.05849 301.35922
/
1 4005 0
-1
4006 2.4530 0 350.16389 102.75834
4008 26.4350 0 6.34637 99.78060
4007 25.7770 0 12.02307 99.99280
4003 23.0910 0 255.34752 99.71957
4004 23.6990 0 261.28440 99.59740
K3 0 0 250.49408 116.24145
K4 0 0 294.92037 118.48405
K4 0 0 94.92188 281.51915
K3 0 0 50.49530 283.76168
4004 23.6980 0 61.28707 300.40508
4003 23.0920 0 55.34947 300.28226
4007 25.7760 0 212.02398 300.01027
4008 26.4340 0 206.34680 300.22312
4006 2.4530 0 150.16493 297.24567
4006 2.4530 0 350.16389 102.75976
4008 26.4350 0 6.34677 99.78060
4007 25.7760 0 12.02235 99.99332
4003 23.0910 0 255.34666 99.71945
4004 23.6980 0 261.28508 99.59730
K3 0 0 250.49411 116.24296
K4 0 0 294.92142 118.48392
K4 0 0 94.92239 281.51965
K3 0 0 50.49579 283.76215
4004 23.6980 0 61.28772 300.40627
4003 23.0910 0 55.34947 300.28123
4007 25.7760 0 212.02413 300.00983
4008 26.4340 0 206.34780 300.22259

4006 2.4530 0 150.16629 297.24771
/
1 4006 0
-1
4005 2.4530 0 150.16389 97.23657
4003 23.0220 0 248.57438 99.42458
4004 23.3980 0 254.70036 99.30434
4008 24.9500 0 11.17695 99.49476
4007 24.4790 0 17.28895 99.71583
K3 0 0 219.04270 113.15948
K4 0 0 252.96313 121.79950
K4 0 0 52.96393 278.20625
K3 0 0 19.04591 286.84536
4007 24.4790 0 217.28981 300.28761
4008 24.9510 0 211.17784 300.50749
4004 23.3990 0 54.70145 300.69987
4003 23.0230 0 48.57476 300.57750
4005 2.4530 0 350.16343 302.76908
4005 2.4530 0 150.16389 97.23508
4003 23.0230 0 248.57443 99.42611
4004 23.3980 0 254.70044 99.30317
4008 24.9500 0 11.17661 99.49562
4007 24.4790 0 17.28852 99.71576
K3 0 0 219.04314 113.15936
K4 0 0 252.96393 121.79876
K4 0 0 52.96422 278.20615
K3 0 0 19.04368 286.84519
4007 24.4780 0 217.28827 300.28760
4008 24.9500 0 211.17703 300.50816
4004 23.3980 0 54.70044 300.70023
4003 23.0220 0 48.57444 300.57734
4005 2.4530 0 350.16383 302.76922
/
1 4008 0
-1
4007 2.4190 0 126.71313 102.32541

4005 26.4350 0 206.34534 100.22284
4006 24.9500 0 211.18036 100.50707
4010 16.6270 0 61.28773 99.94467
4009 16.4270 0 71.52743 100.04617
4009 16.4270 0 271.52886 299.95701
4010 16.6270 0 261.28841 300.05943
4006 24.9500 0 11.18185 299.49661
4005 26.4340 0 6.34670 299.78065
4007 2.4190 0 326.71610 297.68146
4007 2.4190 0 126.71313 102.32540
4005 26.4340 0 206.34544 100.22307
4006 24.9500 0 211.18043 100.50809
4010 16.6270 0 61.28783 99.94485
4009 16.4270 0 71.52868 100.04646
4009 16.4270 0 271.52862 299.95735
4010 16.6270 0 261.28863 300.05903
4006 24.9500 0 11.18117 299.49627
4005 26.4340 0 6.34801 299.78045
4007 2.4190 0 326.71454 297.67944
/
1 4007 0
-1
4008 2.4200 0 326.71313 97.68242
4010 15.5160 0 52.76813 99.57854
4009 14.9760 0 63.67195 99.67558
4005 25.7760 0 212.02020 100.01101
4006 24.4780 0 217.29038 100.28732
4006 24.4790 0 17.29042 299.71598
4005 25.7770 0 12.02136 299.99223
4009 14.9760 0 263.67388 300.32777
4010 15.5160 0 252.76913 300.42379
4008 2.4190 0 126.71321 302.32304
4008 2.4190 0 326.71313 97.68495
4010 15.5170 0 52.76820 99.57947
4009 14.9760 0 63.67280 99.67551
4005 25.7770 0 212.02020 100.01106

4006 24.4780 0 217.29030 100.28819
4006 24.4780 0 17.29041 299.71527
4005 25.7760 0 12.02240 299.99292
4009 14.9770 0 263.67411 300.32818
4010 15.5160 0 252.76900 300.42509
4008 2.4190 0 126.71320 302.32162
/
1 4009 0
-1
4010 2.6630 0 371.17866 99.36977
4007 14.9760 0 263.67068 100.32723
4008 16.4270 0 271.52511 99.95801
K6 0 0 17.96867 121.34845
K5 0 0 69.74195 126.46944
P3 7.3560 0 268.33143 112.34137
P4 7.8650 0 291.01536 111.71482
P4 7.8650 0 91.01752 288.28890
P3 7.3560 0 68.33266 287.66164
K5 0 0 269.74413 273.53687
K6 0 0 217.97155 278.65613
4008 16.4270 0 71.52660 300.04672
4007 14.9760 0 63.67188 299.67583
4010 2.6630 0 171.17875 300.63593
4010 2.6630 0 371.17866 99.36895
4007 14.9760 0 263.67076 100.32733
4008 16.4260 0 271.52516 99.95752
K6 0 0 17.97136 121.34833
K5 0 0 69.74418 126.46871
P3 7.3570 0 268.33146 112.34210
P4 7.8650 0 291.01546 111.71445
P4 7.8640 0 91.01708 288.28877
P3 7.3570 0 68.33273 287.66165
K5 0 0 269.74572 273.53708
K6 0 0 217.97173 278.65671
4008 16.4270 0 71.52699 300.04715
4007 14.9760 0 63.67145 299.67658

4010 2.6630 0 171.17876 300.63849
/
1 4010 0
-1
4009 2.6630 0 171.17866 100.62519
4007 15.5160 0 252.77501 100.42469
4008 16.6270 0 261.29172 100.05861
K5 0 0 118.13056 120.50519
K6 0 0 69.71057 131.03547
P3 7.9380 0 246.19316 111.64395
P4 7.5100 0 268.65490 112.50250
P4 7.5090 0 68.65635 287.50234
P3 7.9370 0 46.19420 288.36126
K6 0 0 269.71185 268.97174
K5 0 0 318.13183 279.49892
4008 16.6270 0 61.29217 299.94557
4007 15.5170 0 52.77507 299.58023
4009 2.6630 0 371.17858 299.38083
4009 2.6630 0 171.17866 100.62633
4007 15.5170 0 252.77378 100.42440
4008 16.6260 0 261.29174 100.05911
K6 0 0 69.71042 131.03535
K5 0 0 118.13182 120.50568
P4 7.5100 0 268.65497 112.50333
P3 7.9370 0 246.19316 111.64380
P3 7.9370 0 46.19430 288.36132
P4 7.5100 0 68.65715 287.50256
K5 0 0 318.13227 279.49926
K6 0 0 269.71178 268.97069
4008 16.6270 0 61.29226 299.94540
4007 15.5170 0 52.77455 299.57864
4009 2.6630 0 371.17866 299.38131
/
-2