

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
KATEDRA SPECIÁLNÍ GEODÉZIE

Studijní program: GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

Studijní obor: INŽENÝRSKÁ GEODÉZIE



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Polygonové pořady v železničním bodovém poli

Traverse in a railway geodetic point field

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Braun, Ph.D.

Havlíčkův Brod, 2021

Bc. Lucie Pártlová

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Pártlová	Jméno: Lucie	Osobní číslo: 439273
Zadávající katedra: Katedra speciální geodézie (K154)		
Studijní program: Geodézie a kartografie		
Studijní obor: Inženýrská geodézie		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Polygonové pořady v železničním bodovém poli	
Název diplomové práce anglicky: Traverse in a railway geodetic point field	
Pokyny pro vypracování: Proveďte zpracování přehledu v současnosti používaných metod pro určování bodů v rámci železničního bodového pole v ČR. Pro metodu oboustranně orientovaného polygonového pořadu proveďte analýzu přesnosti s uvažováním úhlové přesnosti přístrojů 1", 2" a 3". Proveďte praktické geodetické zaměření a vyhodnocení polygonového pořadu v drážním prostředí.	
Seznam doporučené literatury: [1] Hampacher, M. - Štroner, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 2. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, ČVUT v Praze, 2015. 336 s. ISBN 978-80-01-05843-5. [2] SŽDC M20/MP007 - Železniční bodové pole, SŽDC 2018	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Jaroslav Braun, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 19.2.2021	Termín odevzdání diplomové práce: 16.5.2021 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

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

Prohlášení

Já, Lucie Pártlová, prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Polygonové pořady v železničním bodovém poli vypracovala samostatně pod vedením Ing. Jaroslava Brauna, Ph.D., za použití zdrojů uvedených v seznamu.

V Havlíčkově Brodě dne

.....
(podpis studentky)

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu diplomové práce Ing. Jaroslavu Braunovi, Ph.D. za veškeré rady, konzultace a připomínky při této práci.

Dále bych chtěla poděkovat firmě Chládek a Tintěra, a.s. za poskytnutí podkladů a přístrojů pro vyhotovení diplomové práce, jmenovitě Ing. Davidu Kozlíkovi, Ing. Martinu Kubovi, Petru Fišerovi a Jirkovi Nedvědovi.

V neposlední řadě bych ráda poděkovala kamarádům a rodině za podporu a trpělivost při celém mém studiu.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá měřením polygonových pořadů v železničním bodovém poli. Obsahem práce je představení měřických postupů a výpočetních postupů. V rámci práce jsou provedeny teoretické rozborů přesnosti různých typů polygonových pořadů. Teoretické rozborů byly ověřeny opakovaným praktickým zaměřením polygonového pořadu.

Klíčová slova

měření, polygonové pořady, železnice, totální stanice, GROMA, GNSS, GAMA, PrecisPlanner

Abstract

The diploma thesis deals with the measurement of polygon traverse in a railway point field. The content of the work is the introduction of measurement procedures and calculation procedures. Within the work, theoretical analyzes of the accuracy of various types of polygon traverse are performed. Theoretical analyzes were verified by repeated practical focus of the polygon traverse.

Key words

measurement, traverse, railway, total station, GROMA, GNSS, GAMA, PrecissPlanner

Seznam použitých zkratk

SŽ/SŽDC	Správa železniční dopravní cesty
SŽG	Správa železniční geodézie
ŽBP	Železniční bodové pole
ZZ	Zajišťovací značka
PS	Primární systém – železničního bodového pole
SS	Sekundární systém – železničního bodového pole
ZB	Zajišťovací bod
S-JTSK	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
Bpv	Výškový systém Balt po vyrovnání
ETRS 89	Evropský terestrický referenční systém
GNSS	Global Navigation Satellite System (Globální družicový polohový systém)
RTK	Real Time Kinematics (Kinematické měření v reálném čase)
VRS	Virtuální referenční stanice
GPS	Global Positioning System, globální družicový polohový systém
GLONASS	Ruský globální navigační systém
CZEPOS	Czech Positioning System, síť permanentních stanic GNSS České republiky
GDOP	Geometric dilution of precision – parametr geometrické přesnosti
PDOP	Positional dilution of precision – parametr přesnosti polohy

Obsah

1	ÚVOD	9
2	METODY MĚŘENÍ BODŮ ŽBP	10
2.1	ŽELEZNIČNÍ BODOVÉ POLE (ŽBP)	10
2.1.1	Primární systém (PS)	10
2.1.2	Sekundární systém (SS)	10
2.2	TECHNOLOGIE GNSS	11
2.2.1	Požadavky na technické vybavení GNSS	11
2.2.2	Měření metodou RTK	11
2.2.3	Měření statickou metodou	12
2.2.4	Měření rychlou statickou metodou	12
2.3	TERESTRICKÉ METODY	13
2.3.1	Požadavky na technické vybavení	13
2.3.2	Oboustranně orientovaný polygonový pořad	13
2.3.3	Kontrolovaný rajón	14
2.3.4	Metoda postupného protínání	14
3	ROZBORY PŘESNOSTI PŘED MĚŘENÍM	16
3.1	OBEČNÝ VÝPOČET MNČ	16
3.2	POSUZOVANÉ POLYGONOVÉ POŘADY	19
3.2.1	Oboustranně orientované polygonové pořady	19
3.2.2	Vetknutý polygonový pořad	22
3.3	ROZBORY PŘESNOSTI PŘED MĚŘENÍM V PROGRAMU PRECISPLANNER 3D	23
3.4	ZHODNOCENÍ ROZBORŮ PŘESNOSTI PŘED MĚŘENÍM	29
3.4.1	Polygon 605 – 608	29
3.4.2	Polygon 608 – 912	31
3.4.3	Polygon 602 – 605	32
3.5	VÝPOČET V PROGRAMU GAMA	33
4	PRAKTICKÉ MĚŘENÍ	35
4.1	POUŽITÉ PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ	35
4.1.1	Totální stanice Trimble S3	35
4.1.2	GNSS přijímač	37
4.2	TESTOVÁNÍ TOTÁLNÍ STANICE	38
4.2.1	Lokalita a měření v terénu	38
4.2.2	Výsledky	41
4.3	REKOGNOSKACE TERÉNU	42
4.4	MĚŘENÍ V TERÉNU	46
5	ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT	49
5.1	VÝPOČET POLYGONOVÉHO POŘADU V PROGRAMU GROMA	49
5.2	VÝPOČET POLYGONOVÉHO POŘADU V PROGRAMU GAMA	54
5.3	ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	55
5.3.1	Porovnání polohové odchylky z výpočtu v programu Groma	55
5.3.2	Souřadnice polygonu z Gromy	55
5.3.3	Souřadnice polygonu z programu GAMA	57
5.3.4	Porovnání souřadnic z programů	58
5.3.5	Zhodnocení opakovaného měření polygonového pořadu	59
6	POUŽITÉ PROGRAMY	61
6.1	PRECISPLANNER 3D	61
6.2	GAMA	61
6.3	GROMA	61

8 ZÁVĚR.....	62
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ A LITERATURY	63
SEZNAM OBRÁZKŮ	65
SEZNAM TABULEK	66
SEZNAM PŘÍLOH.....	67

1 Úvod

Téma diplomové práce bylo motivováno požadavky Správy železniční geodézie SŽG. Cílem této práce bylo představit v současnosti používané metody pro určování bodů v rámci železničního bodového pole, provést analýzu přesnosti určení bodů pomocí polygonových pořadů s uvažováním úhlové přesnosti totálních stanic 1", 2" a 3" a provést praktické zaměření a vyhodnocení polygonového pořadu v drážním prostředí.

V druhé kapitole jsou popsány používané metody pro měření železničních polygonových pořadů jak terestrické, tak i technologie GNSS. Je zde i stručně popsáno železniční bodové pole.

Třetí kapitola je zaměřena na rozbor přesnosti pro přístroje – totální stanice, které mají úhlovou přesnost 1", 2" a 3". Rozbor přesnosti jsou počítány v programu PrecisPlanner 3D a v programu GAMA.

Další kapitola se zabývá praktickým měřením železničního polygonového pořadu a testování přesnosti totální stanice dle normy ČSN ISO 17123 Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů.

Pátá kapitola se zabývá zpracováním dat. Data byla zpracována ve dvou různých programech, a to Groma a GAMA. Dále je zde porovnání určených souřadnic z programů.

V šesté kapitole jsou popsány použité výpočetní programy.

2 Metody měření bodů ŽBP

2.1 Železniční bodové pole (ŽBP)

Železniční bodové pole je polohové a výškové bodové pole, které je tvořeno základními a podrobnými geodetickými body. Tyto body jsou zřizovány v obvodu nebo ochranném pásmu trati. [3] ŽBP je geodetickým základem pro vytyčovací, ověřovací a kontrolní měření objektů železniční infrastruktury, především prostorové polohy. Bodové pole dělíme na primární systém a sekundární systém. [1]

Body jsou číslovány vzestupně ve směru růstu stačení dráhy dvanáctimístným číslem. Přesný tvar číslování je následující XXXX 0000 CCCC. Kde na 1. až 4. pozici je číslo traťového úseku (TÚ), na pozici 5. až 8. nuly a na 9. až 12. pozici je vlastní číslo bodu. [1]

2.1.1 Primární systém (PS)

Soustava trvalých bodů tvořících vytyčovací síť pro vytyčování polohy a výškových úrovní stavby. Body PS jsou body 1. třídy přesnosti, polohově jsou určeny v systému S-JTSK, výškově v systému Bpv a prostorově jsou určeny v ETRS89 navázané na základní referenční systém ČR. Body jsou od sebe budovány 600 až 1300 m. Pro zaručení bezpečné práce při provozu koleje a neporušení bodů, jsou body budovány od osy koleje ve vzdálenosti minimálně 2,2 metry.

[1]

2.1.2 Sekundární systém (SS)

Systém je tvořen všemi geodetickými body, které jsou polohově a výškově navázány na body PS. Poloha bodů je tedy určena v systému S-JTSK a výška bodů je v Bpv. Do SS patří body polygonových pořadů, zajišťovací body, zajišťovací značky, lokální vytyčovací sítě (mikrosítě). Body se zřizují maximálně 250 metrů od sebe a musí být zajištěna vzájemná viditelnost mezi body. Minimální vzdálenost od osy koleje je i v tomto případě 2,2 metrů.

[1]

2.2 Technologie GNSS

Body GNSS se zřizují přednostně na bodech PS nebo v jejich blízkosti tak, aby bylo možné geodetické připojení bodů PS na body GNSS. Body určené pro zaměření technologií GNSS stanoví projekt ŽBP, který musí být před začátkem měřických prací schválen regionálním správcem ŽBP. Z bodů určených technologií GNSS (pokud se nejedná přímo o bod PS) není nutná přímá viditelnost na osu koleje. [1]

Pro měření bodů ŽBP technologií GNSS můžeme využít 3 metody. A to metodu RTK, měření rychlou statickou metodou a měření statickou metodou. Podrobný popis je uveden v následujících kapitolách.

2.2.1 Požadavky na technické vybavení GNSS

Přesné požadavky na použití měření technologií GNSS nám upravuje předpis SŽDC M20/MP007. Před samotným měřením musí být používaná soustava GNSS antény a přijímače otestována. Taktéž musí být používaný stativ a trojnožka s optickým či laserovým centrovačem seřízeny. Centrovač musí umožnit centraci nad měřickou značkou s přesností lepší jak 1 mm.

Pro měření musíme používat dvoufrekvenční aparatury GNSS s geodetickými anténami GNSS, které přijímají signály ze systémů GPS a Glonass.

Statické metody – pro měření můžeme použít i aparaturu pracující pouze se systémem GPS.

Metoda RTK – pro měření musíme mít i příjem fázových diferenčních korekcí z jedné z uvedených stanic (CZEPOS, Trimble VRS Now, TopNet).

Přesnost geodetických souřadnic v ETRS89 určené měřením RTK musí být s přesností vteřin na 5 desetinných míst, geocentrické souřadnice v metrech na 3 desetinná místa.

2.2.2 Měření metodou RTK

Výhodou této metody je měření v reálném čase. To znamená, že získáme určované souřadnice přímo v terénu. Máme dvě řešení, jak tuto metodu můžeme použít. V základní konfiguraci se měřicí aparatura skládá z přijímače po dobu měření umístěného na bodě o známých souřadnicích, tzv. „base“, a z přijímače, který se pohybuje po určovaných nebo vytyčovaných bodech, tzv. „rover“. Mezi přijímači musí být permanentní datové spojení. U

další konfigurace je base nahrazen sítí virtuálních stanic, pak měření probíhá pouze s jedním přijímačem s trvalým připojením na internet k poskytovateli korekcí. [4]

Při měření ŽBP je nutné používat přednostně VRS (síťové řešení). Můžeme použít i vlastní referenční stanici, ale přímá vzdálenost báze od zaměřovaného bodu nesmí překročit 10 km. Před započítáním záznamu musíme počkat minimálně 30 sekund, než budeme moci začít se záznamem dat. Odlehlá měření je s výhodou odfiltrovat přímo v GNSS aparatuře, a to pomocí nastaveného filtru $GDOP \leq 3$, mezní odchylky v poloze $\leq \delta p_i = 25 \text{ mm}$ a mezní odchylky ve výšce $\delta H_i = 50 \text{ mm}$. Délka observace na stanovisku musí být minimálně 5 minut – 300 epoch měření.

[1]

2.2.3 Měření statickou metodou

Tato metoda spočívá v současném měření dvou nebo více aparatur. Doba měření se pochybuje od hodin až po dny podle požadované přesnosti, výsledky se zpracovávají až po dokončení měření – tzv. postprocessing, dosažitelná přesnost je 3 – 5 mm. [4]

Metoda podle předpisu je popsána v odstavci 2.2.4. Doba jedné observace na bodě trvá minimálně 60 minut. [1]

2.2.4 Měření rychlou statickou metodou

Princip této metody je stejný jako v odstavci 2.2.3, změna je v době měření. U měření statickou rychlou metodou měříme v řádu minut až desítek minut, dosažitelná přesnost je podle vzdálenosti 5 mm až 10 mm + 1 ppm. [4]

Abychom mohli tuto metodu použít pro měření bodů ŽBP, musíme dodržet podmínky měření, které jsou uvedeny v předpisu SŽDC M20/007. Parametr GDOP musí být menší než 4. Doba měření na bodě musí být 15 – 20 minut a interval záznamu dat pro statickou metodu je 10 sec. Délka vektoru k určovanému bodu nesmí přesáhnout 20 km, pokud využíváme nejbližší permanentní stanici (bez VRS) je maximální délka pro metodu rychlou statickou 20 km, pro statickou metodu 30 km. [1]

2.3 Terestrické metody

Pro zaměření bodů ŽBP můžeme využít následující terestrické metody. Oboustranně orientovaný polygonový pořad, kontrolovaný rajón a metodu postupného protínání. Podrobný popis těchto metod je vysvětlen v následujících kapitolách.

2.3.1 Požadavky na technické vybavení

Přístroje, které používáme pro měření, musí mít platný kalibrační protokol. Dále je nutné mít pro správnost měření zkontrolované a odstraněné přístrojové chyby totální stanice (zejména indexovou chybu). Předpis SŽDC M20/MP007 nám pro měření doporučuje používat přístroje se zapnutou funkcí automatického cílení a sledování odrazného hranolu. Délky se nesmí měřit v režimu rychlého měření, ale v přesném režimu.

Minimální parametry měřického vybavení [1]:

a) Totální stanice – s doporučenými minimálními parametry pro přesnost

/úhlová: 0,3 mgon, délková: $\pm(2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$ /.

b) Měřický vozík nebo rozchodka – s doporučenými minimálními parametry pro přesnost

/převýšení: 0,5 mm, rozchod: 0,5 mm/.

2.3.2 Oboustranně orientovaný polygonový pořad

Tato metoda se obvykle používá pro měření bodů PS a SS, je to jedna z metod pro určení souřadnic bodů. Polygonový pořad je lomená čára. V pořadech se měří levostranné vrcholové úhly a délky. Aby nedocházelo k chybám z centrace, používá se pro měření polygonových pořadů trojpodstavcová soustava. [2]

Pro účely měření bodů ŽBP se musíme řídit měřickým postupem, který je popsán v předpisu SŽDC M20/007. Směry se tedy musí měřit minimálně ve třech skupinách a v obou polohách. Musíme kontrolovat uzávěry, pokud měříme polygonový pořad s více jak 2 směry. Délky se na stanovisku měří alespoň 2x. Do přístroje zadáváme výšku stanoviska s přesností na milimetry. [1]

2.3.2.1 Kontrola přesnosti při měření

Při měření polygonových pořadů je nutno dodržovat správný postup měření a kontrolovat přesnost. Před měřením osnovy je nutné nastavit čtení horizontálního úhlu na 0,0000^B. Tento nulový bod je nutno během měření několikrát pro kontrolu zaměřit. Vždy na konci měření a po projetí vlaku kolem stanoviska.

Uzávěr skupiny vypočtený z průměru obou řad měření u počátečního a koncového směru nesmí překročit 20^{cc}. [1]

Mezi jednotlivými skupinami musíme již v terénu kontrolovat rozdíly v hodnotách zaměřených směrů. Při manuálním i automatickém cílení rozdíly nesmí být větší jak 20^{cc} [1]. Pokud je tato hodnota překročena je nutno zaměřit další skupinu směrů a znovu zkontrolovat rozdíly. Během měření musíme dbát na správné zadávání teploty a tlaku.

2.3.3 Kontrolovaný rajón

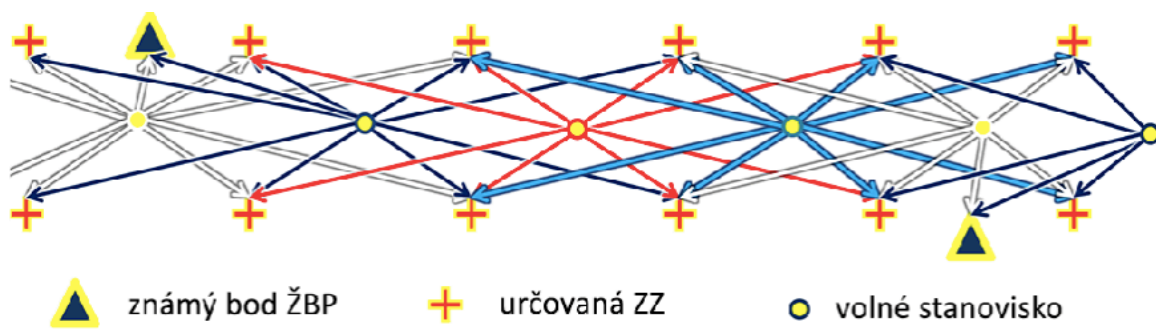
Tato metoda se používá, pokud potřebujeme do řady určených bodů doplnit jeden bod SS nebo pro určování osamocených ZB. Kontrolovaný rajón je metoda, která určuje souřadnice protínáním ze dvou ověřených bodů ŽBP. Vzdálenost mezi dvěma body ŽBP nesmí překročit vzdálenost 250 metrů na elektrifikované trati a 300 metrů na neelektrifikované trati. Poloha určovaného bodu nesmí překročit hodnoty 14 mm. Souřadnice určovaného bodu se určí aritmetickým průměrem.

[1]

2.3.4 Metoda postupného protínání

Tato metoda se používá pro měření zajišťovacích značek (ZZ). Měří se z volných stanovisek, která se volí mezi dvěma ZZ tak, že se polárně zaměří vždy dva páry ZZ vzad a dva vpřed. Kromě ZZ, se také zaměřují veškeré body ŽBP nebo vytyčovací sítě, které leží uvnitř měřené oblasti. Na obrázku č. 1 je znázorněn princip měření ZZ u oboustranného zaměření, každá ZZ je zde zaměřena 4x.

[1]



Obr 1: Metoda postupného promítání [1]

3 Rozbory přesnosti před měřením

V inženýrské geodézii mají prováděné práce zadaná požadovaná kritéria přesnosti. Tyto podmínky jsou většinou určeny zadavatelem nebo normou určenými předpisy. Rozbory přesnosti před měřením jsou prováděny proto, aby měl zhotovitel jistotu, že měření splňuje požadované podmínky.

Pro diplomovou práci se neposuzovala vhodná metoda, ale posuzovala se volba vhodného přístroje a počet měření skupin pro určení polohových souřadnic bodu pomocí polygonového pořadu. Posuzovaná úhlová přesnost přístrojů byla 1", 2", 3" a délková přesnost 2 mm + 2ppm. Pro výpočty byl použit program PrecisPlanner 3D.

3.1 Obecný výpočet MNČ

V případě měření většího počtu hodnot, než je nutný k výpočtu souřadnic (polygonové pořady), dochází obvykle k vyrovnání výsledných hodnot pomocí metody nejmenších čtverců. Obecný model výpočtu je dán normálními rovnicemi. V této rovnici je váhová matice P , matice plánu A (derivace měřených veličin dle určovaných neznámých), transponovaná matice plánu A^T , vektor redukováných měření l a vektor přírůstků neznámých dx .

$$A^T \cdot P \cdot A \cdot dx + A^T \cdot P \cdot l = 0 \quad (1)$$

Určení váhy jednotlivých veličin p_i je vypočítáno poměrem kvadrátů apriorní směrodatné odchylky jednotkové σ_0 a směrodatné odchylky měření σ_i . Směrodatnou odchylku měření je vhodné znát co nejlépe, jelikož určuje výslednou váhu a směrodatná odchylka měření je nejčastěji volena konstanta 1.

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

Matice vah P se skládá z jednotlivých vah měření.

$$P = \begin{pmatrix} P_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P_n \end{pmatrix} \quad (3)$$

Funkce f_m je funkce, která vyjadřuje vztah mezi měřením l_i a určovanými souřadnicemi X_n . X_n jsou neznámé veličiny. Matice plánu A vznikne z parciálních derivací funkce f_m podle X_n .

$$A = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial X_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial X_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_m}{\partial X_1} & \dots & \frac{\partial f_m}{\partial X_n} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Následně je počítán vektor redukovaných měření l' .

$$l' = f(X_0) - l \quad (5)$$

Přírůstky neznámých dx se vypočítají pomocí matice plánu, vah a vektoru redukovaných měření.

$$dx = -(A^T \cdot P \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot P \cdot l' \quad (6)$$

Vyrovnané neznámé X určíme z přibližně určených neznámých X_0 , které jsou opraveny o přírůstky neznámých dx .

$$X = X_0 + dx \quad (7)$$

Dále je vypočten vektor oprav v .

$$v = A \cdot dx + l \quad (8)$$

Aposteriorní směrodatná odchylka jednotková je počítána pro možnost zhodnocení výsledných hodnot.

$$\sigma_P = \sqrt{\frac{v^T \cdot P \cdot v}{n - k}} \quad (9)$$

Jako poslední je určena kovarianční matice vyrovnaných neznámých. V této matici je popsána přesnost výsledků vyrovnaní, tedy hledané směrodatné odchylky v rámci rozboru přesnosti.

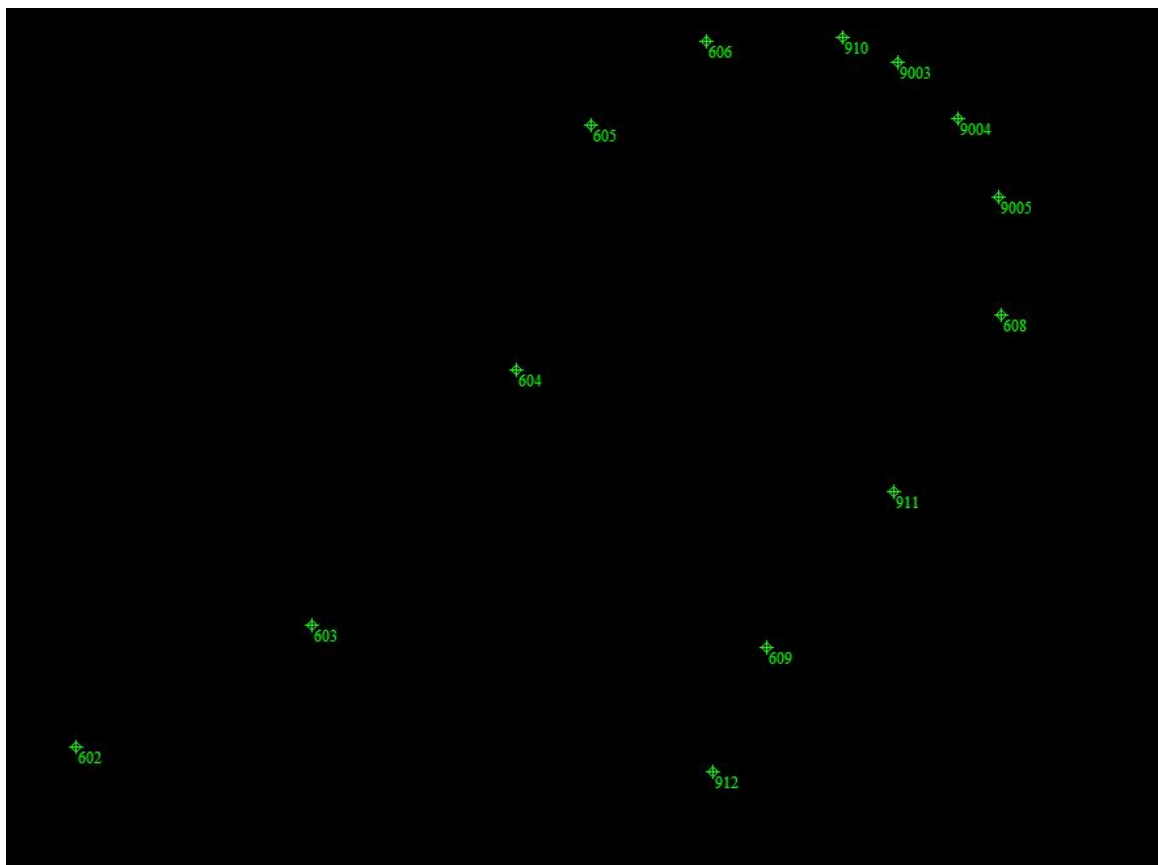
$$M = \sigma_P^2 \cdot (A^T \cdot P \cdot A)^{-1} \quad (10)$$

V dnešní době je tento výpočet většinou prováděn softwarově. Výpočet je prováděn iterativně, dokud není dosaženo požadovaného souladu prvních a druhých oprav.

[11, 12, 13]

3.2 Posuzované polygonové pořady

Pro účely diplomové práce byly výpočty modelovány na základě reálného měření v terénu. Výpočty jsou konfigurovány na tři polygonové pořady, a to dva oboustranně orientované pořady a vetknutý polygonový pořad. Pořady jsou popsány v následujících kapitolách. Na obrázku č. 2 je znázorněn průběh všech polygonových pořadů.



Obr 2: Průběh polygonových pořadů

3.2.1 Oboustranně orientované polygonové pořady

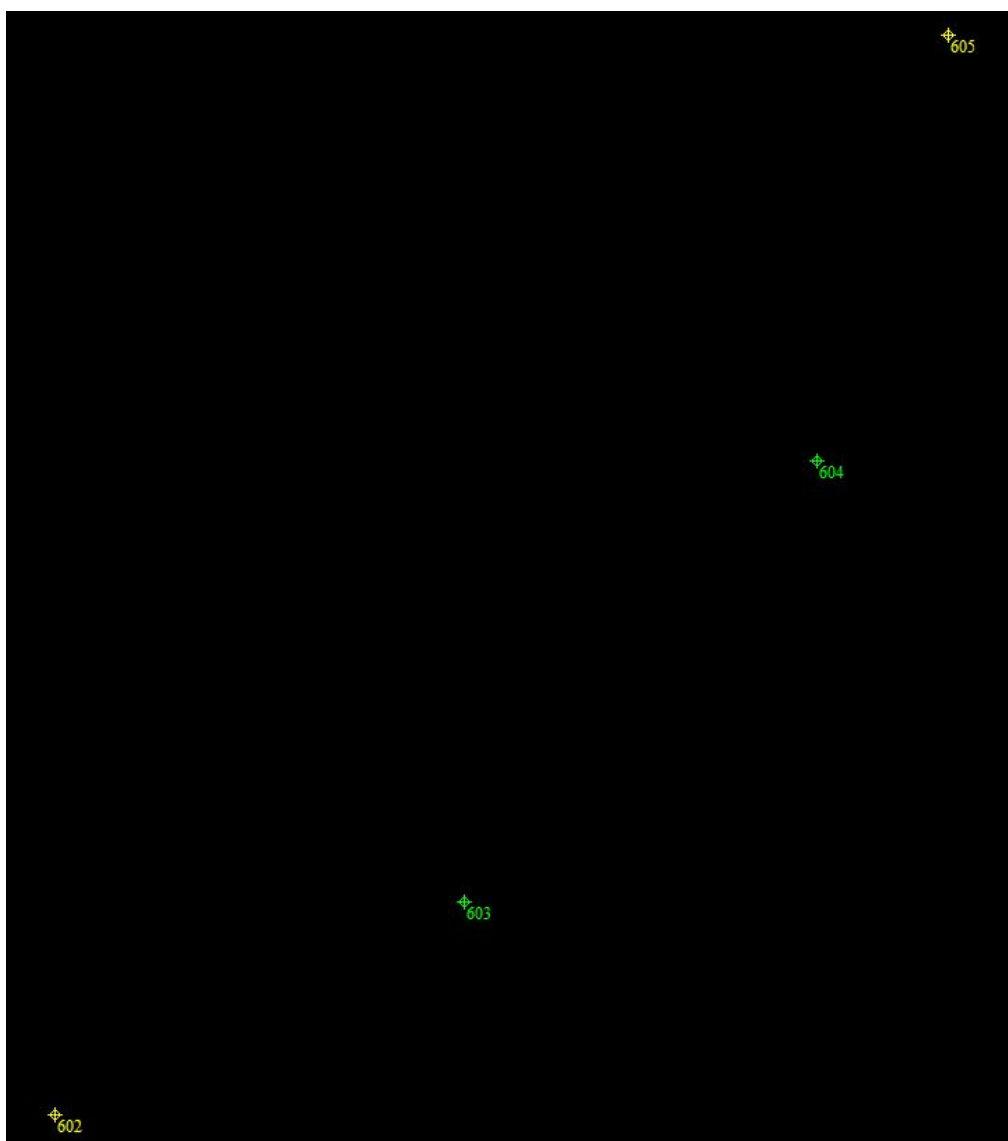
Polygonové pořady oboustranně připojené a orientované mají známé souřadnice počátečního, koncového bodu a jejich orientací. V polygonových pořadech se měří levostranné vodorovné vrcholové úhly a délky. Pro menší chyby z centrace se používá trojpodstavcová soustava. [6] Polygonové pořady jsou navázány na body ŽBP. V našem případě byly měřeny dva polygonové pořady. První mezi body ŽBP 602 – 605 a druhý mezi body ŽBP 608 – 912.

Polygonový pořad mezi body 602 – 605 byl pro testování přesnosti před měřením volen kvůli dlouhým záměrům. Mezi body ŽBP jsou zaměřeny 2 body a záměry jsou dlouhé od 220

metrů do 290 metrů. Polygonový pořad je znázorněn na obr. 3. Souřadnice bodů ŽBP jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Tab 1: Souřadnice bodů ŽBP polygonu 602-605

Číslo bodu ŽBP	Souřadnice bodů		
	Y [m]	X [m]	Z [m]
207100000602	620579.895	1123161.555	559.009
207100000605	621040.129	1122604.689	546.435



Obr 3: Polygonový pořad 602-605

Polygonový pořad mezi body 608 – 912 byl pro testování přesnosti před měřením volen kvůli kratším záměrům. Mezi body jsou zaměřeny 2 body a záměry jsou dlouhé kolem 150 až 180 metry. Polygonový pořad je znázorněn na obr. 4. Souřadnice bodů ŽBP jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Tab 2: Souřadnice bodů ŽBP polygonu 608-912

Číslo bodu ŽBP	Souřadnice bodu		
	Y [m]	X [m]	Z [m]
207100000608	621406.314	1122774.371	532.653
207100000912	621148.827	1123183.953	524.600



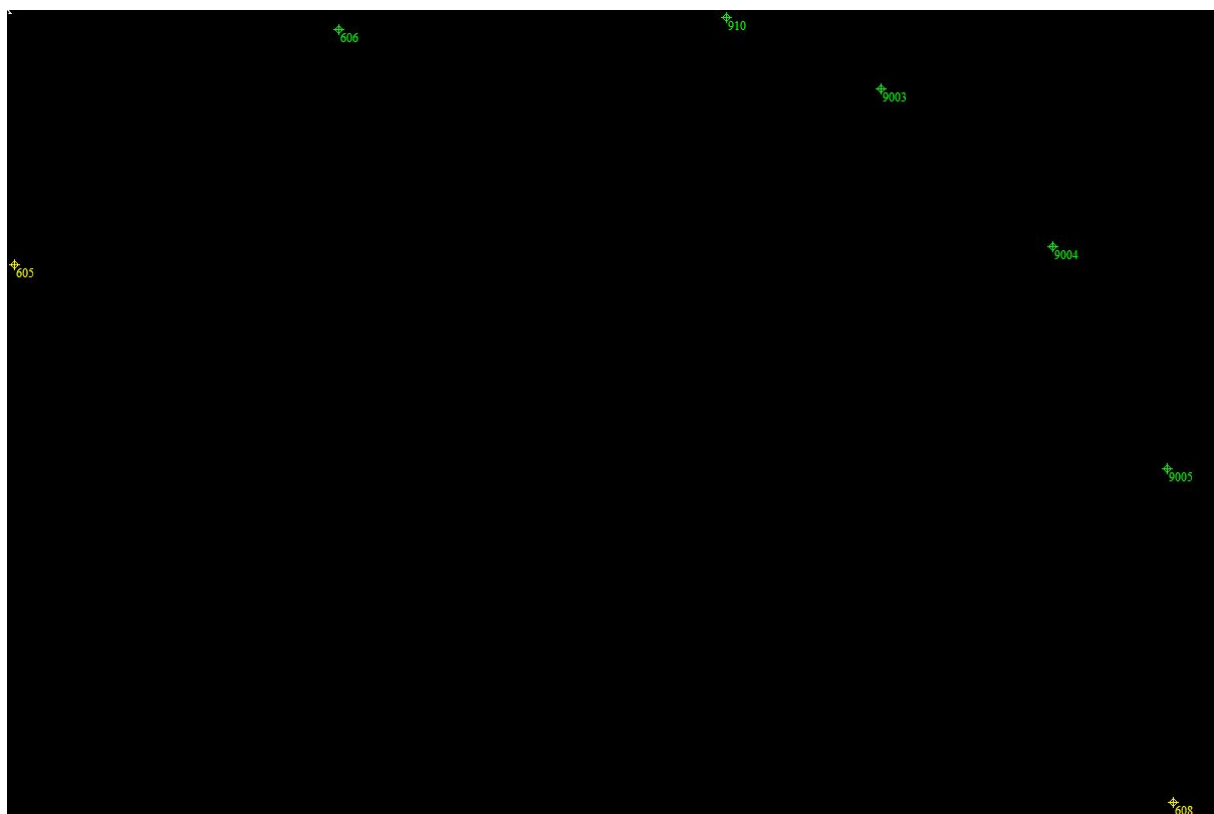
Obr 4: Polygonový pořad 608-912

3.2.2 Vetknutý polygonový pořad

Vetknutý polygonový pořad vychází a končí na připojovacích bodech, jejichž souřadnice jsou dány. [6] V našem případě máme výpočty provedeny ve vetknutém polygonovém pořadu mezi body 605 – 608. Tento polygonový pořad byl pro testování přesnosti volen kvůli tomu, že se nachází v oblouku. Mezi body je měřeno 5 bodů a záměry jsou dlouhé od 50 metrů do 120 metrů. Polygonový pořad je znázorněn na obrázku č. 5 a souřadnice bodů ŽBP jsou uvedeny v tabulce č. 3.

Tab 3: Souřadnice bodů ŽBP 605-608

Číslo bodu ŽBP	Souřadnice bodů		
	Y [m]	X [m]	Z [m]
207100000605	621040.129	1122604.689	546.435
207100000608	621406.314	1122774.371	532.653



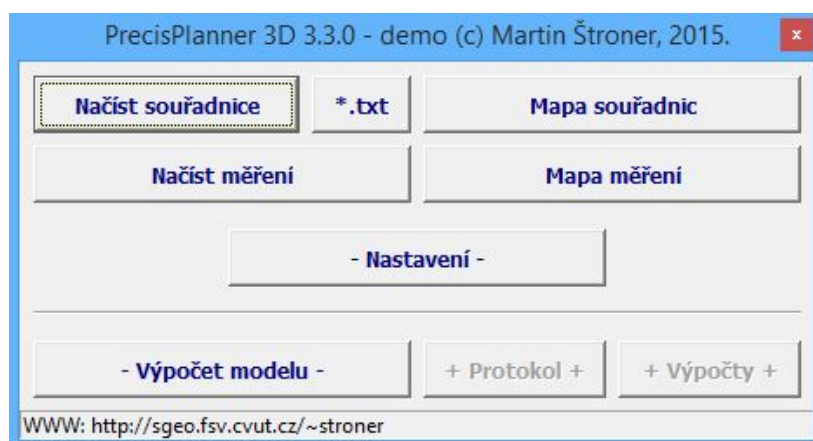
Obr 5: Polygonový pořad 605-608

3.3 Rozbory přesnosti před měřením v programu PrecisPlanner 3D

Pro účely diplomové práce se rozbory přesnosti před měřením počítaly na třech úsecích polygonového pořadu. Postup práce byl ve všech případech stejný a je zde popsán pouze pro jeden úsek.

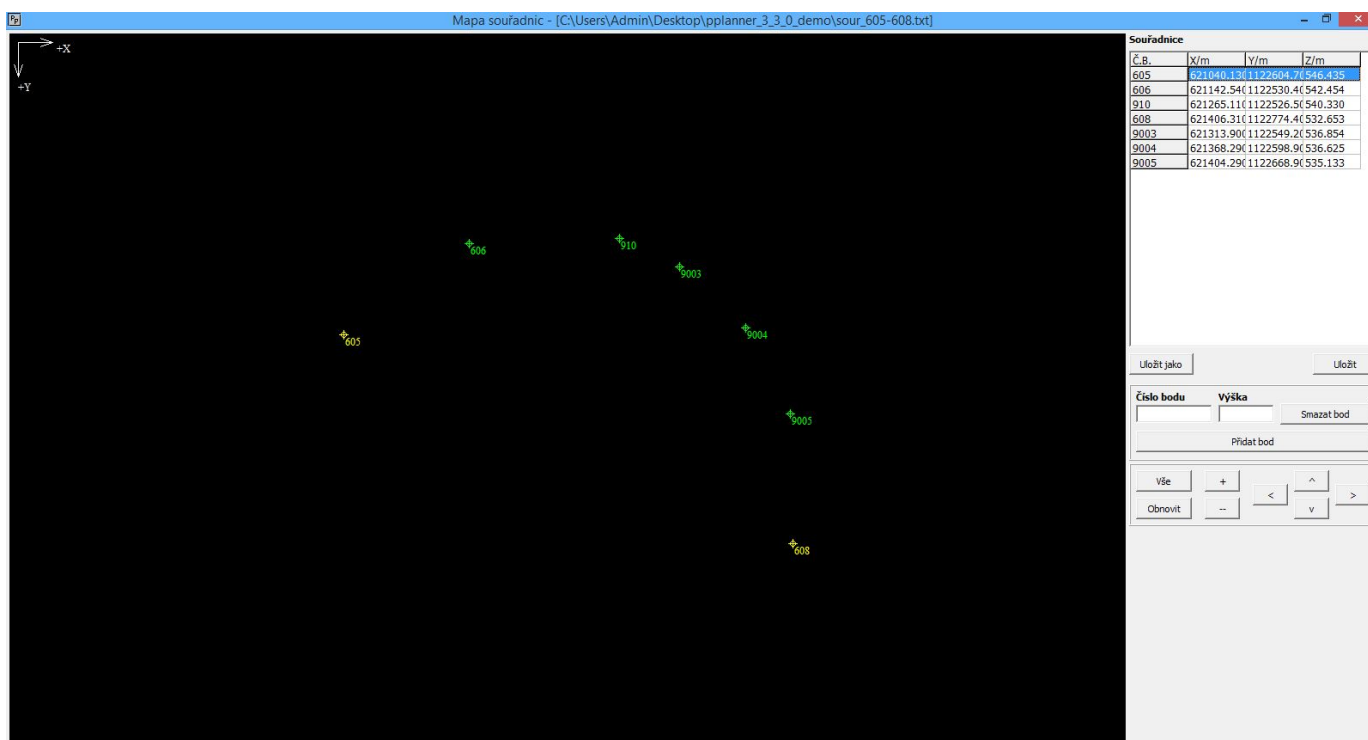
Nejprve byl v textovém formátu vytvořen seznam souřadnic, který obsahoval číslo bodu, X, Y, Z a f/a (f – fixní bod, a – bod pro vyrovnání). Pro naše účely byly počáteční body polygonového pořadu fixní a ostatní body byly zahrnuty do výpočtu. Vstupní soubory se souřadnicemi jsou uvedeny v příloze č. 2. Dále byl pro každý polygonový pořad připraven textový soubor s měřením (uveden v příloze č. 3).

Po zapnutí programu PrecisPlanner 3D se objevilo hlavní okno (obr.6), ve kterém se je možno ovládat celý program. Jako první byl do aplikace načten seznam souřadnic ve formátu *.txt. Soubor byl nahrán pomocí tlačítka Načíst souřadnice.



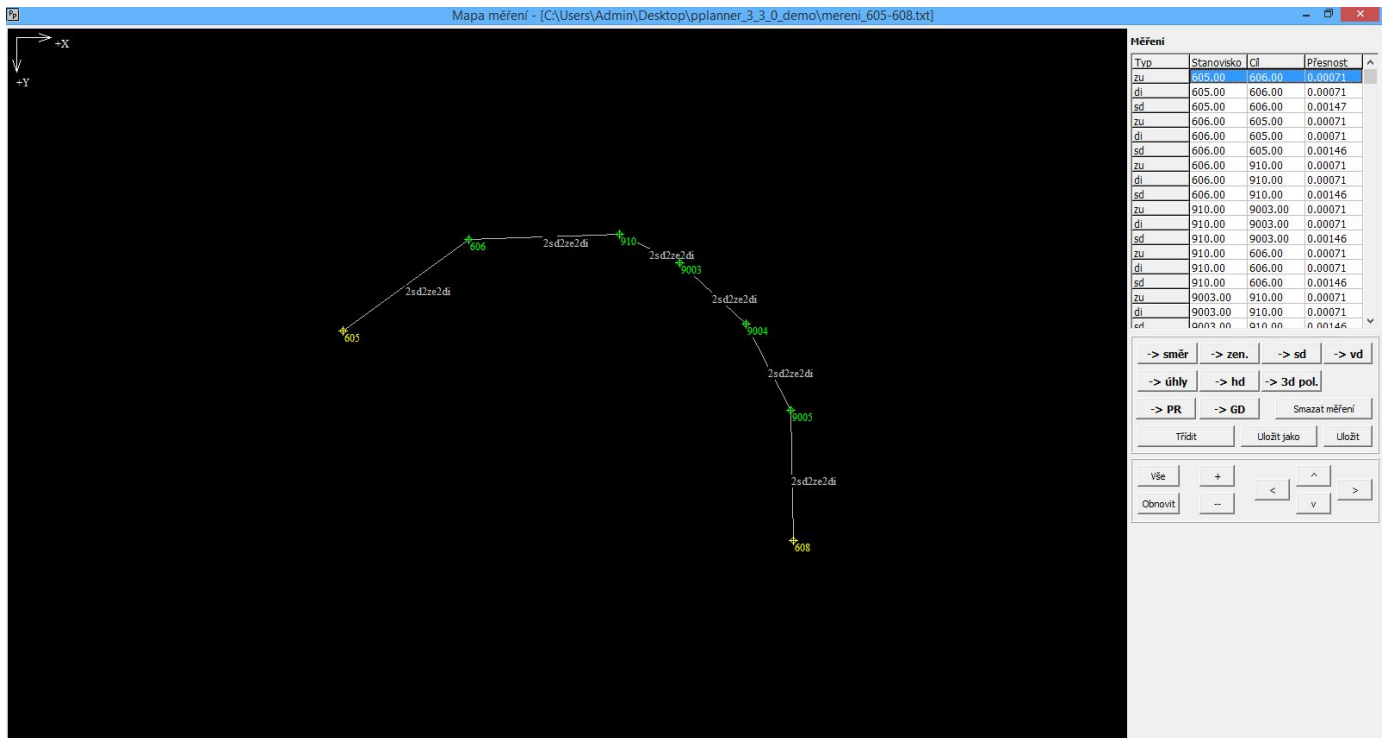
Obr 6: Hlavní okno PrecissPlaneru 3D

Po načtení souřadnic bylo přes tlačítko Mapa souřadnic otevřeno okno s nahranými souřadnicemi (obr. 7). Bylo zkontrolováno, zda síť odpovídá skutečnosti a zda jsou dobře nastaveny fixní body (označeny žlutě).



Obr 7: Mapa souřadnic

Následně přes tlačítko načíst měření, byl do programu načten předem připravený soubor ve formátu *.txt. Pro zobrazení a kontrolu měření byla zobrazena Mapa měření (obr.8). V pravé části panelu jsou všechna nadefinována měření. Pro přidání měření stačí kliknout pravým tlačítkem na panel a přidat měření.



Obr 8: Mapa měření

Po zkontrolování a doplnění všech měření byla provedena hromadná úprava přesnosti měřených veličin. Tato úprava byla provedena v okně Průvodce přesnosti (obr. 9), toto okno se vyvolá přes pravé tlačítko na panelu měření. Výpočty se postupně prováděly pro přesnosti vodorovného směru a zenitového úhlu 0,3 mgon, 0,6 mgon, 1,0 mgon a pro šikmou délku 2 mm + 2ppm. Výsledná přesnost úhlů se měnila podle počtu skupin, každé měření bylo počítáno pro počet skupin 3, 2 a 1. U šikmých délek se počítalo pouze se skupinou 1.

Průvodce přesnostmi

<p>Přesnost totální stanice</p> <p>Směr /gon 0.0003</p> <p>Zenitový úhel /gon 0.0003</p> <p>Šikmá délka /m (a+b*ppm*D) 0.002 + 0.002</p> <p>Vod. délka /m (a+b*ppm*D) 0.002 + 0.002</p>	<p>Počet opakování</p> <p>Směr 3</p> <p>Zenitový úhel 3</p> <p>Šikmá délka 1</p> <p>Průměrná délka /m 100</p> <p>Vod. délka 1</p> <p>Průměrná délka /m 100</p> <p>Převýšení 1</p> <p>Průměrná délka /m 100</p>	<p>Výslední přesnost</p> <p>Směr /gon -> 0.00017</p> <p>Zenitový úhel /gon -> 0.00017</p> <p>Šikmá délka /m -> 0.0022</p> <p>Vod. délka /m -> 0.0022</p> <p>Převýšení /m -></p>	<p>Použit na</p> <p>Směr</p> <p>Zenitový úhel</p> <p>Šikmá délka</p> <p>Jednotlivě*</p> <p>Vod. délka</p> <p>Jednotlivě*</p> <p>Převýšení</p> <p>Jednotlivě*</p>
<p>Přesnost nivelačního přístroje</p> <p>Sm. odch. 1km nivelače /m 0.0007</p> <p>Koeficient délky nivelače 1.5</p>			
<p>Gyrosměř</p> <p>Gyrosměř 1x /gon 0.0010</p> <p>Počet opakování 1</p> <p>Gyrosměř /gon -></p> <p>Použit</p>			
<p>Provázení</p> <p>Přesnost provázení s(xy)/m 0.0010</p> <p>Použit (XY)</p> <p>Přesnost provázení s(h)/m 0.0010</p> <p>Použit (H)</p>			

Obr 9: Průvodce přesnostmi

Úhlové přesnosti byly nastaveny hromadně, ale přesnost šikmé délky byla nastavena pomocí ikony „Jednotlivě“ (obr. 10) nastavena zvlášť. Toto nastavení bylo provedeno, protože každý bod se nachází v jiné vzdálenosti a přesnost dálkoměru se mění v závislosti na délce záměry.

Průvodce přesnostmi

<p>Přesnost totální stanice</p> <p>Směr /gon 0.0003</p> <p>Zenitový úhel /gon 0.0003</p> <p>Šikmá délka /m (a+b*ppm*D) 0.002 + 0.002</p> <p>Vod. délka /m (a+b*ppm*D) 0.002 + 0.002</p>	<p>Počet opakování</p> <p>Směr 3</p> <p>Zenitový úhel 3</p> <p>Šikmá délka 1</p> <p>Průměrná délka /m 100 +</p> <p>Vod. délka 1</p> <p>Průměrná délka /m 100 +</p> <p>Převýšení 1</p> <p>Průměrná délka /m 100 +</p>	<p>Výslední přesnost</p> <p>Směr /gon -> 0.00017</p> <p>Zenitový úhel /gon -> 0.00017</p> <p>Šikmá délka /m -> 0.0022</p> <p>Vod. délka /m -> 0.0022</p> <p>Převýšení /m -></p>	<p>Použit na</p> <p>Směr</p> <p>Zenitový úhel</p> <p>Šikmá délka</p> <p>Jednotlivě*</p> <p>Vod. délka</p> <p>Jednotlivě*</p> <p>Převýšení</p> <p>Jednotlivě*</p>
<p>Přesnost nivelačního přístroje</p> <p>Sm. odch. 1km nivelace /m 0.0007</p> <p>Koeficient délky nivelace 1.5</p>			
<p>Gyrosměř</p> <p>Gyrosměř 1x /gon 0.0010</p> <p>Počet opakování 1</p> <p>Gyrosměř /gon -></p> <p>Použit</p>			
<p>Provázení</p> <p>Přesnost provázení s(xy)/m 0.0010</p> <p>Použit (XY)</p> <p>Přesnost provázení s(h)/m 0.0010</p> <p>Použit (h)</p>			

Obr 10: Průvodce přesnostmi - šikmá délka

Poté co bylo v programu vše dobře nastaveno – souřadnice, měřené veličiny a jejich přesnost, byl pomocí ikony „Výpočet modelu“ v hlavním panelu zahájen výpočet. Po dokončení výpočtu máme možnost zobrazení a uložení protokolu výpočtu a numerických výsledků. Po stisknutí ikony „+Výpočet+“ bylo otevřeno rozhraní výsledky a výpočty (obr.11). V této tabulce jsou uvedeny čísla bodů, souřadnice, směrodatné odchylky, parametry elipsy chyb a úhly stočení.

Výsledky a výpočty

Č.B.	X/m	Y/m	Z/m	s(x)/mm	s(y)/mm	s(z)/mm	a/mm	b/mm	c/mm
606	621142.535950	1122530.359940	542.453980	1.568	0.862	0.207	1.616	0.770	0.204
9003	621313.899960	1122549.160030	536.853930	2.009	1.577	0.226	2.285	1.141	0.222
9004	621368.289030	1122598.939020	536.624960	1.520	1.758	0.212	2.094	1.009	0.208
9005	621404.293000	1122668.933020	535.132940	0.795	1.519	0.182	1.569	0.691	0.179
910	621265.111940	1122526.492020	540.329930	2.111	1.261	0.231	2.187	1.123	0.227

w(a)/gon	w(b)/gon	w(c)/gon	z(a)/gon	z(b)/gon	z(c)/gon
182.3916	82.3909	-18.7252	98.3918	99.9718	1.6084
-162.9446	-62.9390	-147.6149	98.7914	99.7033	198.7555
-142.5509	-42.5536	-149.3420	98.7493	100.1339	198.7422
-118.0441	-18.0517	-134.6711	98.6594	100.3582	198.6124
-180.2885	-80.2957	-198.2400	98.7420	100.3643	198.6903

Vzdálenost: šikmá z: 606 Vypočítat Vzdálenost: ----- Uložit tabulku
Do: 606 Sm. odch.: ----- Uložit kovar. matici

Obr 11: Výsledky a výpočty

Po dokončení výpočtů byly z programu vyexportovány výsledné hodnoty. Nejprve byly hodnoty uloženy ve tvaru tabulky pomocí ikony „Uložit tabulku“, všechny tabulky jsou přiloženy v příloze č. 4. Poté byl uložen výpočetní protokol, který byl uložen z hlavního okna programu při vybrání ikony „+Protokol+“, veškeré protokoly jsou uvedeny v příloze č. 5.

[5]

3.4 Zhodnocení rozborů přesnosti před měřením

Po vypočítání všech rozborů přesnosti před měřením v programu PrecisPlanner byla k jednotlivým určovaným bodům vypočítána polohová odchylka bodů σ_P . Tato odchylka byla porovnána s maximální směrodatnou polohovou odchylkou každého bodu, která dle normy ŠZDC nesmí překročit hodnotu 0,018 m. Tato hodnota nebyla ani v jednom případě překročena. Můžeme tedy prohlásit, že dle teoretické modelace měření a přesnosti měření, vyhovují i nejméně přesné přístroje (úhlová přesnost 3“) požadavkům ŠZDC. Porovnání výsledků všech polygonů jsou uvedena v následující kapitole. Směrodatné odchylky souřadnic Y, X bodů polygonů jsou uvedeny v příloze č. 4.

Směrodatná polohová odchylka bodu σ_P :

$$\sigma_P = \sqrt{\sigma_Y^2 + \sigma_X^2}$$

kde σ_Y, σ_X jsou směrodatné odchylky určení souřadnic Y, X.

[1]

3.4.1 Polygon 605 – 608

Výsledné směrodatné polohové odchylky pro přesnost měření 1“.

Tab 4: Směrodatné polohové odchylky polygonu 605 - 608 1"

Číslo bodu	Přesnost měření 1"		
	1 skupina	2 skupiny	3 skupiny
	σ_P [m]	σ_P [m]	σ_P [m]
606	0,002	0,002	0,002
9003	0,003	0,003	0,003
9004	0,002	0,002	0,002
9005	0,002	0,002	0,002
910	0,003	0,002	0,002

Výsledné směrodatné polohové odchylky pro přesnost měření 2“.

Tab 5: Směrodatné polohové odchylky polygonu 605 - 608 2"

Přesnost měření 2"			
Číslo bodu	1 skupina	2 skupiny	3 skupiny
	σ_P [m]	σ_P [m]	σ_P [m]
606	0,002	0,002	0,002
9003	0,003	0,003	0,003
9004	0,003	0,003	0,003
9005	0,002	0,002	0,002
910	0,003	0,003	0,003

Výsledné směrodatné polohové odchylky pro přesnost měření 3“.

Tab 6: Směrodatné polohové odchylky polygonu 605 - 608 3"

Přesnost měření 3"			
Číslo bodu	1 skupina	2 skupiny	3 skupiny
	σ_P [m]	σ_P [m]	σ_P [m]
606	0,003	0,002	0,002
9003	0,003	0,003	0,003
9004	0,003	0,003	0,003
9005	0,002	0,002	0,002
910	0,003	0,003	0,003

3.4.2 Polygon 608 – 912

Výsledné směrodatné polohové odchylky pro přesnost měření 1“.

Tab 7: Směrodatné polohové odchylky polygonu 608 - 912 1"

Přesnost měření 1"			
Číslo bodu	1 skupina	2 skupiny	3 skupiny
	σ_P [m]	σ_P [m]	σ_P [m]
609	0,001	0,001	0,001
911	0,002	0,001	0,001

Výsledné směrodatné polohové odchylky pro přesnost měření 2“.

Tab 8: Směrodatné polohové odchylky 608 -912 2"

Přesnost měření 2"			
Číslo bodu	1 skupina	2 skupiny	3 skupiny
	σ_P [m]	σ_P [m]	σ_P [m]
609	0,002	0,002	0,002
911	0,002	0,002	0,002

Výsledné směrodatné polohové odchylky pro přesnost měření 3“.

Tab 9: Směrodatné polohové odchylky polygonu 608 -912 3"

Přesnost měření 3"			
Číslo bodu	1 skupina	2 skupiny	3 skupiny
	σ_P [m]	σ_P [m]	σ_P [m]
609	0,003	0,002	0,002
911	0,003	0,002	0,002

3.4.3 Polygon 602 – 605

Výsledné směrodatné polohové odchylky pro přesnost měření 1“.

Tab 10: Směrodatné polohové odchylky polygonu 602 -605 1"

Přesnost měření 1"			
Číslo bodu	1 skupina	2 skupiny	3 skupiny
	σ_p [m]	σ_p [m]	σ_p [m]
603	0,002	0,002	0,002
604	0,002	0,002	0,002

Výsledné směrodatné polohové odchylky pro přesnost měření 2“.

Tab 11: Směrodatné polohové odchylky polygonu 602 -605 2"

Přesnost měření 2"			
Číslo bodu	1 skupina	2 skupiny	3 skupiny
	σ_p [m]	σ_p [m]	σ_p [m]
603	0,003	0,002	0,002
604	0,003	0,002	0,002

Výsledné směrodatné polohové odchylky pro přesnost měření 3“.

Tab 12: Směrodatné polohové odchylky polygonu 602 -605 3"

Přesnost měření 3"			
Číslo bodu	1 skupina	2 skupiny	3 skupiny
	σ_p [m]	σ_p [m]	σ_p [m]
603	0,003	0,003	0,003
604	0,003	0,003	0,003

3.5 Výpočet v programu GAMA

Pro výpočet ukázkového polygonového pořadu byla pro práci poskytnuta data od firmy Chládek a Tintěra Havlíčkův Brod, a.s. Jedná se o polygonový pořad z bodu 608 na bod 605. Výpočet byl proveden v programu GAMA.

Nejprve byla měřená data připravena do vstupního souboru, tento vstupní soubor je v příloze č. 6. Pro délky byla nastavena hodnota přesnosti dálkoměru 2,2 mm a pro úhly byla nastavena přesnost 0,35 mgon, která byla vypočítána ze vzorce:

$$\sigma_{\varphi_{3sk}} = \frac{\sigma_{\varphi}}{\sqrt{3}}$$

$$\sigma_{\varphi_{3sk}} = \frac{0,6 \text{ mgon}}{\sqrt{3}} = 0,35 \text{ mgon}$$

kde σ_{φ} je přístrojová směrodatná odchylka vodorovného směru měřeného v jedné skupině. Hodnota 0,6 mgon vychází z parametrů přístroje, pomocí kterého byl měřen ukázkový polygonový pořad.

Ve vstupním souboru byly zadány fixní body a označeny body vyrovnávané. Dále zde bylo nahráno veškeré měření ze stanovisek. Po upravení vstupního souboru byl přes příkazový řádek vyvolán výpočet. Do složky se nám uložil výstupní protokol, ten je uložen jako příloha č. 7.

Vstupní souřadnice fixních bodů:

Tab 13: Souřadnice fixních bodů - ukázkový polygon

Č.B.	Y [m]	X [m]
605	621040.204	1122604.585
606	621142.549	1122530.362
608	621406.336	1122774.361
9005	621404.293	621404.293

Do výsledného vyrovnání vstupovalo 10 směrů, 10 zenitových úhlů, 10 vodorovných délek, 11 neznámých (6 souřadnic a 5 orientačních posunů) a 1 nadbytečné měření. Pro hodnocení byly použity aposteriorní směrodatné odchylky. Vyrovnané souřadnice bodů sítě a jejich

směrodatné odchyly jsou uvedeny v tabulce č. 14. Z uvedených hodnot je patrné, že pomocí přístroje s přesností měření 0,6 mgon a při dodržení technologie měření, není překročena mezní velikost polohové směrodatné odchyly.

Tab 14: Vyrovnané souřadnice - ukázkový polygon

Č.B.	Y [m]	X [m]	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	σ_P [mm]
910	621265.19013	1122526.48022	13.4	5.4	14.5
9003	621313.81765	1122549.10344	8.3	5.1	9.7
9004	621368.30840	1122598.97524	7.5	8.3	11.2

4 Praktické měření

4.1 Použité přístrojové vybavení

Pro měření polygonového pořadu byla použita totální stanice Trimble S3, GNSS aparatura Trimble GeoXR, odrazné hranoly Leica a dřevěné stativy Leica.

4.1.1 Totální stanice Trimble S3

Pro měření polygonového pořadu byla použita totální stanice Trimble S3 v.č. 91411053 (obr. 12). Uváděná úhlová přesnost přístroje výrobcem je 2", tato přesnost byla ověřena dle normy ČSN ISO 17123 Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů. Postup ověření přesnosti je popsán v kapitole 4.2.



Obr 12: Totální stanice Trimble S3

Kontrolní jednotkou totální stanice je TSC3 (obr. 13) s polním softwarem Trimble Access. Totální stanice využívá technologií jako je MagDrive, dálkoměr DR a automatické cílení.



Obr 13: Kontrolní jednotka TSC3 [14]

Tichý a jemný chod elektromagnetu Trimble MagDrive znamená méně servisních zákroků díky nižšímu počtu pohybujících se součástí [7]

Protokol o kalibraci s přesností přístroje je uveden v příloze č. 1.

Tab 15: Technické parametry totální stanice [7]

Totální stanice Trimble S3 (výr. č.: 91411053)			
Zvětšení dalekohledu		30x	
Přesnost	Úhlová	2" (0.6 mgon)	
	Délková	Hranol	2 mm + 2ppm
		Bezhranol	3 mm + 2ppm
Dosah	1 hranol	2 500 m	
Čas provozu baterie	1 vnitřní	6 hod	
Libela	Krabicová v trojnožce		
	Elektronická dvojosá na displeji		
Komunikace	USB, sériově		
Robotické měření	Autolock, Robotic		
Systém Servo			

4.1.2 GNSS přijímač

Pro zaměření bodů polygonu byla použita GNSS aparatura skládající se z přijímače Trimble GeoXR (obr.14) a externí antény Trimble Zephyr Model 2 (obr. 15). Umožňuje použití mnohých měřických metod (statická, rychlá statická, RTK). Pro účely diplomové práce byla použita metoda měření RTK. Přijímač dokáže měřit i bez připojené externí antény s přesností v řádu centimetrů při RTK měření.

[9]



Obr 14: Přijímač Trimble GeoXR [15]



Obr 15: Anténa Trimble Zephyr Model 2 [16]

4.2 Testování totální stanice

Hlavním důvodem testování totální stanice bylo ověřit, zda přesnost měření vodorovného směru pomocí automatického cílení odpovídá přesnosti vodorovného směru udávaného výrobcem. A tedy zda můžeme do výpočtu používat směrodatnou odchylku, kterou nám udává výrobce. Pro správné určení směrodatné odchylky měření vodorovných směrů a zenitových úhlů bylo postupováno dle normy ČSN ISO 17123-3.

Tento test nám umožňuje zjistit nejlepší dosažitelné přesnosti konkrétního přístroje a jeho vybavení v terénních podmínkách. Umožňuje stanovit experimentální směrodatnou odchylku vodorovného směru a zenitového úhlu měřeného ve dvou polohách dalekohledu. [10]

Tento test dle [10] umožňuje zjistit:

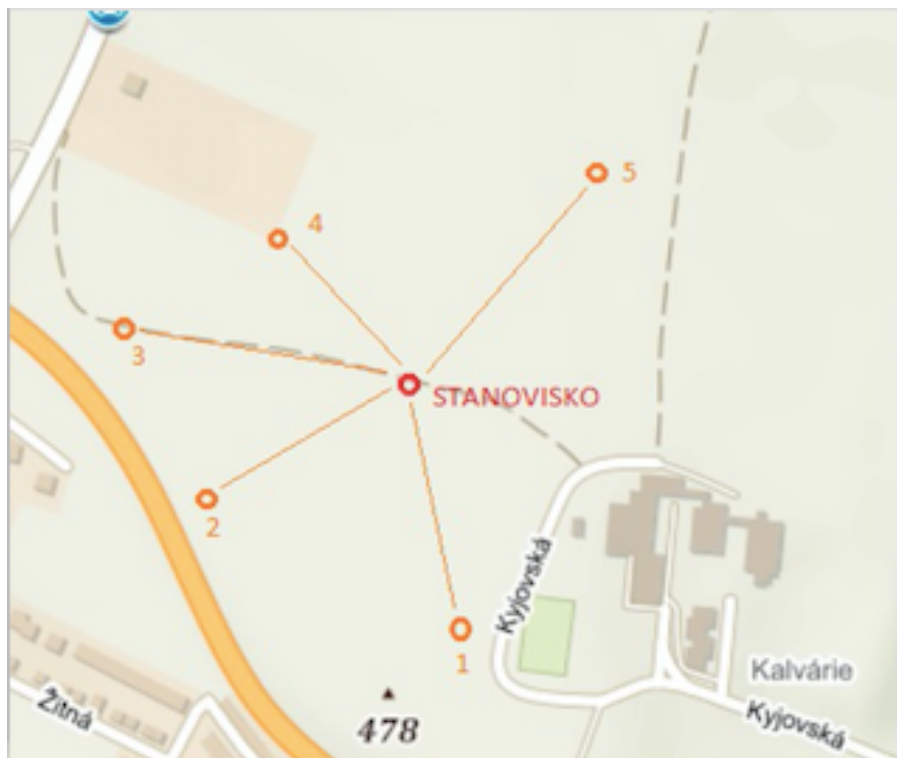
- a) Přesnost měření přístroje určenou jedním týmem se stejným vybavením za daný čas
- b) Přesnost měření přístroje se stejným vybavením za libovolný čas
- c) Přesnost měření několika totálních stanic a porovnání dosažených přesností za stejných podmínek



Obr 16: Lokalita měření testování stanice [17]

4.2.1 Lokalita a měření v terénu

Test byl proveden dne 9.5.2021 na prostranství pole v Havlíčkově Brodě. Konfigurace měření byla volena tak, jak nám zadává norma. Bylo stabilizováno 5 pevných a jednoznačně identifikovatelných cílů. Vzdálenost bodů od stanoviska byla 100–250 metrů. Na obrázku č. 17 je vyznačená lokalita měření a rozvržení bodů. Cíle 1, 3 a 5 byly dočasně stabilizovány stativy, signalizovány odraznými hranoly cíle 2 a 4 byly stabilizovány výtýčkou s hranolem.



Obr 17: Rozvržení bodů pro testování totální stanice [18]

Před samotným měřením byl přístroj a pomůcky temperovány v daných podmínkách. Měření probíhalo podle normy v kompletních testech 4 sérií po 3 skupinách v obou polohách. Mezi měřením skupin byla vždy pauza minimálně 10 minut a mezi sériemi byla též pauza 10 minut.



Obr 18: Stanovisko - testování totální stanice



Obr 19: Cíl 1 - testování totální stanice



Obr 20: Cíl 2 - testování totální stanice



Obr 21: Cíl 3 - testování totální stanice



Obr 22: Cíl 4 - testování totální stanice



Obr 23: Cíl 5 - testování totální stanice

4.2.2 Výsledky

Zde je uvedena výsledná experimentální směrodatná odchylka vodorovného směru měřena dle normy ČSN ISO 17123-3. Zázpisníky z měření a výpočty jsou uvedeny v příloze č 8.

automatické cílení [mgon]	výrobce [mgon]
0.22	0.6

Otázka a) chí kvadrát

Nulová hypotéza předpokládá, že experimentální směrodatná odchylka s , určená z měření ve dvou polohách dalekohledu je menší, nebo rovna směrodatné odchylce σ , která je udávána výrobcem. Jestliže je následující podmínka splněna, přijmeme nulovou hypotézu [10]:

$$s \leq \sigma \sqrt{\frac{\chi_1^2 - \alpha(v)}{v}}$$

$$s \leq \sigma \sqrt{\frac{\chi_{0.95}^2 - (32)}{32}}$$

$$\chi_{0.95}^2(32) = 46.19$$

$$s \leq \sigma \sqrt{\frac{46.19}{32}}$$

$$s \leq \sigma \cdot 1.20$$

$$s \leq 0.6 \cdot 1.20$$

$$s \leq 0.72$$

$$0.22 \leq 0.72$$

- Přijímáme nulovou hypotézu, protože podmínka je splněna.

Protože je výsledná směrodatná odchylka menší, než hodnota udávaná výrobcem, můžeme totální stanicí Trimble S3 použít pro námi zvolené měření.

4.3 Rekognoskace terénu

Pro testování polygonových pořadů byla SŽG poskytnuta vyloučená kolej v lokalitě Malešice (obr. 24).



Obr 24: Lokalita pro měření polygonových pořadů[19]

Vzhledem k tomu, že kolej je v současně době nevyužívaná bylo potřeba vhodně zvolit a signalizovat body. Před měřením byla celá kolej projitá a pro účely diplomové práce byl vybrán úsek v oblouku na začátku trasy (obr. 25).



Obr 25: Přehledka bodů polygonového pořadu [19]

V úseku bylo signalizováno 7 podrobných bodů. Body byly vhodně signalizovány na pevné objekty (5 bodů na šroubech kolejnic, 1 bod římsa mostu, 1 bod betonový útvar). Signalizace bodů jsou znázorněny na obrázcích 26-32. Pro dobrou viditelnost mezi body musely být v některých úsecích vysekány větve stromů. Body nebyly voleny 2,2 m od osy koleje, jak stanovuje drážní předpis, ale tak, aby bylo možno pohodlně měřit a zároveň, aby stativy byly postaveny na různých podložích (hlína, štěrk, beton).



Obr 28: Stabilizace bodu 4001



Obr 27: Stabilizace bodu 4002



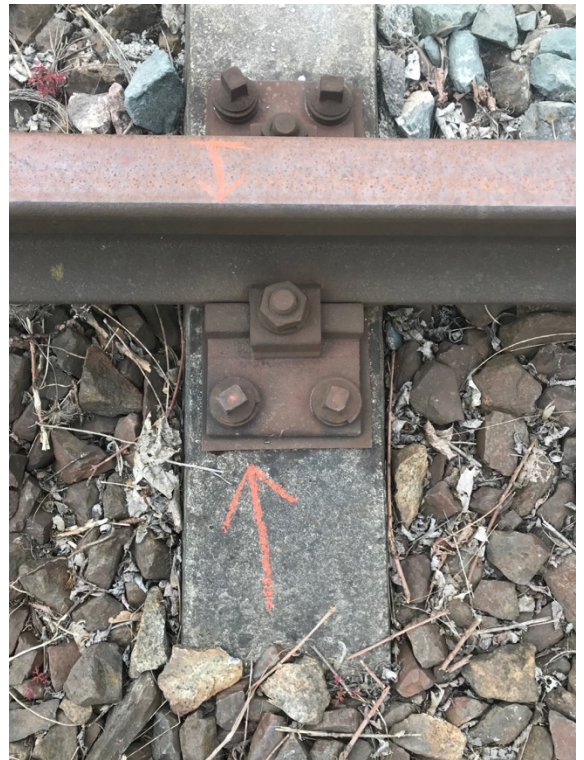
Obr 29: Stabilizace bodu 4003



Obr 26: Stabilizace bodu 4004



Obr 31: Stabilizace bodu 4005



Obr 30: Stabilizace bodu 4006



Obr 32: Stabilizace bodu 4007

4.4 Měření v terénu

Měření polygonového pořadu proběhlo 4.5.2021. Před měřením bylo potřeba určit souřadnice orientačních bodů (4001, 4007), počátečního bodu (4002) a koncového bodu polygonu (4006). Pro určení souřadnic byla použita RTK metoda, kterou nám předpis SŽDC umožňuje použít. Měřicí sestava byla umístěna ve stojánku nad bodem a délka observace na bodě probíhala 5 minut, protokoly jsou uvedeny v příloze č. 9. Body byly zaměřeny před měřením polygonového pořadu a po 4 hodinách byly změřeny znovu stejnou metodou. Výsledné souřadnice jsou průměrem dvojího měření.

Tab 16: Souřadnice podrobných bodů polygonu

Č.B.	Y [m]	X [m]	Z [m]
4001	736037.283	1044180.802	230.194
4002	736016.139	1044096.759	230.319
4006	736179.784	1043859.604	231.959
4007	736304.180	1043779.357	233.768

Po zjištění souřadnic bodů byl na každém stanovisku postaven stativ s trojnožkou a s hranolem. Stativy byly stavěny do různých terénů, aby testování bylo co nejspolehlivější. Na obrázcích 33-38 jsou zobrazeny stabilizované stativy. Stativy byly urovňány na povrchu štěrkového lože, hlíny/zeminy, betonu.

Po zcentrování a zhorizontování stativů proběhlo první kolo měření. Přístroj byl dán na bod 4002, orientace byla měřena na bod číslo 4001. Měřila se osnova směrů mezi body 4001 a 4003 ve 3 skupinách a 2 polohách. Po skončení měření na bodě byl přístroj přemístěn na další bod 4003 a na bod 4002 byl umístěn hranol. Postup měření byl opakován na každém stanovisku 4003, 4004, 4005, 4006.

Po zaměření prvního polygonového pořadu byla na každém bodu změněna centraxe a horizontace pro nezávislé měření. Tímto postupem byl polygonový pořad zaměřen 5 krát.



Obr 34: Bod 4001



Obr 33: Bod 4005



Obr 36: Bod 4006



Obr 35: Bod 4007



Obr 37: Bod 4003



Obr 38: Bod 4004

5 Zpracování naměřených dat

5.1 Výpočet polygonového pořadu v programu Groma

Polygonový pořad byl vypočítán v programu Groma (verze 11). Před výpočtem musely být naměřené šikmé délky opraveny o matematické redukce do vodorovné roviny, z nadmořské výšky a do zobrazovací roviny S-JTSK. Pro výpočet měřítkového čísla „m“ byla použita zabudovaná funkce „Křovák“ v programu Groma. Pro výpočet byl použit bod 4006. Souřadnice bodu a použité měřítko jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab 17: Měřítkové číslo Groma

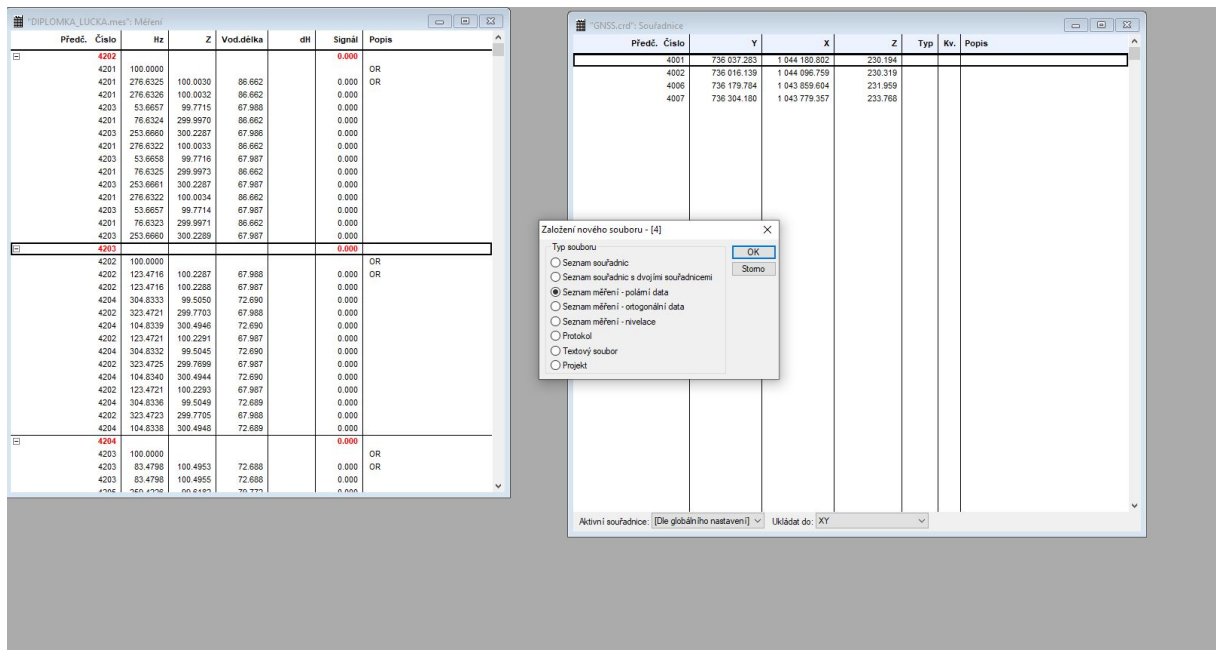
Č.B.	X [m]	Y [m]	Z [m]
4006	1043859.604	736179.784	231.959
použité měřítko m = 0.999868940944			

Funkci Křovák vyvoláme přes nástroje – křovák – uvedení souřadnic bodů – nastavení výsledného měřítkového čísla (obr 39).

4006	736 179.784	1 043 859.604	231.959
Křovák			
Pravoúhlé souřadnice:		Polární souřadnice:	
Y:	736179.784	Ro:	1277342.377 m
X:	1043859.604	Epsilon:	35.19332306 °
Z:	231.959	Kartografické souřadnice:	
Měřítkový koeficient:		Šířka:	78.68586445 °
<input checked="" type="checkbox"/> Oprava z kartografického zkreslení	0.999905289380	Délka:	35.91431351 °
<input checked="" type="checkbox"/> Oprava z nadmořské výšky:	0.999963648121		
Výsledný měřítkový koeficient:	0.999868940944		
		Nastavit	Výpočet

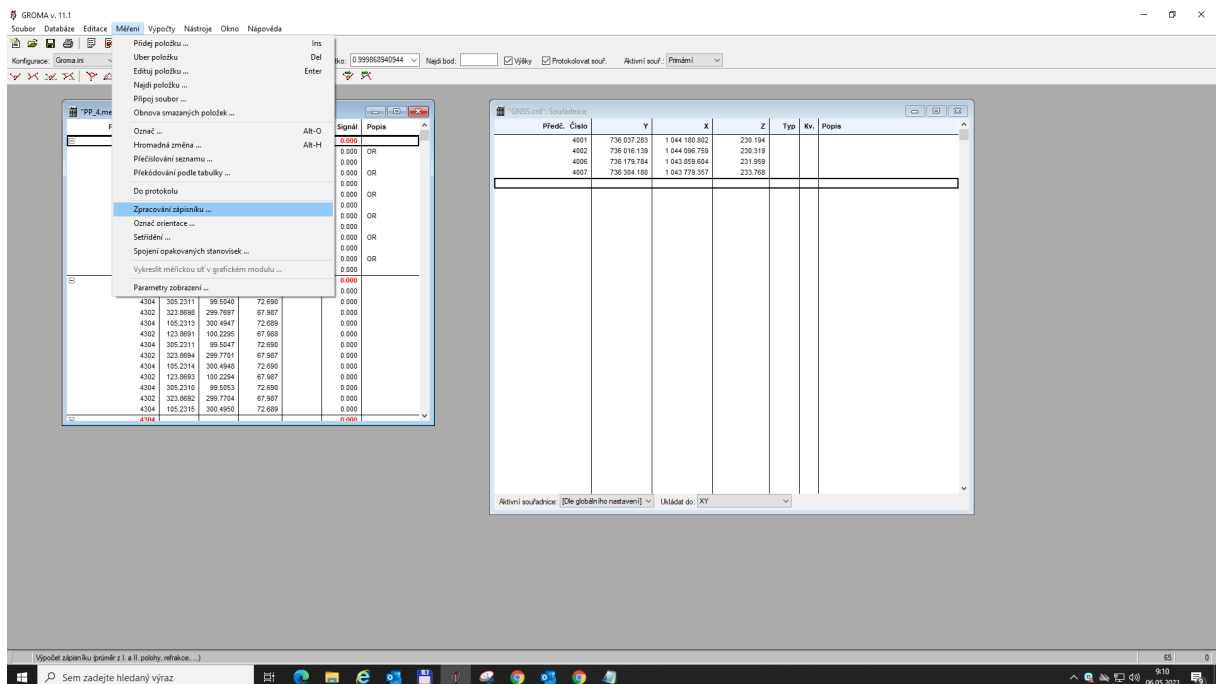
Obr 39: Funkce "Křovák"

Po opravě naměřených šikmých délek byl upraven měřený zápisník. Zápisník byl rozdělen na 5 zápisníků, pro každý polygon byl založen nový. Založení nového zápisníku – seznam měření – polární data (obr. 40).

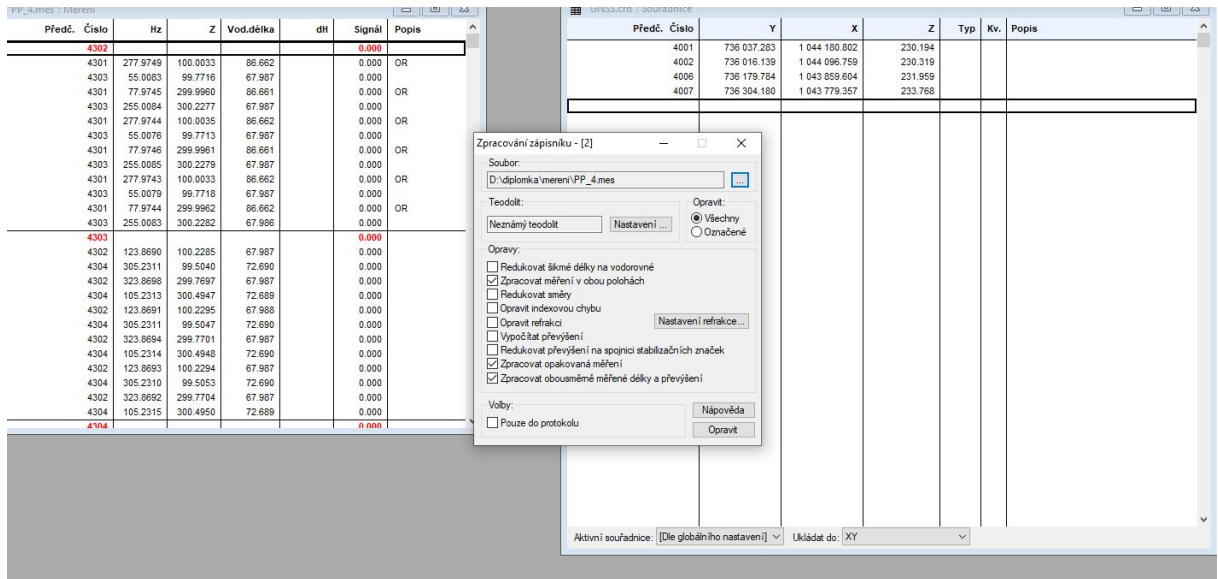


Obr 40: Založení nového zázpisníku

Po rozdělení musel být každý zázpisník upraven. Nejprve byla odstraněna u každého stanoviště počáteční orientace a následně přes měření – zpracování zázpisníku (obr. 41) byly v zázpisníku zpracované obousměrné měření (obr. 42). Protokoly a upravené zázpisníky jsou přiloženy v příloze č. 10.

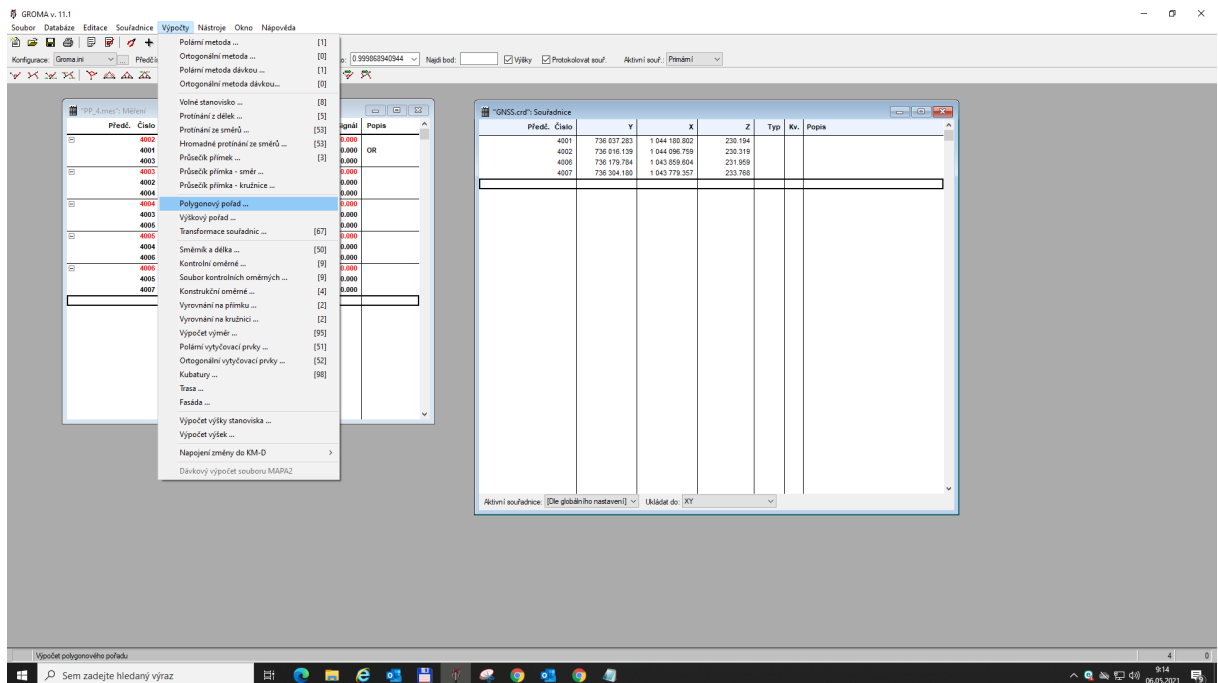


Obr 41: Zpracování zázpisníku

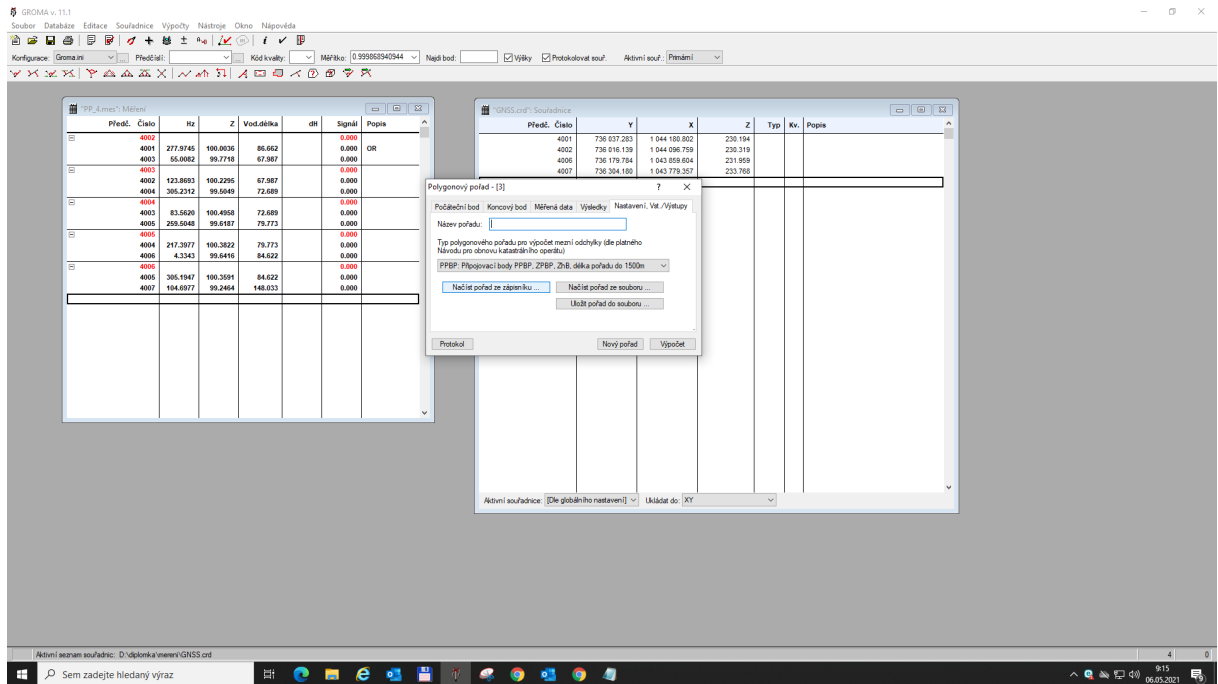


Obr 42: Zpracování obousměrné měření

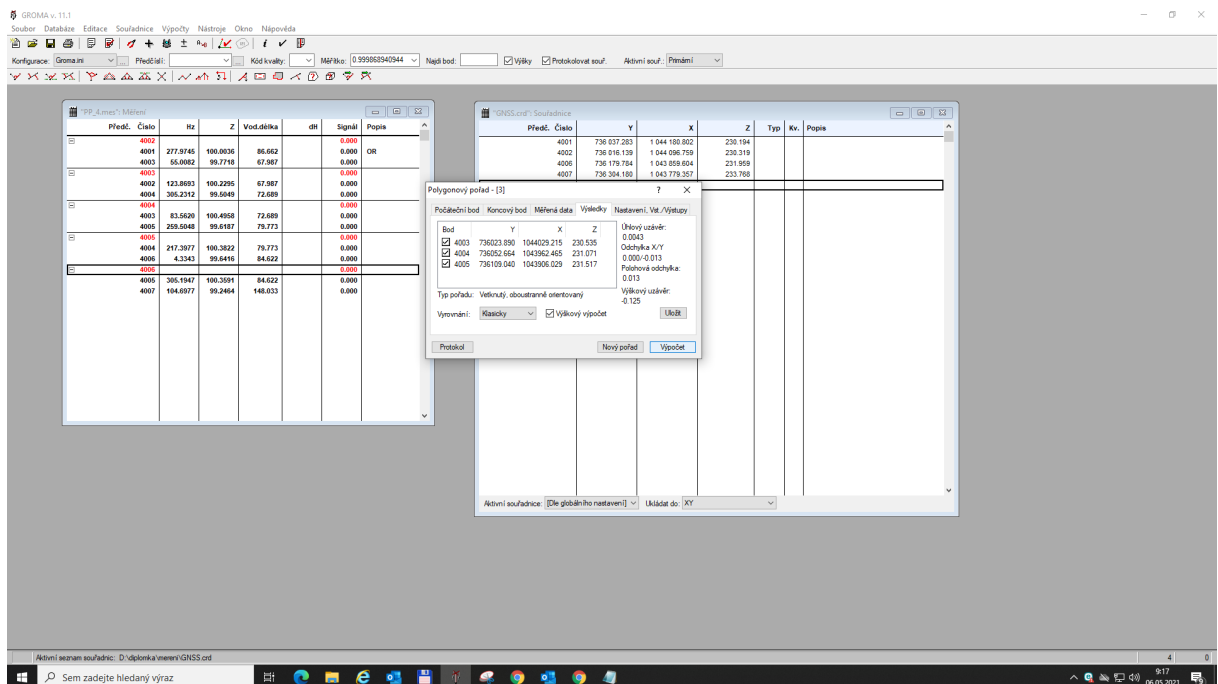
Po upravení každého zápisníku mohl být proveden výpočet polygonu: výpočty – polygonový pořad (obr. 43). V okně pro výpočet polygonu byla otevřena poslední záložka. Byl nastaven název pořadu a délka pořadu do 1500 m, následně bylo kliknuto na tlačítko „Načíst pořad ze zápisníku“ (obr.44). Otevře se nám další okno, kde byl přidán zápisník polygonu a následně byl proveden výpočet (obr.45).



Obr 43: Funkce „Výpočet polygonu“



Obr 44: Výpočet polygonu - "Načíst pořad ze zápisníku"



Obr 45: Výpočet polygonu

Tímto postupem byl vypočítán každý polygon. Po výpočtu byly ukládány veškeré protokoly pro kontrolu měření. Protokoly jsou uvedeny v příloze č. 10. Pro kontrolu správnosti výpočtu byla kontrolována polohová odchylka. Předpis SŽDC nám udává vzorec pro výpočet polohové

odchylky, kterou nesmí výsledná polohová odchylka překročit. Tato přesnost byla dodržena ve všech polygonech.

Vzorec pro výpočet polohové odchylky [1]: $\sigma_p = 0,002 \cdot \sqrt{(s)} + 0,02$

kde s je celková délka pořadu v metrech.

$$\sigma_p = 0,002 \cdot \sqrt{(305,070 \text{ m})} + 0,02$$

$$\sigma_p = 0,055 \text{ m}$$

5.2 Výpočet polygonového pořadu v programu Gama

Postup výpočtu polygonového pořadu je popsán v kapitole 3.5. Každý měřený polygonový pořad byl vypočítán v programu GAMA. Pro délky byla nastavena hodnota přesnosti dálkoměru 2,2 mm a pro úhly byla nastavena přesnost 0,35 mgon, která byla vypočítána ze vzorce:

$$\sigma_{\varphi_{3sk}} = \frac{\sigma_{\varphi}}{\sqrt{3}}$$

$$\sigma_{\varphi_{3sk}} = \frac{0,6 \text{ mgon}}{\sqrt{3}} = 0,35 \text{ mgon}$$

kde σ_{φ} je přístrojová směrodatná odchylka vodorovného směru měřeného v jedné skupině. Vstupními veličinami do výpočtu byly vodorovné směry, zenitové úhly a vodorovné délky zredukované do S-JTSK.

Vstupní soubory jsou v příloze č. 11 a výpočetní protokoly jsou uvedeny v příloze č.11.

Vstupní souřadnice fixních bodů:

Tab 18: Souřadnice fixních bodů polygonu

Č.B.	Y [m]	X [m]
4001	736037.283	1044180.802
4002	736016.139	1044096.759
4006	736179.784	1043859.604
4007	736304.180	1043779.357

5.3 Zhodnocení výsledků

5.3.1 Porovnání polohové odchylky z výpočtu v programu Groma

Tab 19: Porovnání polohové odchylky

Č. Polygonu	σ_p [m] polygonu	σ_p [m] od SŽDC	
1	0,015	0,055	vyhovuje
2	0,016	0,055	vyhovuje
3	0,014	0,055	vyhovuje
4	0,013	0,055	vyhovuje
5	0,013	0,055	vyhovuje

5.3.2 Souřadnice polygonu z Gromy

Polygonový pořad 1

Tab 20: Souřadnice polygonu 1 - Groma

Č.B.	Y [m]	X [m]
4003	736023.890	1044029.215
4004	736052.664	1043962.465
4005	736109.040	1043906.029

Polygonový pořad 2

Tab 21: Souřadnice polygonu 2 - Groma

Č.B.	Y [m]	X [m]
4003	736023.891	1044029.215
4004	736052.665	1043962.465
4005	736109.041	1043906.029

Polygonový pořad 3

Tab 22: Souřadnice polygonu 3 - Groma

Č.B.	Y [m]	X [m]
4003	736023.891	1044029.215
4004	736052.665	1043962.465
4005	736109.040	1043906.029

Polygonový pořad 4

Tab 23: Souřadnice polygonu 4 - Groma

Č.B.	Y [m]	X [m]
4003	736023.890	1044029.215
4004	736052.664	1043962.465
4005	736109.040	1043906.029

Polygonový pořad 5

Tab 24: Souřadnice polygonu 5 - Groma

Č.B.	Y [m]	X [m]
4003	736023.890	1044029.215
4004	736052.664	1043962.465
4005	736109.040	1043906.029

Souřadnice bodů mezi polygonovými pořady se liší v řádu milimetru v Y-ové souřadnici.

5.3.3 Souřadnice polygonu z programu GAMA

Polygonový pořad 1

Tab 25: Souřadnice polygonu 1 - Gama

Č.B.	Y [m]	X [m]	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	σ_P [mm]
4003	736023.88916	1044029.21347	1.1	3.0	3.2
4004	736052.66318	1043962.46339	2.1	3.0	3.7
4005	736109.03876	1043906.02776	2.5	2.1	3.2

Polygonový pořad 2

Tab 26: Souřadnice polygonu 2 - Gama

Č.B.	Y [m]	X [m]	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	σ_P [mm]
4003	736023.89004	1044029.21318	1.3	3.6	3.8
4004	736052.66374	1043962.46305	2.5	3.6	4.4
4005	736109.03966	1043906.02808	2.9	2.5	3.9

Polygonový pořad 3

Tab 27: Souřadnice polygonu 3 - Gama

Č.B.	Y [m]	X [m]	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	σ_P [mm]
4003	736023.88959	1044029.21400	1.1	3.2	3.4
4004	736052.66318	1043962.46345	2.2	3.2	3.9
4005	736109.03895	1043906.02822	2.6	2.2	3.5

Polygonový pořad 4

Tab 28: Souřadnice polygonu 4 - Gama

Č.B.	Y [m]	X [m]	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	σ_P [mm]
4003	736023.88955	1044029.21454	1.0	3.0	3.1
4004	736052.66277	1043962.46414	2.1	3.0	3.6
4005	736109.03866	1043906.02824	2.4	2.1	3.2

Polygonový pořad 5

Tab 29: Souřadnice polygonu 5 - Gama

Č.B.	Y [m]	X [m]	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	σ_P [mm]
4003	736023.88960	1044029.21383	1.0	2.8	3.0
4004	736052.66314	1043962.46335	2.0	2.8	3.4
4005	736109.03912	1043906.02807	2.3	2.0	3.0

Souřadnice bodů mezi polygonovými pořady se liší v řádu centimetrů v Y-ové souřadnici a v řádu centimetrů v X-ové souřadnici.

5.3.4 Porovnání souřadnic z programů

Polygon 1

Tab 30: Porovnání souřadnic polygon 1

Č.B.	Program Groma		Program GAMA		Rozdíly souřadnic	
	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]
4003	736023,890	1044029,215	736023,889	1044029,213	0,00084	0,00153
4004	736052,664	1043962,465	736052,663	1043962,463	0,00082	0,00161
4005	736109,040	1043906,029	736109,039	1043906,028	0,00124	0,00124

Polygon 2

Tab 31: Porovnání souřadnic polygon 2

Č.B.	Program Groma		Program GAMA		Rozdíly souřadnic	
	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]
4003	736023,891	1044029,215	736023,890	1044029,213	0,00096	0,00182
4004	736052,665	1043962,465	736052,664	1043962,463	0,00126	0,00195
4005	736109,041	1043906,029	736109,040	1043906,028	0,00134	0,00092

Polygon 3

Tab 32: Porovnání souřadnic polygon 3

Č.B.	Program Groma		Program GAMA		Rozdíly souřadnic	
	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]
4003	736023,891	1044029,215	736023,890	1044029,214	0,00141	0,00100
4004	736052,665	1043962,465	736052,663	1043962,463	0,00182	0,00155
4005	736109,040	1043906,029	736109,039	1043906,028	0,00105	0,00078

Polygon 4

Tab 33: Porovnání souřadnic polygon 4

Č.B.	Program Groma		Program GAMA		Rozdíly souřadnic	
	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]
4003	736023,890	1044029,215	736023,890	1044029,215	0,00045	0,00046
4004	736052,664	1043962,465	736052,663	1043962,464	0,00123	0,00086
4005	736109,040	1043906,029	736109,039	1043906,028	0,00134	0,00076

Polygon 5

Tab 34: Porovnání souřadnic polygon 5

Č.B.	Program Groma		Program GAMA		Rozdíly souřadnic	
	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]
4003	736023,890	1044029,215	736023,890	1044029,214	0,0004	0,00117
4004	736052,664	1043962,465	736052,663	1043962,463	0,00086	0,00165
4005	736109,040	1043906,029	736109,039	1043906,028	0,00088	-0,00093

Souřadnice se od sebe liší v řádech jednotek milimetrů, což je způsobeno zaokrouhlováním výpočetních programů.

5.3.5 Zhodnocení opakovaného měření polygonového pořadu

Tab 35: Zhodnocení opakovaného měření pro bod 4003

	4003			
Polygon	Y [m]	vy [mm]	X [m]	vx [mm]
1	736023,890	0	1044029,215	0
2	736023,891	-1	1044029,215	0
3	736023,891	-1	1044029,215	0
4	736023,890	0	1044029,215	0
5	736023,890	0	1044029,215	0
Průměr [m]	736023,890		1044029,215	
sm. odch. [mm]		0,5		0,0
polohová sm.o.	0,5			

Tab 36: Zhodnocení opakovaného měření pro bod 4004

	4004			
Polygon	Y [m]	vy [mm]	X [m]	vx [mm]
1	736052,664	0	1043962,465	0
2	736052,665	-1	1043962,465	0
3	736052,665	-1	1043962,465	0
4	736052,664	0	1043962,465	0
5	736052,664	0	1043962,465	0
Průměr [m]	736052,664		1043962,465	
sm. odch. [mm]		0,5		0,0
polohová sm.o.	0,5			

Tab 37: Zhodnocení opakovaného měření pro bod 4005

	4005			
Polygon	Y [m]	vy [mm]	X [m]	vx [mm]
1	736109,04	0	1043906,029	0
2	736109,041	-1	1043906,029	0
3	736109,04	0	1043906,029	0
4	736109,04	0	1043906,029	0
5	736109,04	0	1043906,029	0
Průměr [m]	736109,040		1043906,029	
sm. odch. [mm]		0,4		0,0
polohová sm.o.	0,4			

Na základě opakovaného měření polygonového pořadu a opakovaného výpočtu bylo určeno 5 sad souřadnic pro určované body. Měření bylo prováděno v jeden den za stejných observačních podmínek. Před každým měřením polygonového pořadu byla provedena centrace a horizontace na všech stativech. Vzájemným porovnáním vypočtených souřadnic byly určeny výběrové směrodatné odchylky jednoho určení souřadnice Y a X a z nich polohová směrodatná odchylka. Velikost polohových směrodatných odchylek 0,5 mm ukazuje, že při důsledné centraci a horizontaci a při dodržení měřického postupu je rozptyl výsledků velmi malý a několikanásobně menší než požadují dražní předpisy. Na základě těchto výsledků je možné uvažovat o možnosti změnit předpis a snížit např. počet skupin měření nebo povolit používání přístrojů s větší směrodatnou odchylkou měření úhlů.

6 Použité programy

6.1 PreciPlanner 3D

PreciPlanner 3D je program k plánování postupu a přesnosti měření inženýrsko-geodetických sítí dle zadání zakázky. Před výpočtem je možné v mapě souřadnic přidat nebo odebrat a stanovit fixní/vyrovnané body a v mapě měření definovat vodorovné směry, zenitové úhly, vodorovné/šikmé délky a jejich směrodatné odchylky. Výpočet je prováděn v programu GNU Gama, který využívá vyrovnání metodou nejmenších čtverců. Výsledky je možné uložit ve formě tabulky, protokolu a kovarianční matice.

[5]

6.2 Gama

Gama je program pro vyrovnání rovinných i prostorových sítí. Mezi hlavní možnosti programu patří vyrovnání volných i vázaných sítí, měřené veličiny vstupující do vyrovnání mohou být šikmé i vodorovné délky, osnovy směrů, úhly, převýšení. Program si sám umí vypočítat přibližné souřadnice z měření, stačí zadat dva body v souřadnicích. Výsledkem výpočtu MNC jsou vyrovnané souřadnice, vyrovnaná měření a kovarianční matice vyrovnaných souřadnic. Vstupem do programu je XML textový soubor, který obsahuje měření, přesnost měření, přibližné souřadnice a další údaje.

[8]

6.3 Groma

Groma je geodetický systém pracující v prostředí MS Windows. Systém je určen ke komplexnímu zpracování geodetických dat od surových údajů přenesených z totální stanice až po výsledné seznamy souřadnic, výpočetní protokoly a kontrolní kresbu. Lze v něm řešit všechny základní geodetické úlohy. Navíc obsahuje jednoduchou grafiku a možnost digitalizace rastrových dat. Umí zpracovávat data ve formátech všech běžných záznamníků, dávkově i jednotlivými výpočty.

[3]

8 Závěr

Cílem práce bylo provést analýzu přesnosti určení souřadnic bodů pomocí oboustranně připojeného a orientovaného polygonového pořadu v drážním prostředí. Pro analýzu byly uvažovány totální stanice se směrodatnou odchylkou měření úhlů 1“, 2“ a 3“. K analýze byly navrženy 3 typy pořadů s různým směrovým uspořádáním (přímé úseky, směrový oblouk) a různými délkami záměr. Jejich hodnocení bylo provedeno v programu PrecisPlanner 3D. Při analýze bylo uvažováno měření v 1 skupině, ve 2 skupinách a ve 3 skupinách, jak požadují drážní předpisy. Z výsledků teoretických výpočtů s modelovanými souřadnicemi a modelovanými měřeními plyne, že všechny uvažované přístroje a počty opakování měření splňují drážní požadavky přesnosti na určení souřadnic bodu pomocí polygonového pořadu. Na základě těchto výsledků by bylo možné uvažovat o úpravě předpisů a připustit používání přístrojů s větší směrodatnou odchylkou měření nebo snížit počet skupin měření.

Teoretické rozbory byly ověřeny praktickým měřením na nepoužívané železniční trati. K měření byl použit přístroj Trimble S3, který byl zapůjčen firmou Chládek a Tintěra Havlíčkův Brod, a.s. U přístroje byla nejprve ověřena přesnost měření podle normy ČSN ISO 17123-3. Následovalo zaměření navrženého oboustranně připojeného a orientovaného polygonového pořadu v 5 opakování. Mezi každým opakováním měření pořadu byla změněna centrace a horizontace. Pořad byl veden reálným drážním terénem a stativy byly postaveny v různých materiálech – štěrk, hlína, beton. Z výsledků výpočtů plyne, že u každého pořadu byly určeny body s požadovanou přesností a přesnost odpovídá modelovaným hodnotám. Z 5 opakování měření byla určena u jednotlivých bodů polohová směrodatná odchylka 0,5 mm, což značí, že při dodržení technologického postupu je dosažena přesnost mnohem vyšší než požadovaná. Na základě těchto závěrů by bylo také možné začít uvažovat o zmírnění nároků na měření.

V původním plánu pro diplomovou práci bylo provést opakované měření polygonového pořadu za různých ročních období a různých atmosférických podmínek. Toto bohužel nebylo kvůli Covid situaci realizováno, ale může to být námětem na další práce. Dalším doporučením pro možné budoucí testování by bylo umístit na počátku a na konci pořadu nucenou centraci, čímž by se zvětšila jistota získaných výsledků.

Seznam použitých zdrojů a literatury

- [1] SŽDC M20/007 – Metodický pokyn, Železniční bodové pole; SŽDC 2018

- [2] Ratiborský, J.: Geodézie 10. Česká technika - nakladatelství, 1. vydání. Praha, 2004. ISBN 80-01-02198-X.

- [3] Pártlová, L.: Geodetická dokumentace železniční stanice Lípa. Bakalářská práce. FSv ČVUT, Praha, 2019.

- [4] Speciální geodézie: Globální navigační systémy (GNSS). Dostupné online z: https://k154.fsv.cvut.cz/vyuka/geodezie_geoinformatika/vy1/OBS/GNSS_obs.pdf [cit. 08.03.2021].

- [5] Štroner, M.: PrecisPlanner 3D v3.1.0. Návod. Fsv ČVUT, Praha, 2012.

- [6] SYLABUS PŘEDNÁŠKY 8 Z GEODÉZIE 1. Dostupné online z: https://k154.fsv.cvut.cz/vyuka/geodezie_geoinformatika/ged1/Geodezie_1_20_prednaska_8.pdf [cit. 27.04.2021]

- [7] PROFIGEO: Trimble S3. Dostupné online z: <http://www.profigeo.info/down/trimble-s3.pdf> [cit. 3.4.2021]

- [8] Speciální geodézie: Program Gama. Dostupné online z: https://k154.fsv.cvut.cz/vyuka/geodezie/ing2/navod_Gama.pdf [cit. 3.5.2021]

- [9] TRIMBLE. Technický popis GeoExplorer 6000 GeoXR – GNSS přijímač do ruky. Dostupné online z: http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-592015/022543-536C-CZE_GeoXR_DS_0413_LR.pdf [cit. 4.5.2021]

- [10] ČSN ISO 17123-3. Optika a optické přístroje - Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů: Část 3: Teodolity. Český normalizační institut, 2005.

- [11] Hampacher, M. - Štroner, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2. vydání. Praha, 2015. ISBN 978-80-01-05843-5.

- [12] Štroner, M.: PreciPlanner 3D v3.1.0. Návod. FSv ČVUT, Praha, 2012.
- [13] Böhm, J. - Radouch, V. - Hampacher, M.: Teorie chyb a vyrovnávací počet. Geodetický a kartografický podnik Praha, 2. vydání, Praha, 1990. ISBN 80-7011-056-2.
- [14] GEOTRONICS PRAHA: Trimble TSC3. Dostupné online z: <http://geotronics.cz/geodezie/kontrolni-jednotky/trimble-tsc3/> [cit. 10.5.2021].
- [15] DIRECTINDUSTRY: GNSS surveying system Trimble GeoExplorer. Dostupné online z: <https://www.directindustry.com/prod/trimble/product-14795-824723>. [cit. 10.5.2021]
- [16] ALLTERRACENTRAL: Trimble Zephyr Model 2 GPS GNSS Antenna. Dostupné online z: https://allterracentral.com/products.html/survey-equipment/trimble_zephyr2gps_antenna.html [cit. 10.5.2021]
- [17] Mapy.cz. Dostupné z: <https://mapy.cz/letecka?x=15.5928260&y=49.6144869&z=16> [cit. 10.5.2021]
- [18] Mapy.cz. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.5929225&y=49.6137987&z=17> [cit. 10.5.2021]
- [19] Mapy.cz. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=14.5153689&y=50.0877642&z=17&source=pubt&id=15306612> [cit. 10.5.2021]

Seznam obrázků

OBR 1: METODA POSTUPNÉHO PROMÍTÁNÍ [1]	15
OBR 2: PRŮBĚH POLYGONOVÝCH POŘADŮ	19
OBR 3: POLYGONOVÝ POŘAD 602-605	20
OBR 4: POLYGONOVÝ POŘAD 608-912	21
OBR 5: POLYGONOVÝ POŘAD 605-608	22
OBR 6: HLAVNÍ OKNO PRECISPLANERU 3D	23
OBR 7: MAPA SOUŘADNIC	24
OBR 8: MAPA MĚŘENÍ	25
OBR 9: PRŮVODCE PŘESNOSTMI	26
OBR 10: PRŮVODCE PŘESNOSTMI - ŠIKMÁ DÉLKA	27
OBR 11: VÝSLEDKY A VÝPOČTY	28
OBR 12: TOTÁLNÍ STANICE TRIMBLE S3	35
OBR 13: KONTROLNÍ JEDNOTKA TSC3 [14]	36
OBR 14: PŘIJÍMAČ TRIMBLE GEOXR [15]	37
OBR 15: ANTÉNA TRIMBLE ZEPHYR MODEL 2 [16]	37
OBR 16: LOKALITA MĚŘENÍ TESTOVÁNÍ STANICE [17]	38
OBR 17: ROZVRŽENÍ BODŮ PRO TESTOVÁNÍ TOTÁLNÍ STANICE [18]	39
OBR 18: STANOVISKO - TESTOVÁNÍ TOTÁLNÍ STANICE	39
OBR 19: CÍL 1 - TESTOVÁNÍ TOTÁLNÍ STANICE	39
OBR 20: CÍL 2 - TESTOVÁNÍ TOTÁLNÍ STANICE	40
OBR 21: CÍL 3 - TESTOVÁNÍ TOTÁLNÍ STANICE	40
OBR 22: CÍL 4 - TESTOVÁNÍ TOTÁLNÍ STANICE	40
OBR 23: CÍL 5 - TESTOVÁNÍ TOTÁLNÍ STANICE	40
OBR 24: LOKALITA PRO MĚŘENÍ POLYGONOVÝCH POŘADŮ[19]	42
OBR 25: PŘEHLEDKA BODŮ POLYGONOVÉHO POŘADU [19]	43
OBR 29: STABILIZACE BODU 4004	44
OBR 27: STABILIZACE BODU 4002	44
OBR 26: STABILIZACE BODU 4001	44
OBR 28: STABILIZACE BODU 4003	44
OBR 31: STABILIZACE BODU 4006	45
OBR 30: STABILIZACE BODU 4005	45
OBR 32: STABILIZACE BODU 4007	45
OBR 34: BOD 4005	47
OBR 33: BOD 4001	47
OBR 36: BOD 4007	48
OBR 35: BOD 4006	48
OBR 37: BOD 4003	48
OBR 38: BOD 4004	48
OBR 39: FUNKCE "KŘOVÁK"	49
OBR 40: ZALOŽENÍ NOVÉHO ZÁPISNÍKU	50
OBR 41: ZPRACOVÁNÍ ZÁPISNÍKU	50
OBR 42: ZPRACOVÁNÍ OBOUSMĚRNÉ MĚŘENÍ	51
OBR 43: FUNKCE „VÝPOČET POLYGONU“	51
OBR 44: VÝPOČET POLYGONU - "NAČÍST POŘAD ZE ZÁPISNÍKU"	52
OBR 45: VÝPOČET POLYGONU	52

Seznam tabulek

TAB 1: SOUŘADNICE BODŮ ŽBP POLYGONU 602-605	20
TAB 2: SOUŘADNICE BODŮ ŽBP POLYGONU 608-912	21
TAB 3: SOUŘADNICE BODŮ ŽBP 605-608	22
TAB 4: SMĚRODATNÉ POLOHOVÉ ODCHYLKY POLYGONU 605 - 608 1"	29
TAB 5: SMĚRODATNÉ POLOHOVÉ ODCHYLKY POLYGONU 605 - 608 2"	30
TAB 6: SMĚRODATNÉ POLOHOVÉ ODCHYLKY POLYGONU 605 - 608 3"	30
TAB 7: SMĚRODATNÉ POLOHOVÉ ODCHYLKY POLYGONU 608 - 912 1"	31
TAB 8: SMĚRODATNÉ POLOHOVÉ ODCHYLKY 608 -912 2"	31
TAB 9: SMĚRODATNÉ POLOHOVÉ ODCHYLKY POLYGONU 608 -912 3"	31
TAB 10: SMĚRODATNÉ POLOHOVÉ ODCHYLKY POLYGONU 602 -605 1"	32
TAB 11: SMĚRODATNÉ POLOHOVÉ ODCHYLKY POLYGONU 602 -605 2"	32
TAB 12: SMĚRODATNÉ POLOHOVÉ ODCHYLKY POLYGONU 602 -605 3"	32
TAB 13: SOUŘADNICE FIXNÍCH BODŮ - UKÁZKOVÝ POLYGON	33
TAB 14: VYROVNANÉ SOUŘADNICE - UKÁZKOVÝ POLYGON	34
TAB 15: TECHNICKÉ PARAMETRY TOTÁLNÍ STANICE [7]	36
TAB 16: SOUŘADNICE PODROBNÝCH BODŮ POLYGONU	46
TAB 17: MĚŘÍTKOVÉ ČÍSLO GROMA	49
TAB 18: SOUŘADNICE FIXNÍCH BODŮ POLYGONU	54
TAB 19: POROVNÁNÍ POLOHOVÉ ODCHYLKY	55
TAB 20: SOUŘADNICE POLYGONU 1 - GROMA	55
TAB 21: SOUŘADNICE POLYGONU 2 - GROMA	55
TAB 22: SOUŘADNICE POLYGONU 3 - GROMA	55
TAB 23: SOUŘADNICE POLYGONU 4 - GROMA	56
TAB 24: SOUŘADNICE POLYGONU 5 - GROMA	56
TAB 25: SOUŘADNICE POLYGONU 1 - GAMA	57
TAB 26: SOUŘADNICE POLYGONU 2 - GAMA	57
TAB 27: SOUŘADNICE POLYGONU 3 - GAMA	57
TAB 28: SOUŘADNICE POLYGONU 4 - GAMA	57
TAB 29: SOUŘADNICE POLYGONU 5 - GAMA	57
TAB 30: POROVNÁNÍ SOUŘADNIC POLYGON 1	58
TAB 31: POROVNÁNÍ SOUŘADNIC POLYGON 2	58
TAB 32: POROVNÁNÍ SOUŘADNIC POLYGON 3	58
TAB 33: POROVNÁNÍ SOUŘADNIC POLYGON 4	59
TAB 34: POROVNÁNÍ SOUŘADNIC POLYGON 5	59
TAB 35: ZHODNOCENÍ OPAKOVANÉHO MĚŘENÍ PRO BOD 4003	59
TAB 36: ZHODNOCENÍ OPAKOVANÉHO MĚŘENÍ PRO BOD 4004	60
TAB 37: ZHODNOCENÍ OPAKOVANÉHO MĚŘENÍ PRO BOD 4005	60

Seznam příloh

PAPÍROVÉ PŘÍLOHY

PŘÍLOHA 1: KALIBRAČNÍ LISTY TOTÁLNÍ STANICE

66

ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY

PŘÍLOHA 2: Vstupni_soubory_souradnice_PrecisPlanner

PŘÍLOHA 3: Vstupni_soubory_mereni_PrecisPlanner

PŘÍLOHA 4: tabulky_PrecisPlanner

PŘÍLOHA 5: protokoly_Precisplanner

PŘÍLOHA 6: Gama_vstupni_soubor_ukazkovy_polygon.gkf

PŘÍLOHA 7: Gama_vystupni_soubor_ukazkovy_polygon.txt

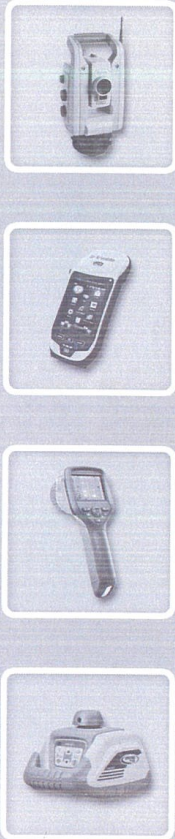
PŘÍLOHA 8: zapisnik_testovani_totalni_stanice

PŘÍLOHA 9: protokoly_GNSS

PŘÍLOHA 10: protokoly_zapisniky_Groma

PŘÍLOHA 11: vstup_vystup_Gama

Geotronics Praha



GEOTRONICS Praha, s.r.o.
Pikovická 206/11
147 00 Praha 4

IČ: 48027014
DIČ: CZ48027014
Zapsáno v OR
u Městského soudu v Praze,
oddíl C, vložka 14315

Bankovní spojení:
Oberbank AG Praha
č.ú.: 2000008423/8040

Tel.: +420 296 801 183-6
Fax: +420 296 801 185
geotronics@geotronics.cz
www.geotronics.cz

Chládek a Tintěra Havlíčkův Brod, a.s.

Průmyslová 941
580 01 Havlíčkův Brod

V Praze 02.02.2021

PROTOKOL O KALIBRACI Č. 018/2021

Typ přístroje: Trimble S3 2" DR

Výr. číslo: 91411053

Měřil: M.Florýk

Dne: 02.02.2021

Srovnávací základna: Praha - Braník

Testované veličiny: Šikmá délka, vodorovné a svislé směry

Způsob testu: Metoda opakovaného měření srovnávací základny se statistickým vyhodnocením (postup schválený auditem SIS Certifiering AB – č. protokolu 254 – Spectra Precision) porovnání s veličinami určenými srovnávacím etalonem:

Geodimeter 640 S/N: 64230149 KL

č.: VÚGTK/43061/2018 ze dne 29.08.2018

Výsledek testu: Výsledky provedeného kalibračního měření plně odpovídají přesnosti udávané výrobcem pro daný typ přístroje:

Měření vodorovných směrů:

směrodatná odchylka vodorovného směru: $s = 2''$

Měření svislých směrů:

směrodatná odchylka svislého směru: $s = 2''$

Měření délek:

adiční konstanta: 2,0 mm

násobná konstanta: 2,0 mm/1km

Měření délek bez hranolu:

adiční konstanta: 3,0 mm

násobná konstanta: 2,0 mm/1km

Geotronics Praha
GEOTRONICS Praha, s.r.o.
Pikovická 206/11 Praha 4
48027014 DIČ: CZ48027014
Autořizované servisní centrum Trimble