

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

STUDIJNÍ OBOR GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKA



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

ZHUŠTĚNÍ ŽELEZNIČNÍHO BODOVÉHO POLE

(TÚ LIBEREC - JABLONEC NAD NISOU)

Vedoucí práce: Dr. Ing. Zdeněk Skořepa

Katedra speciální geodézie

Praha, 2017

Marousek Václav



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: M A R O U S E K Jméno: Václav Osobní číslo: 439244

Zadávací katedra: 11154 (speciální geodézie)

Studijní program: GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Zhuštění železničního bodového pole (TÚ Liberec - Jablonec nad Nisou)

Název bakalářské práce anglicky: Densification of the Railway Geodetic Point Field (TÚ Liberec - Jablonec nad Nisou)

Pokyny pro vypracování:

1. Měřické práce v terénu, za účelem určení souřadnic a nadmořských výšek nových bodů železničního bodového pole, měřením polygonového pořadu s použitím trojpodstavcové soupravy podle pokynů SŽDC
2. Zpracování měřických zápisníků, určení přesností a vah měření pro vyrovnání
3. Výpočet souřadnic bodů bodového pole s vyrovnáním metodou nejmenších čtverců
4. Analýza výsledků vyrovnání.

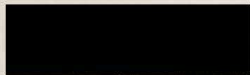
Seznam doporučené literatury:

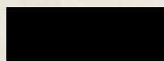
/1/ Skořepa, Z.: Geodézie 4. Praha, Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2017. 132 s.

/2/ Dvořáková, V.: Určení železničního bodového pole na TÚ 802 Děčín-Dolní Žleb státní hranice. Praha, diplomová práce, 2015.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Dr. Ing. Zdeněk Skořepa

Datum zadání bakalářské práce: 22.2.2017 Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017


Podpis vedoucího práce



Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

6.3.2017

Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma *Zhuštění železničního bodového pole* jsem vypracoval samostatně pod vedením Dr. Ing. Zdeňka Skořepy. Dále jsem využil zdroje, které uvádím v seznamu literatury.

V Praze dne

Podpis

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Dr. Ing. Zdeňku Skořepovi za cenné rady během zpracování a také firmě Aritmet, za poskytnutí pracovních pomůcek pro měření a také za příležitost se na této práci podílet.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá zhuštěním základního geodetického bodového pole na traťovém úseku Liberec - Jablonec nad Nisou. Nejprve bylo provedeno měření polygonového pořadu trojpodstavcovou soupravou za pomoci přístroje Trimble S6 High Precision pomocí funkce automatického měření. Měřické zápisníky byly zpracovány v softwaru Groma a bylo provedeno ověření přesnosti přístroje. Dále byla měřená data vyrovnána pomocí metody nejmenších čtverců v softwaru Matlab včetně charakteristik přesnosti.

Klíčová slova

Trimble S6 High precision, trojpodstavcová souprava, automatické měření, Groma, Matlab, metoda nejmenších čtverců, elipsy chyb

Abstract

This bachelor thesis deals with the condensation of the basic geodetic point field on the Liberec - Jablonec nad Nisou track section. First, a trigonometric set of the polygon program set for the three-tripod system was performed using Trimble S6 High Precision using the automatic measurement function. Field books were processed in the Groma software and verification of the accuracy of the instrument. Furthermore, the measured data was adjustment by method least squares in the Matlab software, including the accuracy characteristics.

Keywords

Trimble S6 High precision, three-point set, automatic measurement, Groma, Matlab, method least squares, ellipses errors

Obsah

Seznam zkratk	7
Úvod	8
1. Železniční bodové pole (ŽBP)	9
1.1 Primární síť (ZGB)	9
1.2 Sekundární síť (GB)	10
2. Podrobnosti zakázky	11
2.1 Zadavatel	11
2.2 Zpracovatel	11
2.3 Dodavatel	11
2.4 Zakázka	12
2.5 Pokyny pro zpracování	12
3. Měřická část	13
3.1 Číslování bodů	13
3.2 Trimble S6 High Precision	14
3.3 Specifikace přístroje: [6]	15
3.4 Leica Sprinter 250M	16
4. Zápisník	17
4.1 Redukce délek	17
4.2 Zpracování zápisníku	19
5. Výpočty před vyrovnáním	20
5.1 Vetknutý polygonový pořad	20
5.2 Přesnost koncového bodu určeného volným polygonovým pořadem	20
5.3 Shodnostní transformace	21
5.4 Jednostranně orientovaný a oboustranně připojený polygonový pořad	21
5.5 Vyrovnání sítě	21
6. Doměření pro bakalářskou práci	23
6.1 Trimble R8	23
7. Podmínkové vyrovnání polygonového pořadu MNC	24
7.1 Podmínkové vyrovnání obecně	24
7.2 Vyrovnání vetknutého polygonového pořadu	26
7.3 Vyrovnání jednostranně orientovaného a oboustranně připojeného polygonového pořadu	27
7.4 Polární metoda	28

8. Analýza výsledků vyrovnaní	29
8.1 Směrodatná odchylka jednotková.....	29
8.2 Výpočet homogenizovaných oprav	29
8.3 Výpočet parametrů elips chyb	31
9. Závěr.....	33
10. Seznam zdrojů	34
11. Seznam obrázků	35
12. Seznam tabulek	36
14. Seznam příloh.....	37



ČVUT v Praze

Seznam zkratek

ČR	Česká republika
CZEPOS	Czech Positioning system, síť permanentních stanic GNSS České Republiky
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989, Evropský pozemský referenční systém z roku 1989
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty
TÚ	Traťový úsek
ŽBP	Železniční bodové pole
RTK	Real Time Kinematic, kinematické měření v reálném čase
GNSS	Globální navigační polohové systémy
ZGB	Základní geodetický bod železničního bodového pole (třída přesnosti 1)
GB	Geodetický bod železničního bodového pole (třída přesnosti 2)
MNČ	Metoda nejmenších čtverců
SŽG	Správa železniční geodézie
SŽDC-REF	Referenční železniční geodetický systém

Cílem práce byla oprava a zhuštění železničního bodového pole na traťovém úseku Liberec - Jablonec nad Nisou (km 8.114 - 10.505) pomocí geodetických měření a výpočtů.

Pro bakalářskou práci bylo provedeno měření polygonového pořadu trojpodstavcovou soupravou pomocí totální stanice Trimble S6 High Precision s funkcí automatického měření skupin. Při měření byly navíc na nově určovaných bodech (4001-4010) kresleny náčrty místopisů a měřeny oměrné míry pomocí ručního laserového dálkoměru Leica DISTO D410 kvůli následnému vyhotovení do finální podoby pro zadavatele zakázky SŽDC. Práce v terénu byly provedeny dle zadání zakázky za plné účasti autora práce.

Elektronické zápisníky byly zpracovány pomocí softwaru Groma a opravy úhlů a délek od průměru byly sestaveny do tabulek v softwaru Microsoft Excel. Byla vypočtena vnitřní přesnost měření a provedeno porovnání se specifiky uváděnými výrobcem totální stanice. Dále byly pomocí metody nejmenších čtverců (MNČ) vyrovnány měřené hodnoty (úhly a délky) a na základě těchto vyrovnaných hodnot byly vypočteny souřadnice bodů (převážně pomocí výpočtu polygonového pořadu) a také jejich směrodatné odchylky.

Výsledkem práce jsou nově určené souřadnice bodů ŽBP a jejich směrodatné odchylky, výkresy se zákresem elips chyb na nově určovaných bodech, místopisné náčrty nově osazených bodů (4001-4010).

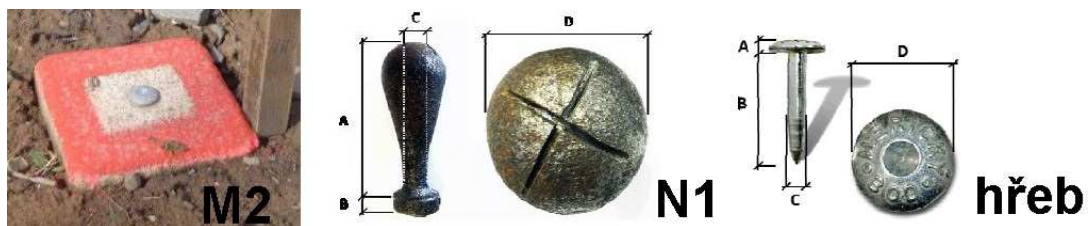


1. Železniční bodové pole (ŽBP)

Železniční bodové pole bylo vytvořeno ve dvou stupních - a to tak, že nejprve byla budována primární síť ZGB, na ní je následně připojena sekundární síť GB. Všechny body jsou umístěny v obvodu trati nebo v jejím ochranném pásmu. Pro tvorbu ŽBP je zpracován metodický pokyn ředitele SŽG *Praha* - prozatímní č. 05/2016.

1.1 Primární síť (ZGB)

ZGB jsou body 1. třídy přesnosti, které jsou polohově určeny v souřadnicových systémech S-JTSK a ETRS89 navázané na systém (SŽDC-REF). Výškový systém těchto bodů je Balt po vyrovnání (Bpv). Body primární sítě jsou stabilizovány mezníkem M2 (16x16x75 cm), nivelačním hřebem N1 nebo měřickým hřebem v pevném základu (musí být upevněn chemickou kotvou do vlhkého prostředí nebo osazený hmoždinkou, kvůli zamezení prasknutí betonu/kamene v zimním období) - viz. obrázek 1. Maximální vzdálenost mezi body primární sítě je 1,3 km a každý takový bod má svůj orientační bod a to v minimální vzdálenosti 300 m. Body této třídy přesnosti se určují metodou RTK nebo rychlou statickou metodou za pomoci dvou-frekvenčních přístrojů GNSS. Doba měření rychlou statickou metodou se pohybuje od 10 do 20 min. dle vzdálenosti od referenčního bodu a dalších parametrech měření. Metodu RTK lze použít, je-li fyzická referenční stanice vzdálená do 8 km od měřeného bodu. Při zpracování se po počátečním výpočtu souřadnic v systému ETRS89 provede vyrovnání sítě na pevné body SŽDC-REF. Nakonec se výsledné souřadnice transformují pomocí lokálního transformačního klíče do systému S-JTSK. Zaměření bodů metodou GNSS musí být dle vyhlášky č. 31/1995 Sb. provedeno minimálně dvakrát a s časovým odstupem minimálně dvou hodin s použitím různých referenčních stanic. Směrodatná odchylka takto určených bodů by měla odpovídat $\sigma_{xy} = 5$ až 7 mm. [2]



Obr. 1 Stabilizační znaky bodů ZGB [1]

1.2 Sekundární síť (GB)

Souřadnice geodetických bodů sekundární sítě jsou určeny pouze v souřadném systému S-JTSK, stabilizace je prováděna pomocí žulových kamenů o minimálních rozměrech (12x12x70 cm) s vysekaným křížkem, nivelační značkou s jasně identifikovatelným bodem zaměření, nebo hřebem do pevného základu. Body jsou umístěny tak, aby při užití žádná část měřického troj-podstavcové soupravy nezasahovala do průjezdního profilu koleje. Maximální vzdálenost mezi body 2. třídy přesnosti je 250 m s nutnou vzájemnou viditelností, zároveň musí být dodržen poměr sousedních délek mezi GB 1:2. Body jsou v terénu zaměřeny pomocí totální stanice trojpodstavcovou soupravou. Typ přístroje je volitelný s podmínkou na dodržení maximální přípustné souřadnicové odchylky $\sigma_{xy} = 4$ cm. Pro výpočet souřadnic se používá oboustranně připojený a oboustranně orientovaný polygonový pořad, řešení pomocí MNC a lze použít i rajon s kontrolou. [2]

2. Podrobnosti zakázky

2.1 Zadavatel

Zadavatelem zakázky zhuštění železničního bodového pole na TÚ Liberec - Jablonec nad Nisou je SŽG (Správa železniční geodézie - Praha). Jedná se o organizační jednotku SŽDC (Správa železniční dopravní cesty) která se zabývá geodetickou činností v souvislosti s provozem železniční dopravní cesty. [5]

2.2 Zpracovatel

Geodetická firma Integral s.r.o. je firma zabývající se geodetickými pracemi a projekční činností v oblasti železnic se sídlem v Českých Budějovicích. Založena byla v roce 1990 a v současné době má již bohaté zkušenosti s geodetickými pracemi na železnicích a obecně ve stavitelství. Zvláštní specializací této firmy je zajišťování geometrické polohy koleje zajišťovacími značkami podle vlastního patentu schváleného zadavatelem (SŽDC). [3]

2.3 Dodavatel

Geodetická firma Aritmet s.r.o. byla založena v roce 2007 a původně se zabývala geodetickými činnostmi a akvizičními činnostmi ve výstavbě. V roce 2010 byla společnost rozšířena o geodetickou kancelář ABACUS s.r.o.. V současné době tato společnost pracuje v oblasti katastru nemovitostí, stavebnictví a nově se zabývá terestrickým měřením železnic jako subdodavatel pro firmu Integral s.r.o. . Spolupráce firem je založena pouze na měřické části nikoli na části zpracovatelské. Aritmet s.r.o. používá moderní vybavení značky Trimble, a to konkrétně totální stanice Trimble S6 DR 300+, Trimble S6 High Precision, Trimble S7 robotic station a GNSS přijímače Trimble R8, dále se firma také zabývá vyhledáváním podzemních vedení pomocí lokátoru Radeton 7000 nebo Leica DIGICAT 550i. [4]



Na opravu a zhuštění železničního bodového pole trati z Liberce do Harrachova se podílela firma Integral s.r.o., v rámci subdodávky zaměřovala poškozený traťový úsek Liberec - Jablonec nad Nisou (km 8.114 - 10.505) společnost Aritmet s.r.o. ve 2. třídě přesnosti pomocí polygonového pořadu bez požadavku na určení nadmořských výšek bodů pomocí technické nivelace. Souřadnice pevných bodů byly obdrženy od zadavatele zakázky včetně místopisných údajů.

2.5 Pokyny pro zpracování

Zhotovitel zakázky obdržel společně se zadáním navíc pokyny pro opravu a zhuštění železničního bodového pole, ty jsou stejné jako metodický pokyn ředitele SŽG č.05/2016, navíc upřesňují parametry měření a zpracování (pokyny viz elektronická příloha č.). Požadavkem je využití přístroje s vteřinovou přesností s užitím funkce automatického cílení a měření minimálně ve 3 skupinách v obou polohách. Každý záznam obsahuje úhel i délku. Maximální rozdíl směru mezi skupinami je 1,5 mgon, při měření je třeba dbát na správné zadávání vnějších vlivů (teplota, tlak).

Pro výpočet vyrovnání je předepsána maximální délka rozsahu 3 km. Zpracovatel musí provádět vyrovnání liniové sítě pomocí MNC a ve výpočetním softwaru nastavit vyšší váhu měřeným směrům na úkor měřeným délkám. Pro parametry sítě je nutné, aby platilo, že 95% všech oprav měřených délek nesmí překročit hodnotu 0,012 m, avšak maximální možná oprava délky je 0,016 m. Dále oprava měřeného směru, kterou je nutno přepočítat na délku v příčném směru k záměře pomocí rovnice

$$v_{Hz}[m] = v_{Hz}[rad] \cdot d[m]$$

a tato oprava nesmí překročit 0,012 m. Zároveň 95% všech středních polohových chyb určených bodů nesmí překročit hodnotu 0,010 m, maximální střední polohová chyba je 0,017 m.

Zpracovatel odevzdá v digitální podobě: originální zápisník měřených dat, editovaný zápisník měřených dat, protokol o výpočtu, seznam souřadnic.

3. Měřická část

Zaměření bylo provedeno v červnu roku 2016. Vedoucí zakázky byl ing. David Kolář a měření provedl Václav Marousek a David Zahradník. Práce započali na km 8.114 a pokračovalo se po směru staničení až do km 10.505.

Jako první byla provedena rekognoskace terénu v celém úseku. První bylo měřeno na bodě č. 309, výška cílů a výška přístroje byla pečlivě změřena a zapsána a totální stanice byla nastavena. Protože sama měří tlak, stačilo změřit a zadat pouze teplotu pro výpočet fyzikální redukce. Totální stanice pak byla přepnuta do automatického režimu pro měření směrů kde bylo nastaveno průměrování měření a počet opakování měření byl pro vyšší přesnost výsledků nastaven na dva. Směry a délky byly měřeny ve 3 skupinách. Jelikož měření bylo prováděno za plného provozu bylo nutné, aby neprobíhalo během průjezdu vlaku, který by způsobil zhoršení přesnosti měřených dat. Jelikož na stativech byly umísťovány mini hranoly Trimble s konstantou 0 mm, tak výška cíle nebyla shodná s výškou přístroje a bylo nutné vždy výšku změřit znovu, proto se v zápisníku výšky liší. Body 4001 - 4010 byly nově stabilizovány a proto bylo nutné vytvořit u nich místopisy, nakreslit náčrt situace v okolí bodů a změřit vždy alespoň 3 oměrné míry pro snadné nalezení bodů. Měření bylo prováděno pomocí ručního dálkoměru Leica DISTO D410, který je vybaven kamerou. Tím bylo snadné s tímto laserovým dálkoměrem za slunného dne měřit bez problému i delší oměrné míry. Navíc bylo změřeno přibližné staničení, které je také součástí místopisných údajů. Na každém tomto bodě byl také pořízen snímek, který je součástí zpracovaných místopisných údajů. Body 4003 a 4008 byly umístěny do skály vedle traťového profilu a bohužel z těchto bodů nebyla dobrá viditelnost na předchozí a následující body polygonového pořadu tudíž bylo nutné postavit stativ excentricky a tyto body určit rajonem s kontrolou. Výškově byl pořad měřen technickou nivelací tam a zpět.

3.1 Číslování bodů

Body ŽBP jsou číslovány dvanáctimístným číslem, které se skládá z čísla TÚ (čtyřmístné) dále číslo obsahuje 4 nuly a poté je vlastní číslo bodu, které se



ČVUT v Praze

pohybuje v rozmezí (502-3999). Pro lepší přehlednost a orientaci v bodovém poli v této bakalářské práci bude pracováno pouze s vlastními čísly bodů.

Číslování bodů je ve stejném směru jako je směr staničení železniční trati a body ZGB a GB se číslují v odlišných číselných řadách. [5]

3.2 Trimble S6 High Precision

Přístroj použitý pro měření této práce je ve verzi s funkcí Autolock, což znamená, že umí sám cílit, je opatřen servomotory s velmi tichým, rychlým a snadným chodem. Přístroj má pomocí servomotoru ovládané i ostření dalekohledu, což velice usnadní práci při měření v rukavicích, navíc díky umístění všech ovládacích prvků z jedné strany lze přístroj ovládat pouze jednou rukou a minimalizovat tak nepříznivé doteky a otřesy stroje při měření. Přístroj je dále vybaven vestavěným optickým centrovačem. Váha přístroje včetně trojnožky a baterie je 6.20 kilogramů.



Měření úhlů:

Přesnost (směrodatná odchylka podle DIN 18723).....1" (0,3 mgon)

Čtení úhlů (nejmenší dílek)

Standard.....1" (0,1 mgon)

Tracking.....2" (0,5 mgon)

Aritmetický průměr.....0.1" (0,01 mgon)

Automatický kompenzátor..... Dvouosý v rozsahu $\pm 6'$ (± 100 mgon)

Měření délek:

Přesnost (směrodatná odchylka)

Na hranol

Standard..... (1 mm + 1 ppm)

Tracking..... (5 mm + 2 ppm)

Direct Reflex (bezhranolové měření)

Standard..... (3 mm + 2 ppm)

Tracking..... (10 mm + 2 ppm)

Doba měření

Na hranol

Standard..... 2 s

Tracking..... 0,4 s

Aritmetický průměr..... 2 s na jedno měření

Direct reflex

Standard..... 3 - 15 s

Tracking..... 0,4 s

Aritmetický průměr..... 3 - 15 s na jedno měření

Dosah

1 hranol..... 3000 m

1 hranol Long range mód..... 5000 m

3 hranoly..... 5000 m

3 hranoly long range mód 7000 m

Nejkratší měřitelná délka..... 1,5 m



Obr. 2 Trimble S6 High Precision [6]

3.4 Leica Sprinter 250M

Tento přístroj firmy Leica je skvělým pomocníkem jak na stavbu, tak pro ostatní geodetické měření. Tento typ navíc umožňuje i odečítání horizontálních úhlů a měření vzdáleností, což může být v praxi výhodou. Střední kilometrová chyba při měření na klasickou teleskopickou lať je 1 mm. Díky této vysoké přesnosti a spoustě chytrých funkcí, které Leica Sprinter 250M ovládá, je možné měřit prakticky bez vstupu lidského faktoru do výsledků. Přístroj sám zapisuje, počítá různé úlohy a tím se stává víceúčelovým pomocníkem nejedné firmy zejména i díky příznivé ceně. [9]

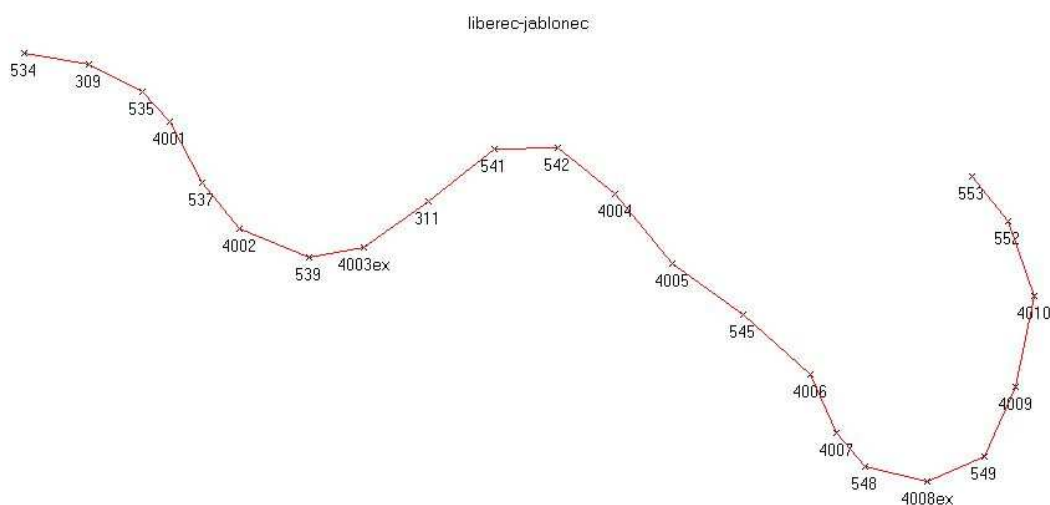


Obr. 3 Leica Sprinter 250M [9]

4.1 Redukce délek

Ještě před samotným importem zápisníku do Gromy bylo nutné vypočítat měřítko zobrazení pro redukci délek do S-JTSK. Polygonový pořad byl pro tento účel rozdělen na dvě části a v jednotlivých částech byly délky redukovány odlišným měřítkem zobrazení. První část byla zvolena od bodu 534 do bodu 311. Body byly takto voleny především kvůli tvaru polygonového pořadu, který má od poloviny tvar písmene U (viz obrázek polygonového pořadu) a bod 311 se nachází přibližně na začátku tohoto tvaru. Pro výpočet měřítka zobrazení na redukci délek prvního pořadu byly použity pouze souřadnice bodu 537. Pro výpočet redukce délek z nadmořské výšky byla použita průměrná nadmořská výška všech bodů tohoto úseku. Druhý úsek měl tvar písmene U a pro správnou redukci délek bylo nutné vypočítat měřítko zobrazení a redukci z nadmořské výšky na začátku (bod 311), uprostřed (bod 548) a na konci pořadu (bod 553).

$$m = \frac{1}{6} (m_1 + 4 m_2 + m_3) \quad [8]$$



Obr. 4 Tvar polygonového pořadu



ČVUT v Praze

Pro výpočet měřítek zobrazení byl použit program Groma v záložce *Nástroje/Křovák*. Tato funkce redukuje délky z kartografického zobrazení a také z nadmořské výšky. Program počítal redukcí délek automatizovaně, ale v rámci bakalářské práce jsou uvedeny základní vzorce pro redukcí délek.

První krok je redukce šikmé délky na vodorovnou

$$d = d_s \sin(z - \varphi) \quad [8]$$

kde d_s je šikmá délka a φ je úhel sbíhavosti tížnic

$$\varphi [\text{gon}] = 0,00998 d_s [\text{km}] \sin(z) \quad [8]$$

Při měření byl zenitový úhel často blízký hodnotě 100 [gon] a z tohoto důvodu je redukce velmi malá.

Dále je nutné provést redukcí do nulové hladiny

$$s_0 = d \frac{R}{R+(H+v_s)} \quad [8]$$

kde R je poloměr Gaussovy koule ($R = 6380,7$ km), v_s je výška přístroje a H je nadmořská výška bodu, nad kterým je postaven přístroj.

Posledním krokem je redukce ze zobrazení

$$S_{JTSK} = s_0 m \quad [8]$$

kde m je výsledné měřítko Křovákova zobrazení.

Zápisníky byly z přístroje exportovány ve formátu Trimblu *sdr* a byly importovány do softwaru Groma. Po načtení zápisníku byla provedena kontrola veškerých dat kvůli odhalení chyb (například v číslování apod.), poté bylo pomocí funkce zpracování zápisníku provedeno zpracování měření ve skupinách a byl vytvořen protokol o zpracování, který obsahuje průměry, opravy směrů a délek a jejich opravy od průměru. Dále také výsledné směry a délky. Opravy byly následně přepsány do tabulky v softwaru Microsoft Excel a byl proveden výpočet směrodatných odchylek jednotlivých směrů a délek. Následně byla vypočtena celková směrodatná odchylka měřených směrů a délek, která byla porovnána s tabulkovými hodnotami a zároveň vstupovala do vyrovnání pro sestavení váhové matice. Jednotlivé váhy byly vytvořeny pomocí apriorní chyby jednotkové a vypočtených směrodatných odchylek.

$$p_d = \sigma_0^2 / \sigma_d^2 [m] \quad p_u = \sigma_0^2 / \sigma_u^2 [rad] \quad \sigma_0 = 1$$

Všechny excelovské tabulky a originální zápisníky jsou obsahem přílohy.

Výsledná směrodatná odchylka směru	[mgon]	0,5
Výsledná směrodatná odchylka délek	[mm]	0,6

Tab. 1: Směrodatné odchylky přístroje vypočtené z měření

Přesnost, kterou udává výrobce je 0,3 mgon pro směry a 1 mm + 1 ppm pro délky. Přesnost dosažená v terénu odpovídá nominálním hodnotám. Pro vyrovnání byly v bakalářské práci byly použity směrodatné odchylky: 0,5 mgon pro směry, 2 mm pro délky (přesnost délky zohledňuje chybu centrace a zavedení fyzikální redukce).

5. Výpočty před vyrovnáním

5.1 Vetknutý polygonový pořad

Jako první byl v programu Groma vypočítán vetknutý polygonový pořad v místní soustavě, osa X byla vložena do první polygonové strany. Tímto výpočtem byly vypočteny místní souřadnice všech bodů polygonového pořadu pouze na základě měření kvůli následným výpočtům a kontrolám.

5.2 Přesnost koncového bodu určeného volným polygonovým pořadem.

Další výpočet byl proveden v softwaru Matlab. Nejprve byl sestaven nelineární matematický model volného polygonového pořadu, poté byla sestavena matice D neboli matice parciálních derivací podle všech měřených veličin. Dále byla sestavena matice vah P . (Podrobné sestavení a vzorce těchto matic jsou uvedeny v kapitole 7.1 Obecně o vyrovnání).

Následně byla vypočtena kovarianční matice

$$\Sigma_x = D \Sigma_L D^T .$$

Z této matice byly poté vypočteny směrodatné odchylky koncového bodu, a to jako odmocnina z diagonálních prvků, jelikož kovarianční matice má rozměr 2x2 dostaneme 2 výsledky z nichž jeden je směrodatná odchylka souřadnice X a druhý souřadnice Y.

$$\sigma_x = \sqrt{(\Sigma_x)_{1,1}} \quad \sigma_y = \sqrt{(\Sigma_x)_{2,2}}$$

Polohová směrodatná odchylka byla vypočtena jako stopa kovarianční matice

$$\sigma_{xy} = \sqrt{\text{trace}(\Sigma_x)} \quad [8]$$

5.3 Shodnostní transformace

Shodnostní transformace byla počítána z důvodů kontroly rozměru a tvaru sítě. Při shodnostní transformaci totiž dochází pouze k otočení, ale nikoliv ke změně tvaru a rozměru sítě. Pro výpočet této transformace byly použity místní souřadnice vypočtené vetknutým polygonovým pořadem a souřadnice bodů sítě v S-JTSK.

Díky tomuto kroku bylo odhaleno, že bod 552 je posunut téměř o 25 cm v každé ose (viz protokol shodnostní transformace v příloze).

5.4 Jednostranně orientovaný a oboustranně připojený polygonový pořad

Pomocí softwaru Groma byl ještě navíc kontrolně spočítán jednostranně orientovaný a jednostranně připojený polygonový pořad v souřadnicích S-JTSK pro odhalení případných dalších rozporů sítě. Bohužel se ukázalo, že i na začátku polygonového pořadu je chyba, a to konkrétně na bodě 534. Na tomto bodě nastal posun po kružnici (délka se liší pouze o 1 mm), ale za to úhel se výrazně liší.

Na základě těchto výpočtů bylo rozhodnuto o přeměření připojovacích bodů polygonového pořadu technologií GNSS. Bohužel, kvůli zalesnění nebylo možno zaměřit body pro optimální řešení oboustranně orientovaného a oboustranně připojeného polygonového pořadu a bylo rozhodnuto o vyrovnání jednostranně orientovaného a oboustranně připojeného polygonového pořadu (viz kapitola 6). Toto řešení se týká pouze této bakalářské práce, nikoli skutečné zakázky.

5.5 Vyrovnání sítě

Pro následnou snadnou kontrolu výsledků vyrovnání byl měřený pořad vyrovnán v softwaru Groma. Vyrovnání v tomto softwaru je velice snadné a rychlé, v sekci *Nástroje/Vyrovnání sítě* byl vytvořen soubor formátu NET. Tento soubor lze snadno editovat v poznámkovém bloku a můžeme zde přímo vyplnit měřené úhly a délky, nebo je můžeme zapsat přímo v programu Groma. Do tohoto souboru musíme vložit také přibližné souřadnice, které máme vypočtené například pomocí polygonového pořadu. Při zadávání přibližných souřadnic volíme, zda se jedná o bod pevný nebo určovaný.



ČVUT v Praze

V prvním případě byly zvoleny jako pevné body (č. 309, 534, 553) a tlačítkem výpočet bylo provedeno vyrovnání. Výsledný protokol byl uložen pro následnou kontrolu výsledků v softwaru Matlab. Program tuto síť počítá stejným způsobem jako jednostranně orientovaný a oboustranně připojený polygonový pořad.

V druhém případě byly zvoleny jako pevné body pouze (č. 309, 553) a stejným postupem byl získán také protokol z vyrovnání vetknutého polygonového pořadu pro následnou kontrolu výsledků. Takto zadanou síť program počítá jako vyrovnání vetknutého polygonového pořadu.

Tento postup byl zvolen kvůli snadnějšímu hledání chyb ve skriptech v programu Matlab a během práce se opravdu osvědčil.

```
[Approx Coordinates]
```

```
NUM=309,X=979482.421000,Y=683731.946000,TYPE=0,HTYPE=-1,STATE=1
```

```
[Adjusted Coordinates]
```

```
NUM=309,X=979482.421000,Y=683731.946000,MX=0.00,MY=0.00,MXY=0.00,TYPE=0,HTYPE=-1
```

```
[Dirs]
```

```
NUM1=309,NUM2=535,ANGLE=0.0002100,M=0.50000,STATE=0
```

```
[Distances]
```

```
NUM1=309,NUM2=534,DIST=109.284100,M=2.00,STATE=1
```

Obr. 5 Ukázka souboru NET

6. Doměření pro bakalářskou práci

Jelikož bylo zjištěno poškození orientačních bodů na začátku a na konci pořadu, bylo pro účely této bakalářské práce třeba tyto body nově určit, a to pomocí technologie GNSS. V zakázce pro firmu Aritmet s.r.o. k tomu nedošlo, protože firma dodávala pouze naměřená data z polygonového pořadu, zpracování provedla firma Integral s.r.o..

Pro určení bodů pomocí technologie GNSS byly použity dva GNSS přijímače Trimble R8, které byly umístěny na stativy co nejvýše, nad body a byla změřena výška přijímače nad bodem. Dále bylo měřeno metodou RTK připojenou do sítě referenčních stanic CZEPOS s dobou observace 30 minut. Každý bod byl zaměřen dvakrát v jeden den, v různých časech kvůli jiné konfiguraci družic. Pro výpočet pouze v rámci této bakalářské práce byl použit globální transformační klíč, který je uvedený v protokolu měření GNSS (Příloha 19) .

6.1 Trimble R8

Tento GNSS přijímač značky Trimble má dostačující přesnost pro většinu měřických úloh v praxi. Obsahuje 6 čipů Trimble Maxwell se 440 kanály a dokáže přijímat data od různých satelitních systémů (GLONASS, GPS, GALILEO,...). [7]



Obr. 6 Trimble R8



7. Podmínkové vyrovnání polygonového pořadu MNČ

Do vyrovnání vstupuje soubor naměřených veličin včetně jejich směrodatných odchylek. Jestliže máme k dispozici nějaké nadbytečné měření, tak můžeme naměřené hodnoty, které jsou zatížené náhodnými měřickými chybami vyrovnat, tak aby splňovaly matematické podmínky. Kdybychom dále počítali s nevyrovnanými hodnotami, tak bychom při odlišném postupu výpočtu dostali odlišné výsledky, což je nežádoucí. Pro podmínkové vyrovnání je nutné stanovit veškeré podmínky, které pro danou situaci existují, a které na sobě nesmějí být závislé. Počet těchto podmínek se rovná počtu nadbytečných měření. Podmínky vyrovnání většinou vycházejí z geometrie sítě a výsledná vyrovnaná měření splní matematické podmínky.

7.1 Podmínkové vyrovnání obecně

Obecný nelineární matematický model má podobu podmínkových rovnic

$$\mathbf{F}(\bar{\mathbf{L}}) = \mathbf{0}$$

platí, že $\bar{\mathbf{L}} = \mathbf{L} + \boldsymbol{\epsilon}_L$ kde \mathbf{L} je vektor měřených veličin a $\boldsymbol{\epsilon}_L$ je vektor náhodných chyb měření. Z toho důvodu, že měření je zatížené chybami tak matematické podmínky nejsou splněny a místo nul dostáváme hodnotu uzávěru

$$\mathbf{F}(\mathbf{L}) = \mathbf{u}.$$

Požadavek na vyrovnané měření je následující

$$\mathbf{F}(\mathbf{L} + \mathbf{v}) = \mathbf{F}(\hat{\mathbf{L}}) = \mathbf{0} \quad (7.1.1)$$

také po linearizaci vztahu (7.1.1)

$$\mathbf{D} \mathbf{v} + \mathbf{u} = \mathbf{0} \quad (7.1.2)$$

Systém rovnic (7.1.2) se nazývá systém přetvořených podmínkových rovnic, kde vektor \mathbf{v} je vektor oprav měřených veličin a matice \mathbf{D}

$$\mathbf{D} = \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \bar{\mathbf{L}}}(\mathbf{L})$$



ČVUT v Praze

je matice parciálních derivací podmínkový rovnic podle jednotlivých měření.

Pro splnění kritéria MNČ ($\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} = \min.$ a podmínky (7.1.2) se použije Lagrangeův postup hledání minima

$$\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} - 2 \mathbf{k}^T (\mathbf{D} \mathbf{v} + \mathbf{u}) = \min \quad (7.1.3)$$

kde \mathbf{k} je vektor korelát (neznámých Lagrangeových koeficientů) a \mathbf{P} je diagonální matice vah.

Každé měření, které vstupuje do vyrovnání je opatřeno váhou, která odpovídá přesnosti tohoto měření. Z toho vyplývá, že čím větší má měření váhu, tím je přesnější a více se projeví ve vyrovnání.

Diagonální prvky matice jsou vyjádřeny tímto vztahem

$$p_i = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_i^2}$$

kde σ_0 je vhodně zvolený apriorní odhad směrodatné odchylky jednotkové a σ_i je směrodatná odchylka měření.

Z nulové první derivace rovnice (7.1.3):

$$2 \mathbf{P} \mathbf{v} - 2 \mathbf{D}^T \mathbf{k} = 0$$

získáváme $\mathbf{v} = \mathbf{P}^{-1} \mathbf{D}^T \mathbf{k}$ (7.1.4)

když tento výraz dosadíme do rovnice (6.1.2) budeme moci vyjádřit koreláty \mathbf{k}

$$\mathbf{k} = -(\mathbf{D} \mathbf{P}^{-1} \mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{u}$$

tento vztah dále dosadíme do rovnice (7.1.4) a tím získáme výsledný vektor oprav \mathbf{v} , který splňuje obě podmínky (7.1.1) a (7.1.2)

$$\mathbf{v} = -\mathbf{P}^{-1} \mathbf{D}^T (\mathbf{D} \mathbf{P}^{-1} \mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{u}$$

v této fázi je již snadné získat vyrovnané měřené veličiny

$$\hat{\mathbf{L}} = \mathbf{L} + \mathbf{v}$$

Použití vyrovnaných hodnot vede ke zpřesněným a jednoznačným výsledným souřadnicím bodů polygonového pořadu.

Kontrolou vyrovnání je splnění podmínek (7.1.1) a (7.1.2)

Výpočet aposteriorní směrodatné odchylky je následovný



$$\widehat{\sigma}_0^2 = \frac{\mathbf{v}^T \mathbf{p} \mathbf{v}}{n'}$$

kde n' je počet nadbytečných měření.

Kovarianční matice vyrovnaných měření je

$$\Sigma_{\hat{\mathbf{l}}} = \widehat{\sigma}_0^2 (\mathbf{P}^{-1} - \mathbf{P}^{-1} \mathbf{D}^T (\mathbf{D} \mathbf{P}^{-1} \mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{D} \mathbf{P}^{-1})$$

Kvůli posouzení, zda se připojovací body shodují s měřením, a zda byla dodržena očekávaná přesnost se vypočítané uzávěry porovnávají s mezními uzávěry, které vyplývají z vyrovnání

$$u_i^{mez} = t \sigma_0 \sqrt{(\mathbf{D} \mathbf{P}^{-1} \mathbf{D}^T)_i}$$

t je koeficient spolehlivosti (je závislý na podmínkách měření obvykle nabývá hodnot $t = 2$, $t = 2,5$, $t = 3$). Pro tuto práci byl zvolen $t = 2$. [8]

7.2 Vyrovnání vetknutého polygonového pořadu

Vetknutý polygonový pořad není pro vyrovnání měření tohoto typu příliš vhodný, ale v rámci této bakalářské práce byl tento postup zvolen pro porovnání výsledků s jednostranně orientovaným polygonovým pořadem. Hodnoty na vstupu do vyrovnání jsou redukované délky a vrcholové úhly, které jsou v softwaru Matlab načítány z matice dat, ve které je vložen zpracovaný zápisník.

počet bodů polygonového pořadu n

počet měřených délek $n-1$

počet měřených úhlů $n-2$

celkem $2n-3$ měření, počet nadbytečných měření je $n' = 1$

Z toho vyplývá, že budeme vyrovnávat jednu podmínkovou rovnici.

Pro přehlednější popis podmínky si ji rozdělíme na X a Y složku a závěrem je sloučíme do jedné podmínky

$$\mathbf{F}_x = \Delta_{x1,2} + \Delta_{x2,3} + \dots + \Delta_{xn-1,n}$$

$$\mathbf{F}_y = \Delta_{y1,2} + \Delta_{y2,3} + \dots + \Delta_{yn-1,n}$$

$$d_x = (X_K - X_P)$$



$$d_y = (X_K - X_P)$$

z těchto rovnic můžeme zformulovat podmínku

$$F: \sqrt{d_x^2 + d_y^2} - \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = 0$$

Jedná se tedy o délkový uzávěr. Z toho plyne matice parciálních derivací **D** funkce F

$$\mathbf{D} = \left(\frac{\partial F}{\partial s_{1,2}} \quad \dots \quad \frac{\partial F}{\partial s_{n-1,n}} \quad \frac{\partial F}{\partial w_{1,2}} \quad \dots \quad \frac{\partial F}{\partial w_{n-1,n}} \right)$$

Vektor oprav tedy vypadá takto

$$\mathbf{v} = (v_{s_{1,2}}, v_{s_{2,3}}, \dots, v_{s_{n-1,n}}, v_{w_{1,2}}, v_{w_{2,3}}, \dots, v_{w_{n-1,n}})^T$$

Velikost matice **P** je $(2n-3) \times (2n-3)$ tedy (41×41) a apriorní směrodatná odchylka σ_0 je volena $\sigma_0 = 1$. [8]

7.3 Vyrovnání jednostranně orientovaného a oboustranně připojeného polygonového pořadu

Jednostranně orientovaný a oboustranně připojený polygonový pořad byl taktéž vyrovnáván v programu Matlab. Na vstupu do vyrovnání byl opět zpracovaný zápisník měření v matici dat, ze které byly úhly a délky načítány do vyrovnání.

Počet bodů polygonového pořadu bylo n

délek tedy $n-1$

úhlů tedy $n-1$

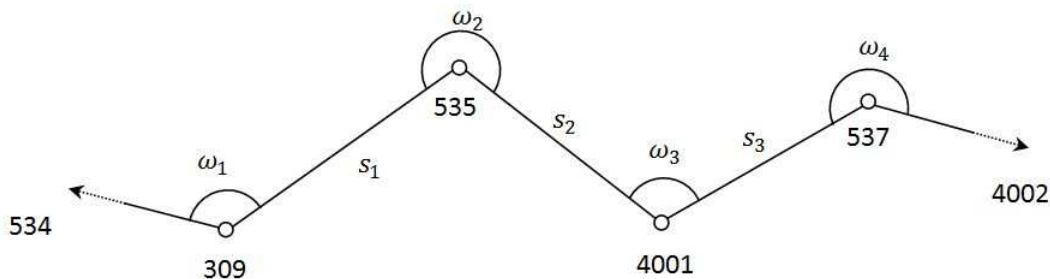
celkem $2n-2$ měření, z čehož vyplývá počet nadbytečných měření $n' = 2$.

Stupeň volnosti (počet nadbytečných měření) určil počet rovnic pro podmínkové vyrovnání, tedy dvě rovnice (podmínky)

$$F_1 = (s_1 \cos(\sigma_a + \omega_1) + \dots + s_{n-1} \cos(\sigma_a + \sum_1^{n-1} \omega - (n-2)\pi)) - (X_P - X_K)$$

$$F_2 = (s_1 \sin(\sigma_a + \omega_1) + \dots + s_{n-1} \sin(\sigma_a + \sum_1^{n-1} \omega - (n-2)\pi)) - (Y_P - Y_K)$$

kde σ_a je směrník mezi počátečním bodem polygonového pořadu a orientací, X_P a Y_P jsou souřadnice počátečního bodu. X_K a Y_K jsou souřadnice koncového bodu, s_i jsou jednotlivé strany polygonového pořadu a ω_i vrcholové úhly.



Obr. 7: Schematický náčrt polygonového pořadu

Dostáváme tedy dva uzávěry a to v souřadnici X a v souřadnici Y. Z počtu podmínkových rovnic plyne rozměr matice parciálních derivací **D** funkcí F1 a F2.

$$D = \begin{pmatrix} \cos \alpha_{1,2} & \dots & \cos \alpha_{n-1,n} & \Delta x_{1,K} & \dots & \Delta x_{n-1,K} \\ \sin \alpha_{1,2} & \dots & \sin \alpha_{n-1,n} & \Delta y_{1,K} & \dots & \Delta y_{n-1,K} \end{pmatrix}$$

Vektor oprav tedy vypadá takto

$$v = (v_{s_{1,2}}, v_{s_{2,3}}, \dots, v_{s_{n-1,n}}, v_{w_{1,2}}, v_{w_{2,3}}, \dots, v_{w_{n-1,n}})^T$$

Velikost matice **P** je $(2n-2) \times (2n-2)$ tedy (42×42) a apriorní směrodatná odchylka σ_0 je volena $\sigma_0 = 1$. [8]

Jednostranně orientovaný polygonový pořad		
Skutečný uzávěr [m]	Mezní uzávěr [m]	Kontrolní uzávěr [m]
-0,03228	0,08983	3,96E-07
0,01156	0,03121	4,37E-07

Tab. 2: Uzávěry jednostranně orientovaného polygonového pořadu

7.4 Polární metoda

V měřické síti se nacházejí dva body, které nebylo možné zařadit do vyrovnání pomocí MNČ, a proto byly určeny z vyrovnaných souřadnic excentrických stanovisek těchto bodů pomocí polární metody. Tu je dle metodického pokynu SŽG Praha č. 05/2016 možno použít pro GB pouze s kontrolou. Na určovaný bod bylo měřeno z více stanovisek a souřadnice byly pomocí polární metody určeny vícekrát. Výsledkem bylo nejvhodnější řešení nebo aritmetický průměr souřadnic.



8. Analýza výsledků vyrovnání

Pro ověření výsledků vyrovnání a ověření vlivu přesnosti podkladu byly provedeny statistické testy a byly vypočteny také přesnosti měření a elipsy chyb jednotlivých určovaných bodů polygonového pořadu.

8.1 Směrodatná odchylka jednotková

Empirická hodnota směrodatné odchylky jednotkové byla vypočtena podle vzorce

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{v^T P v}{n'}$$

Tato veličina

$$\frac{n' \hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2}$$

má chí - kvadrát rozdělení, počet stupňů volnosti je n' . Po úpravě dostaneme pro hladinu testu $\alpha = 0,05$ vztah

$$P \left\{ \sqrt{\frac{\chi_{n'}^2(1-\frac{\alpha}{2})}{n'}} \leq \frac{\hat{\sigma}_0}{\sigma_0} \leq \sqrt{\frac{\chi_{n'}^2(\frac{\alpha}{2})}{n'}} \right\} = 1 - \alpha,$$

kde

n' je stupeň volnosti (pro vetknutý pořad $n' = 1$, pro jednostranně orientovaný $n' = 2$), $\chi_{n'}^2(1 - \frac{\alpha}{2})$ a $\chi_{n'}^2(\frac{\alpha}{2})$ jsou kritické hodnoty chí - kvadrát rozdělení. Splněním testu byla potvrzena přesnost podkladu a měření.

8.2 Výpočet homogenizovaných oprav

Homogenizované opravy byly počítány pro detekci případných odlehlých měření. Prvním krokem byl výpočet kovarianční matice oprav Σ_v

$$\Sigma_v = \sigma_0^2 P^{-1} D^T (D P^{-1} D^T)^{-1} D P^{-1}$$



Tuto symetrickou matici lze dále rozložit na

$$\Sigma_v = U S U^T$$

kde U je ortogonální matice a S je diagonální matice vlastních čísel. Matice S obsahuje pouze tolik nenulových prvků, kolik je nadbytečných měření. Tyto nenulové diagonální prvky jsou na posledních pozicích matice S .

Výsledné homogenizované opravy vypočteme

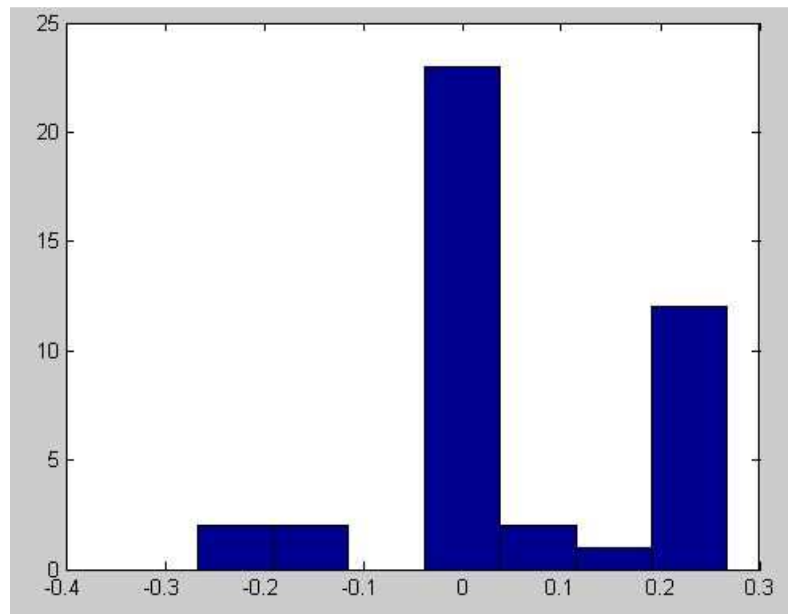
$$\tilde{v} = \Sigma_v^{-1/2} v$$

Homogenizované opravy jsou bezrozměrné veličiny, pro které předpokládáme normální rozdělení $\tilde{v} \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{E})$. Opravy, které nesplňují interval pro hladinu testu $\alpha = 0,05$, odpovídají měřením, které jsou zatíženy většími chybami

$$-t(\alpha/2) \leq \tilde{v} \leq t(\alpha/2)$$

t jsou kritické hodnoty normálního rozdělení ($-1,96 \leq \tilde{v} \leq 1,96$).

[2] [8]



Obr. 8: Histogram homogenizovaných oprav

Žádná z homogenizovaných oprav nepřekročila mezní hodnotu.



Pro výpočet parametrů středních elips chyb bylo nutné vypočítat kovarianční matici souřadnic Σ_x . Nejprve byla vypočtena modelová matice K , dále byla vypočtena matice váhových koeficientů vyrovnaných měření $Q_{\hat{l}}$

$$Q_{\hat{l}} = K P^{-1} K^T$$

$$K = (E - P^{-1} D^T (D P^{-1} D^T)^{-1} D)$$

kde E je jednotková matice $i \times i$, i je počet určovaných souřadnic.

Pro výpočet kovarianční matice souřadnic (souřadnice jsou funkcí vyrovnaných měření) bylo nutné sestavit také matici F parciálních derivací souřadnic určovaných bodů podle vyrovnaných měření.

$$\hat{X}_2 = X_1 + \hat{s}_{1,2} \cdot \cos(\sigma_a + \hat{\omega}_1)$$

$$\hat{X}_3 = X_1 + \hat{s}_{1,2} \cdot \cos(\sigma_a + \hat{\omega}_1) + \hat{s}_{2,3} \cdot \cos(\sigma_a + \hat{\omega}_1 + \hat{\omega}_2 - 200)$$

$$\hat{Y}_2 = Y_1 + \hat{s}_{1,2} \cdot \sin(\sigma_a + \hat{\omega}_1)$$

$$\hat{Y}_3 = Y_1 + \hat{s}_{1,2} \cdot \sin(\sigma_a + \hat{\omega}_1) + \hat{s}_{2,3} \cdot \sin(\sigma_a + \hat{\omega}_1 + \hat{\omega}_2 - 200)$$

Ze schématu matice F je patrné jak se do výpočtu přesnosti jednotlivých souřadnic zapojují vyrovnané veličiny. Nejprve byly funkce pro výpočet souřadnic derivovány podle délek a poté podle vrcholových úhlů.

$$F^T = \begin{pmatrix} \cos \varphi_{1,2} & \sin \varphi_{1,2} & \cos \varphi_{1,3} & \sin \varphi_{1,3} & \cos \varphi_{1,4} & \sin \varphi_{1,4} \\ 0 & 0 & \cos \varphi_{2,3} & \sin \varphi_{2,3} & \cos \varphi_{2,4} & \sin \varphi_{2,4} \\ -\Delta Y_{1,2} & \Delta X_{1,2} & -\Delta Y_{1,3} & \Delta X_{1,3} & -\Delta Y_{1,4} & \Delta X_{1,4} \\ 0 & 0 & -\Delta Y_{2,3} & \Delta X_{2,3} & -\Delta Y_{2,4} & \Delta X_{2,4} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{pmatrix}$$

Nyní bylo vypočteno vše potřebné pro výpočet kovarianční matice souřadnic Σ_x



ČVUT v Praze

$$\Sigma_x = \sigma_0^2 \mathbf{F} \mathbf{Q}_{\hat{L}} \mathbf{F}^T$$

ze které byly následně vybrány submatice o rozměru 2x2, které obsahovali variance a kovariance pro výpočet parametrů elips chyb

$$a = \sqrt{\lambda_1} \quad b = \sqrt{\lambda_2} \quad \tan(2\alpha) = \frac{2 \operatorname{cov}(x,y)}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2},$$

kde a, b jsou hlavní poloosy elips chyb, λ_1 a λ_2 jsou vlastní čísla submatic 2x2, α je směrnik hlavní poloosy střední elipsy chyb. Platí, že poloosa a je vždy větší než b .

Výsledné elipsy chyb byly na závěr zobrazeny v programu BricsCAD v16 v měřítku (viz Příloha 10).

[8]

9. Závěr

Už při prvních výpočtech bylo zjištěno že železniční bodové pole v tomto úseku je poškozené. Toto poškození bylo pravděpodobně způsobeno pokládkou elektrického kabelu v celém úseku a proto byla v rámci této bakalářské práce celá síť nově určena. Při měření byly dodrženy všechny předpisy a postupy. Vyrovnávaný polygonový pořad je kratší než 3 km viz zadání zakázky. Statistický rozbor měření prokázal přesnost udávanou v kalibračním listu.

Vyrovnání měřených veličin proběhlo pomocí MNČ v softwaru Matlab (vlastní skripty jsou součástí příloh), kde byly následně vypočteny statistické testy. Mezní odchylky uzávěrů byly vypočteny a nebyli překročeny. Opravy měřených délek nepřekročili hodnotu 0,012 m. Opravy měřených směrů přepočtené na příčnou odchylku také nepřekračují mezní hodnotu 0,012 m.

Výsledné hodnoty se shodují s výpočtem v komerčním softwaru Groma.

Pokud by bylo možné na konci pořadu provést orientaci, vyrovnávali bychom polygonový pořad oboustranně připojený a oboustranně orientovaný.

Technická nivelace byla zpracována v programu Groma. Výsledné výšky jsou uvedeny v seznamu souřadnic nově určených bodů.

10. Seznam zdrojů

- [1] Správa železniční geodézie Praha [Online] *Metodický pokyn ředitele SŽG Praha - prozatímní č. 05/2016*. [vid. 22. 04. 2017]. Dostupné z: <http://www.szdc.cz/o-nas/organizacni-jednotky-szdc/szg-praha/dokumenty/2016-05-priloha3-0.pdf>
- [2] Dvořáková, Vladěna. *Určení železničního bodového pole na TÚ 802 - Děčín - Dolní Žleb státní hranice*. Praha: ČVUT 2015. Diplomová práce. ČVUT, Fakulta stavební, Katedra speciální geodézie
- [3] Integral s.r.o. [online]. [vid. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://www.integralsro.cz/index.html>
- [4] Aritmet s.r.o. [online]. [vid. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://aritmet.cz/o-nas/>
- [5] Správa dopravní železniční cesty [online]. [vid. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://www.szdc.cz/o-nas.html>
- [6] Trimble [online]. [vid. 2017-04-22]. Dostupné z: http://www.survey-solutions-scotland.co.uk/uploaded_files/Trimble_S6_Datasheet.pdf
- [7] Trimble R8 [online]. [vid. 2017-04-22]. Dostupné z: http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-464176/022543-079N-SKY_TrimbleR8GNSS_DS_1014_LR.pdf
- [8] SKOŘEPA, Zdeněk. *Geodézie* 4. 2. vydání. Praha: vydavatelství ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03955-7
- [9] Gefos. *Gefos* [online]. [vid. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://www.gefos-leica.cz/cz/leica/produkty/69/stavebni-digitalni-nivelacni-pristroje-sprinter-50-150-150m-250m>
- [10] *Northern Engineering* [online]. [vid. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://www.neciusa.com/gallery/latest-technology-equipment/>

11. Seznam obrázků

Obr. 1: Stabilizační znaky bodů ZGB [1]	10
Obr. 2: Trimble S6 High Precision [6]	16
Obr. 3: Leica Sprinter 250M [9]	16
Obr. 4: Tvar polygonového pořadu	17
Obr. 5: Ukázka souboru NET	21
Obr. 6: Trimble R8 [10]	22
Obr. 7: Schematický náčrt polygonového pořadu	28
Obr. 8: Histogram homogenizovaných oprav	31

12. Seznam tabulek

Tab. 1: Směrodatné odchylky přístroje vypočtené z měření	19
Tab. 2: Uzávěry jednostranně orientovaného polygonového pořadu	28



14. Seznam příloh

Příloha 1: Protokol shodnostní transformace

Příloha 2: Protokol jednostranně orientovaného polygonového pořadu

Příloha 3: Vyrovnané souřadnice, parametry elips chyb

Příloha 4: Tabulka vyrovnaných hodnot

Příloha 5: Přesnost koncového bodu (Matlab skript)

Příloha 6: Vyrovnání vetknutého polygonového pořadu (Matlab skript)

Příloha 7: Protokol vyrovnání vetknutého polygonového pořadu (Groma)

Příloha 8: Vyrovnání jednostranně orientovaného polyg. pořadu (Matlab skript)

Příloha 9: Protokol vyrovnání jednostranně orientovaného polyg. pořadu (Groma)

Příloha 10: Výkresy elips chyb

Příloha 11: Výpočet nivelace

Příloha 12: Místopisný náčrt (ukázka)

Příloha 13: Protokol polární metody

Elektronicky:

Příloha 14: Protokol zpracování zápisníku část 1

Příloha 15: Protokol zpracování zápisníku část 2

Příloha 16: Originální zápisník formátu Trimble sdr

Příloha 17: Výpočty přesností přístroje

Příloha 18: Pokyny k určení Železničního bodového pole

Příloha 19: Místopisné náčrty nově osazených bodů (formát DWG)

Příloha 20: Protokol měření GNSS

Příloha 21: Kalibrační list



ČVUT v Praze

Příloha 1: Protokol shodnostní transformace

[67] TRANSFORMACE SOUŘADNIC

=====

Identické body:

Bod I	I. Y	I. X	Bod II	II. y'	II. x'
309	683731.965	979482.427	309	5000.000	10109.284
311	683177.507	979706.483	311	5126.941	10693.663
535	683644.858	979526.633	535	5028.732	10202.652
537	683548.594	979676.424	537	5160.141	10322.833
539	683373.021	979797.932	539	5250.177	10516.450
541	683068.926	979620.275	541	5023.581	10786.065
542	682963.737	979617.988	542	5003.517	10889.350
545	682660.146	979894.260	545	5224.359	11235.349
548	682461.513	980142.793	548	5435.721	11473.172
549	682264.510	980126.562	549	5386.410	11664.578
552	682226.071	979738.432	552	4997.100	11637.043
553	682286.235	979665.348	553	4935.519	11565.082

Transformační parametry:

Typ transformace: Shodnostní (3 parametry)

Rotace : -310.8316

Měřítko : 1.000000000000 (0.0 mm/100m)

Souřadnice těžiště:

Soustava Y X

I. 682950.590 979749.630

II. 5131.017 10924.627

Souřadnicové opravy na identických bodech:

Bod	vY	vX
309	-0.011	-0.023
311	-0.022	-0.023
535	0.037	0.057
537	-0.032	-0.013
539	-0.029	-0.024
541	-0.034	-0.009
542	-0.032	-0.010
545	-0.014	0.023
548	-0.046	-0.022
549	-0.057	-0.064
552	0.285	0.157
553	-0.046	-0.050

Střední souřadnicová chyba klíče m0: 0.056



ČVUT v Praze

Příloha 2: Protokol jednostranně orientovaného polygonového pořadu

POLYGONOVÝ POŘAD

=====

Orientace osnovy na bodě 309:

Bod	Y	X	Z
-----	---	---	---

309	683731.965	979482.427	409.148
-----	------------	------------	---------

Orientace:

Bod	Y	X	Z
-----	---	---	---

534	683839.679	979463.943	407.083
-----	------------	------------	---------

Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.	m0	Red.
-----	----	---------	-------	-------	---------	---------	----	------

534	180.9951	110.8192	0.0000					
-----	----------	----------	--------	--	--	--	--	--

Orientační posun : 329.8241g

Koncový bod

Bod	Y	X	Z
-----	---	---	---

553	682286.235	979665.348	466.983
-----	------------	------------	---------

Naměřené hodnoty:

Bod	S zpět	S vpřed	Úhel	V úhlu
	Směrník	D vpřed	D zpět	D Dp - Dz

329.8241

309	0.0000	0.0002	0.0002	0.0000
-----	--------	--------	--------	--------

329.8243	97.689	97.689	97.689	0.000
----------	--------	--------	--------	-------

535	176.5600	399.9999	223.4399	0.0000
-----	----------	----------	----------	--------

353.2642	66.706	66.706	66.706	0.000
----------	--------	--------	--------	-------

4001	183.4756	399.9999	216.5243	0.0000
------	----------	----------	----------	--------

369.7885	112.781	112.781	112.781	0.000
----------	---------	---------	---------	-------

537	214.4992	0.0002	185.5010	0.0000
-----	----------	--------	----------	--------

355.2895	97.169	97.169	97.169	0.000
----------	--------	--------	--------	-------

4002	230.0123	399.9998	169.9875	0.0000
------	----------	----------	----------	--------

325.2770	122.349	122.349	122.349	0.000
----------	---------	---------	---------	-------

539	237.1173	399.9992	162.8819	0.0000
-----	----------	----------	----------	--------



ČVUT v Praze

288.1589 91.889 91.889 91.889 0.000

4003ex 227.3858 399.9999 172.6141 0.0000
260.7730 128.905 128.904 128.905 0.001

311 203.5142 0.0006 196.4864 0.0000
257.2594 138.642 138.641 138.642 0.001

541 158.6534 399.9990 241.3456 0.0000
298.6050 105.216 105.216 105.216 0.000

542 155.0806 0.0004 244.9198 0.0000
343.5248 121.842 121.842 121.842 0.000

4004 187.7819 399.9999 212.2180 0.0000
355.7428 146.947 146.947 146.947 0.000

4005 214.7546 399.9998 185.2452 0.0000
340.9880 143.888 143.888 143.888 0.000

545 195.2629 399.9996 204.7367 0.0000
345.7247 146.995 146.995 146.995 0.000

4006 171.5988 0.0002 228.4014 0.0000
374.1261 104.305 104.305 104.305 0.000

4007 218.3989 0.0010 181.6021 0.0000
355.7282 72.938 72.938 72.938 0.000

548 241.4318 0.0005 158.5687 0.0000
314.2969 105.423 105.423 105.423 0.000

4008ex 239.6879 399.9994 160.3115 0.0000
274.6084 102.238 102.238 102.238 0.000

549 248.9213 0.0000 151.0787 0.0000
225.6871 125.400 125.400 125.400 0.000

4009 212.0300 0.0001 187.9701 0.0000
213.6572 152.282 152.282 152.282 0.000

4010 234.8464 0.0002 165.1538 0.0000
178.8110 131.452 131.452 131.452 0.000

552 399.9999 177.0694 177.0695 0.0000
155.8805 94.713 94.713

553

Parametry polygonového pořadu:



ČVUT v Praze

Typ pořadu : Vetknutý, jednostranně orientovaný
Délka pořadu : 2409.768m
Odchylka Y/X : 0.001m / 0.253m
Polohová odchylka : 0.253m
Největší / nejmenší délka v pořadu : 152.282m/ 66.706m
Poměr největší / nejmenší délka : 1:2.28
Max. poměr sousedních délek : 1:1.69
Největší rozdíl 2x měřené délky : 0.001m
Nejmenší vrcholový úhel : 151.0787g

Vypočtené body:

Bod	Y	X
535	683644.801	979526.544
4001	683600.113	979576.076
537	683548.578	979676.410
4002	683485.808	979750.596
539	683372.977	979797.916
4003ex	683282.673	979780.926
311	683177.475	979706.442
541	683068.923	979620.213
542	682963.732	979617.908
4004	682869.274	979694.883
4005	682775.150	979807.746
545	682660.069	979894.132
4006	682549.387	979990.880
4007	682508.152	980086.704
548	682461.420	980142.713
4008ex	682358.645	980166.194
549	682264.432	980126.496
4009	682215.196	980011.185
4010	682182.777	979862.418
552	682225.726	979738.200



ČVUT v Praze

Příloha 3: Vyrovnané souřadnice, parametry elips chyb

Jednostranně orientovaný polygonový pořad							
Vyrovnané souřadnice				Charakteristiky přesnosti			
Bod	Y [m]	X [m]	Z [m]	a [mm]	b [mm]	α [gon]	σ_{xy} [mm]
535	683644,789	979526,543	411,054	2,1	1,1	130,3908	1,7
4001	683600,107	979576,073	412,477	3,0	1,9	142,9570	2,5
537	683548,586	979676,399	415,441	3,6	3,2	138,0021	3,4
4002	683485,828	979750,583	419,832	4,4	4,1	85,9637	4,3
539	683373,004	979797,913	421,727	5,6	4,6	51,4329	5,1
4003ex	683282,697	979780,934		6,3	4,8	38,8098	5,6
4003	682281,038	979780,147	424,072	6,3	4,7	45,0902	5,6
311	683177,486	979706,454	426,359	6,9	5,2	22,6043	6,1
541	683068,920	979620,229	431,152	7,3	5,7	9,2512	6,6
542	682963,729	979617,940	435,543	7,6	6,1	199,6675	6,9
4004	682869,284	979694,918	435,262	7,7	6,0	191,9084	6,9
4005	682775,178	979807,779	437,808	7,6	6,0	179,0253	6,8
545	682660,111	979894,170	441,604	7,3	6,0	155,8928	6,7
4006	682549,445	979990,921	445,304	7,6	5,7	128,6764	6,7
4007	682508,227	980086,737	448,863	8,5	5,3	119,4769	7,1
548	682461,505	980142,746	450,735	9,2	4,9	112,6772	7,4
4008ex	682358,733	980166,241		9,6	4,4	99,8664	7,4
4008	682360,197	980165,812	452,880	9,4	4,3	100,9501	7,3
549	682264,513	980126,553	455,190	9,1	4,0	87,7397	7,1
4009	682215,255	980011,232	458,143	7,4	3,5	77,5771	5,8
4010	682182,809	979862,447	462,353	5,1	2,9	57,6709	4,2
552	682225,734	979738,201	464,890	2,5	2,1	23,7446	2,3

Vetknutý polygonový pořad							
Vyrovnané souřadnice				Charakteristiky přesnosti			
Bod	Y [m]	X [m]	Z [m]	a [mm]	b [mm]	α [gon]	σ_{xy} [mm]
535	683644,789	979526,544	411,054	2,1	1,1	130,3916	1,7
4001	683600,108	979576,075	412,477	3,0	1,9	142,9577	2,5
537	683548,588	979676,401	415,441	3,6	3,2	138,0028	3,4
4002	683485,830	979750,585	419,832	4,4	4,1	85,9643	4,3
539	683373,006	979797,915	421,727	5,6	4,6	51,4332	5,1
4003ex	683282,699	979780,936		6,3	4,8	38,8101	5,6
4003	682281,038	979780,147	424,072	6,6	4,9	38,8107	5,7
311	683177,488	979706,456	426,359	6,9	5,2	22,6044	6,1
541	683068,922	979620,231	431,152	7,3	5,7	9,2513	6,6
542	682963,731	979617,943	435,543	7,6	6,1	199,6675	6,9
4004	682869,285	979694,920	435,262	7,7	6,0	191,9084	6,9
4005	682775,179	979807,781	437,808	7,6	6,0	179,0254	6,8
545	682660,112	979894,172	441,604	7,3	6,0	155,8929	6,7
4006	682549,446	979990,922	445,304	7,6	5,7	128,6765	6,7
4007	682508,227	980086,737	448,863	8,5	5,3	119,4769	7,1
548	682461,505	980142,746	450,735	9,2	4,9	112,6771	7,4
4008ex	682358,733	980166,241		9,6	4,4	99,8662	7,4
4008	682360,198	980165,813	452,880	9,5	4,5	99,8658	7,4
549	682264,513	980126,553	455,190	9,1	4,0	87,7396	7,1
4009	682215,255	980011,233	458,143	7,4	3,5	77,5769	5,8
4010	682182,809	979862,447	462,353	5,1	2,9	57,6705	4,2
552	682225,734	979738,202	464,890	2,5	2,1	23,7416	2,3



ČVUT v Praze

Příloha 4: Tabulka vyrovnaných hodnot

Vetknutý polygonový pořad				
Vyrovnaní vzdáleností				
Bod A	Bod B	Měřená [m]	Oprava [m]	Vyrovnaná [m]
309	535	97,689	0,0002	97,689
535	4001	66,706	0,0002	66,706
4001	537	112,781	0,0001	112,781
537	4002	97,169	0,0002	97,169
4002	539	122,349	0,0002	122,349
539	4003ex	91,889	0,0002	91,889
4003ex	311	128,905	0,0002	128,905
311	541	138,641	0,0002	138,641
541	542	105,216	0,0003	105,216
542	4004	121,842	0,0002	121,842
4004	4005	146,947	0,0002	146,947
4005	545	143,888	0,0002	143,888
545	4006	146,995	0,0002	146,995
4006	4007	104,305	0,0001	104,305
4007	548	72,938	0,0002	72,938
548	4008ex	105,423	0,0003	105,423
4008ex	549	102,238	0,0002	102,238
549	4009	125,400	0,0001	125,400
4009	4010	152,282	0,0000	152,282
4010	552	131,452	-0,0001	131,452
552	553	94,713	-0,0002	94,713
Vyrovnaní vrcholových levostranných úhlů				
Bod	Měřený [gon]	Oprava [gon]	Vyrovnaný [gon]	
535	223,4399	0,000017	223,4399	
4001	216,5243	0,000039	216,5243	
537	185,5010	0,000086	185,5011	
4002	169,9875	0,000119	169,9876	
539	162,8819	0,000135	162,8820	
4003ex	172,6141	0,000121	172,6142	
311	196,4864	0,000077	196,4865	
541	241,3456	0,000027	241,3456	
542	244,9198	0,000019	244,9198	
4004	212,2180	0,000052	212,2181	
4005	185,2452	0,000102	185,2453	
545	204,7367	0,000138	204,7368	
4006	228,4014	0,000180	228,4016	
4007	181,6021	0,000225	181,6023	
548	158,5687	0,000251	158,5690	
4008ex	160,3115	0,000256	160,3118	
549	151,0787	0,000230	151,0789	
4009	187,9701	0,000169	187,9703	
4010	165,1538	0,000092	165,1539	
552	177,0695	0,000033	177,0695	



Jednostranně orientovaný, oboustranně připojený polygonový pořad				
Vyrovnaní vzdáleností				
Bod A	Bod B	Měřená [m]	Oprava [m]	Vyrovnaná [m]
309	535	97,689	0,0002	97,689
535	4001	66,706	0,0002	66,706
4001	537	112,781	0,0002	112,781
537	4002	97,169	0,0002	97,169
4002	539	122,349	0,0002	122,349
539	4003ex	91,889	0,0002	91,889
4003ex	311	128,905	0,0001	128,905
311	541	138,641	0,0001	138,641
541	542	105,216	0,0002	105,216
542	4004	121,842	0,0002	121,842
4004	4005	146,947	0,0002	146,947
4005	545	143,888	0,0002	143,888
545	4006	146,995	0,0002	146,995
4006	4007	104,305	0,0001	104,305
4007	548	72,938	0,0002	72,938
548	4008ex	105,423	0,0002	105,423
4008ex	549	102,238	0,0002	102,238
549	4009	125,400	0,0000	125,400
4009	4010	152,282	0,0000	152,282
4010	552	131,452	-0,0001	131,452
552	553	94,713	-0,0002	94,713
Vyrovnaní vrcholových levostranných úhlů				
Bod	Měřený [gon]	Oprava [gon]	Vyrovnaný [gon]	
309	219,0051	0,000124	219,0052	
535	223,4399	0,000131	223,4400	
4001	216,5243	0,000145	216,5244	
537	185,5010	0,000179	185,5012	
4002	169,9875	0,000201	169,9877	
539	162,8819	0,000205	162,8821	
4003ex	172,6141	0,000185	172,6143	
311	196,4864	0,000140	196,4865	
541	241,3456	0,000090	241,3457	
542	244,9198	0,000074	244,9199	
4004	212,2180	0,000093	212,2181	
4005	185,2452	0,000126	185,2453	
545	204,7367	0,000146	204,7368	
4006	228,4014	0,000170	228,4016	
4007	181,6021	0,000204	181,6023	
548	158,5687	0,000221	158,5689	
4008ex	160,3115	0,000216	160,3117	
549	151,0787	0,000187	151,0789	
4009	187,9701	0,000133	187,9702	
4010	165,1538	0,000067	165,1539	
552	177,0695	0,000022	177,0695	



ČVUT v Praze

Příloha 5: Přesnost koncového bodu (Matlab)

```
clear
clc
format long G
%% Marousek Václav
% Výpočet přesnosti koncového bodu volného polygonového pořadu
x_1 = [11565.082; 4935.519];
x_2 = [10109.284; 5000; 10000; 5000];
%matice s daty
%body označené např (4008.1 4003.1) jsou excentrické
data =[552      0.0000      0.000      0.000      1.273
      4010     399.9999     131.452     -2.744     1.108
      553      177.0694      94.713      2.207     1.467

      4010      0.0000      0.000      0.000      1.155
      552      0.0002     131.452      2.727     1.303
      4009     234.8464     152.282     -4.202     1.164

      4009      0.0000      0.000      0.000      1.215
      4010      0.0001     152.282      4.101     1.105
      549     212.0300     125.400     -2.742     1.423

      549      0.0000      0.000      0.000      1.471
      4009      0.0000     125.400      2.644     1.165
      4008.1    248.9213     102.238     -2.190     1.584

      4008.1      0.0000      0.000      0.000      1.637
      549     399.9994     102.238      2.077     1.415
      548     239.6879     105.423     -2.283     1.507

      548      0.0000      0.000      0.000      1.558
      4008.1      0.0005     105.423      2.181     1.586
      4007     241.4318      72.938     -2.188     1.243

      4007      0.0000      0.000      0.000      1.296
      548      0.0010      72.938      2.083     1.506
      4006     218.3989     104.305     -3.645     1.207

      4006      0.0000      0.000      0.000      1.260
      4007      0.0002     104.305      3.535     1.240
      545     171.5988     146.995     -3.494     1.467

      545      0.0000      0.000      0.000      1.521
      4006     399.9996     146.995      3.388     1.208
      4005     195.2629     143.888     -3.883     1.435

      4005      0.0000      0.000      0.000      1.489
      545     399.9998     143.888      3.771     1.463
      4004     214.7546     146.947     -3.012     1.021

      4004      0.0000      0.000      0.000      1.070
      4005     399.9999     146.947      2.910     1.436
      542     187.7819     121.842      0.673     1.465

      542      0.0000      0.000      0.000      1.517
      4004      0.0004     121.842     -0.772     1.024
      541     155.0806     105.216     -4.715     1.194

      541      0.0000      0.000      0.000      1.249
      542     399.9990     105.216      4.605     1.462
      311     158.6534     138.641     -4.690     1.358

      311      0.0000      0.000      0.000      1.392
      541      0.0006     138.641      4.601     1.194
      4003.1    203.5142     128.904     -2.807     1.312

      4003.1      0.0000      0.000      0.000      1.367
      311     399.9999     128.905      2.688     1.334
      539     227.3858      91.889     -1.919     1.361

      539      0.0000      0.000      0.000      1.416
      4003.1     399.9992      91.889      1.802     1.312
      4002     237.1173     122.349     -1.698     1.615
```



ČVUT v Praze

4002	0.0000	0.000	0.000	1.670
539	399.9998	122.349	1.583	1.356
537	230.0123	97.169	-4.754	1.305
537	0.0000	0.000	0.000	1.363
4002	0.0002	97.169	4.644	1.618
4001	214.4992	112.781	-2.925	1.402
4001	0.0000	0.000	0.000	1.459
537	399.9999	112.781	2.813	1.308
535	183.4756	66.706	-1.654	1.224
535	0.0000	0.000	0.000	1.278
4001	399.9999	66.706	1.544	1.403
309	176.5600	97.689	-1.852	1.343
309	0.0000	0.000	0.000	1.401
535	0.0002	97.689	1.742	1.226
534	180.9951	109.284	-1.781	1.694];

```
size(data);
% rozdělení dat do vektorů na délky a úhly pro přehlednost
Si = data(:,3);
SMi = data(:,2)*pi/200;
Wi = [SMi(62)-SMi(63)+2*pi;SMi(59)-SMi(60);SMi(56)-SMi(57);SMi(53)-
SMi(54)+2*pi;SMi(50)-SMi(51);
SMi(47)-SMi(48);SMi(44)-SMi(45);SMi(41)-SMi(42)+2*pi;SMi(38)-SMi(39);SMi(35)-
SMi(36)+2*pi;SMi(32)-SMi(33);
SMi(29)-SMi(30);SMi(26)-SMi(27);SMi(23)-SMi(24)+2*pi;SMi(20)-
SMi(21)+2*pi;SMi(17)-SMi(18)+2*pi;SMi(14)-SMi(15);
SMi(11)-SMi(12)+2*pi;SMi(8)-SMi(9)+2*pi;SMi(5)-SMi(6)+2*pi;SMi(3)-SMi(2)+2*pi];
%vektor měření
L = [Si(62);Si(59);Si(56);Si(53);Si(50);Si(47);Si(44);Si(41);Si(38);Si(35);Si(32);
Si(29);Si(26);Si(23);Si(20);Si(17);Si(14);Si(11);Si(8);Si(5);Si(3);Wi];
size(L);
Ga = 200*pi/200;
%dosazení za vzdáleností a úhlů pro derivovace
S1 = L(1);
S2 = L(2);
S3 = L(3);
S4 = L(4);
S5 = L(5);
S6 = L(6);
S7 = L(7);
S8 = L(8);
S9 = L(9);
S10 = L(10);
S11 = L(11);
S12 = L(12);
S13 = L(13);
S14 = L(14);
S15 = L(15);
S16 = L(16);
S17 = L(17);
S18 = L(18);
S19 = L(19);
S20 = L(20);
S21 = L(21);
W1 = L(22);
W2 = L(23);
W3 = L(24);
W4 = L(25);
W5 = L(26);
W6 = L(27);
W7 = L(28);
W8 = L(29);
W9 = L(30);
W10 = L(31);
W11 = L(32);
W12 = L(33);
W13 = L(34);
W14 = L(35);
W15 = L(36);
W16 = L(37);
```




ČVUT v Praze

```
W17 = L(38);
W18 = L(39);
W19 = L(40);
W20 = L(41);
W21 = L(42);
```

```
syms s1 s2 s3 s4 s5 s6 s7 s8 s9 s10 s11 s12 s13 s14 s15 s16 s17 s18 s19 s20 s21 w1 w2
w3 w4 w5 w6 w7 w8 w9 w10 w11 w12 w13 w14 w15 w16 w17 w18 w19 w20 w21
%nelineární matematický model volného poygonového pořadu
F1 = ((s1*cos(Ga+w1-(400*pi/200)))+(s2*cos(Ga+w1+w2-
(600*pi/200)))+(s3*cos(Ga+w1+w2+w3-(800*pi/200)))+(s4*cos(Ga+w1+w2+w3+w4-
(1000*pi/200)))+(s5*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5-(1200*pi/200)))+...
(s6*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6-(1400*pi/200)))+(s7*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7-
(1600*pi/200)))+(s8*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8-
(1800*pi/200)))+(s9*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9-(2000*pi/200)))+...
(s10*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10-
(2200*pi/200)))+(s11*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11-
(2400*pi/200)))+(s12*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12-
(2600*pi/200)))+...
(s13*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13-
(2800*pi/200)))+(s14*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14-
(3000*pi/200)))+...
(s15*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15-
(3200*pi/200)))+(s16*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16-
(3400*pi/200)))+...
(s17*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17-
(3600*pi/200)))+(s18*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w1
7+w18-(3800*pi/200)))+...
(s19*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17+w18+w19-
(4000*pi/200)))+(s20*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w1
7+w18+w19+w20-(4200*pi/200)))+...

(s21*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17+w18+w19+w20+w2
1-(4400*pi/200)))-(x_1(1)-x_2(1));

F2 = ((s1*sin(Ga+w1-(400*pi/200)))+(s2*sin(Ga+w1+w2-
(600*pi/200)))+(s3*sin(Ga+w1+w2+w3-(800*pi/200)))+(s4*sin(Ga+w1+w2+w3+w4-
(1000*pi/200)))+(s5*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5-(1200*pi/200)))+...
(s6*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6-(1400*pi/200)))+(s7*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7-
(1600*pi/200)))+(s8*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8-
(1800*pi/200)))+(s9*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9-(2000*pi/200)))+...
(s10*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10-
(2200*pi/200)))+(s11*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11-
(2400*pi/200)))+(s12*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12-
(2600*pi/200)))+...
(s13*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13-
(2800*pi/200)))+(s14*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14-
(3000*pi/200)))+...
(s15*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15-
(3200*pi/200)))+(s16*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16-
(3400*pi/200)))+...
(s17*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17-
(3600*pi/200)))+(s18*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w1
7+w18-(3800*pi/200)))+...
(s19*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17+w18+w19-
(4000*pi/200)))+(s20*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w1
7+w18+w19+w20-(4200*pi/200)))+...

(s21*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17+w18+w19+w20+w2
1-(4400*pi/200)))-(x_1(2)-x_2(2));
%matice D (matice parciálních derivací symbolicky)
D1 = [diff(F1,s1) diff(F1,s2) diff(F1,s3) diff(F1,s4) diff(F1,s5) diff(F1,s6)
diff(F1,s7) diff(F1,s8) diff(F1,s9) diff(F1,s10) diff(F1,s11) diff(F1,s12)
diff(F1,s13) diff(F1,s14) diff(F1,s15) diff(F1,s16) diff(F1,s17) diff(F1,s18)
diff(F1,s19) diff(F1,s20) diff(F1,s21) diff(F1,w1) diff(F1,w2) diff(F1,w3)
diff(F1,w4) diff(F1,w5) diff(F1,w6) diff(F1,w7) diff(F1,w8) diff(F1,w9) diff(F1,w10)
diff(F1,w11) diff(F1,w12) diff(F1,w13) diff(F1,w14) diff(F1,w15) diff(F1,w16)
diff(F1,w17) diff(F1,w18) diff(F1,w19) diff(F1,w20) diff(F1,w21)
diff(F2,s1) diff(F2,s2) diff(F2,s3) diff(F2,s4) diff(F2,s5) diff(F2,s6)
diff(F2,s7) diff(F2,s8) diff(F2,s9) diff(F2,s10) diff(F2,s11) diff(F2,s12)
diff(F2,s13) diff(F2,s14) diff(F2,s15) diff(F2,s16) diff(F2,s17) diff(F2,s18)
diff(F2,s19) diff(F2,s20) diff(F2,s21) diff(F2,w1) diff(F2,w2) diff(F2,w3)
diff(F2,w4) diff(F2,w5) diff(F2,w6) diff(F2,w7) diff(F2,w8) diff(F2,w9) diff(F2,w10)
```



ČVUT v Praze

```
diff(F2,w11) diff(F2,w12) diff(F2,w13) diff(F2,w14) diff(F2,w15) diff(F2,w16)
diff(F2,w17) diff(F2,w18) diff(F2,w19) diff(F2,w20) diff(F2,w21)];
%matice D (číselně)
D =
subs(D1, {s1,s2,s3,s4,s5,s6,s7,s8,s9,s10,s11,s12,s13,s14,s15,s16,s17,s18,s19,s20,s21,w
1,w2,w3,w4,w5,w6,w7,w8,w9,w10,w11,w12,w13,w14,w15,w16,w17,w18,w19,w20,w21}, {S1,S2,S3,
S4,S5,S6,S7,S8,S9,S10,S11,S12,S13,S14,S15,S16,S17,S18,S19,S20,S21,W1,W2,W3,W4,W5,W6,W
7,W8,W9,W10,W11,W12,W13,W14,W15,W16,W17,W18,W19,W20,W21});

sig_d = 0.0015^2;
sig_u = (sqrt(2)*0.0003)*pi/200;
sig_U = sig_u^2;
%naplnění váhové matice
P = diag([sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d
sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U
sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U
sig_U sig_U]);
%Výpočet kovarianční matice
kov_mat = D*P*D';
%Výpočet směrodatných odchylek souřadnic X a Y
sm_odch = sqrt(diag(kov_mat))
%Výpočet směrodatné odchylky polohy bodu
sig_xy =sqrt(trace(kov_mat)/2)
```



ČVUT v Praze

Příloha 6: Vyrovnání vetknutého polygonového pořadu (Matlab skript)

```
clear
clc
format long G
%% Marousek Václav
% Vyrovnání vetknutého polygonového pořadu
% souřadnice bodu 553
x_2 = [682286.229; 979665.326];
% souřadnice bodu 309
x_1 = [683731.946; 979482.421];

% matice s daty
% body označené např (4008.1 4003.1) jsou excentrické
data = [552      0.0000      0.000      0.000      1.273
        4010    399.9999    131.452    -2.744      1.108
         553    177.0694     94.713     2.207      1.467
         4010      0.0000      0.000      0.000      1.155
         552      0.0002    131.452     2.727      1.303
         4009    234.8464    152.282    -4.202      1.164
         4009      0.0000      0.000      0.000      1.215
         4010      0.0001    152.282     4.101      1.105
          549    212.0300    125.400    -2.742      1.423
          549      0.0000      0.000      0.000      1.471
         4009      0.0000    125.400     2.644      1.165
        4008.1    248.9213    102.238    -2.190      1.584
        4008.1      0.0000      0.000      0.000      1.637
          549    399.9994    102.238     2.077      1.415
          548    239.6879    105.423    -2.283      1.507
          548      0.0000      0.000      0.000      1.558
        4008.1      0.0005    105.423     2.181      1.586
         4007    241.4318     72.938    -2.188      1.243
         4007      0.0000      0.000      0.000      1.296
          548      0.0010     72.938     2.083      1.506
         4006    218.3989    104.305    -3.645      1.207
         4006      0.0000      0.000      0.000      1.260
         4007      0.0002    104.305     3.535      1.240
          545    171.5988    146.995    -3.494      1.467
          545      0.0000      0.000      0.000      1.521
         4006    399.9996    146.995     3.388      1.208
         4005    195.2629    143.888    -3.883      1.435
         4005      0.0000      0.000      0.000      1.489
          545    399.9998    143.888     3.771      1.463
         4004    214.7546    146.947    -3.012      1.021
         4004      0.0000      0.000      0.000      1.070
         4005    399.9999    146.947     2.910      1.436
          542    187.7819    121.842     0.673      1.465
          542      0.0000      0.000      0.000      1.517
         4004      0.0004    121.842    -0.772      1.024
          541    155.0806    105.216    -4.715      1.194
          541      0.0000      0.000      0.000      1.249
          542    399.9990    105.216     4.605      1.462
          311    158.6534    138.641    -4.690      1.358
          311      0.0000      0.000      0.000      1.392
          541      0.0006    138.641     4.601      1.194
        4003.1    203.5142    128.904    -2.807      1.312
        4003.1      0.0000      0.000      0.000      1.367
          311    399.9999    128.905     2.688      1.334
          539    227.3858     91.889    -1.919      1.361
          539      0.0000      0.000      0.000      1.416
        4003.1    399.9992     91.889     1.802      1.312
         4002    237.1173    122.349    -1.698      1.615
         4002      0.0000      0.000      0.000      1.670
          539    399.9998    122.349     1.583      1.356
          537    230.0123     97.169    -4.754      1.305
          537      0.0000      0.000      0.000      1.363
         4002      0.0002     97.169     4.644      1.618
         4001    214.4992    112.781    -2.925      1.402
         4001      0.0000      0.000      0.000      1.459
          537    399.9999    112.781     2.813      1.308
          535    183.4756     66.706    -1.654      1.224
          535      0.0000      0.000      0.000      1.278
         4001    399.9999     66.706     1.544      1.403
          309    176.5600     97.689    -1.852      1.343
```



ČVUT v Praze

309	0.0000	0.000	0.000	1.401
535	0.0002	97.689	1.742	1.226
534	180.9951	109.284	-1.781	1.694];

```
size(data);
% rozdělení dat do vektorů na délky a úhly pro přehlednost
Si = data(:,3);
SMi = data(:,2)*pi/200;
Wi = [SMi(62)-SMi(63)+2*pi;
      SMi(59)-SMi(60)+2*pi;
      SMi(56)-SMi(57)+2*pi;
      SMi(53)-SMi(54)+2*pi;
      SMi(50)-SMi(51)+2*pi;
      SMi(47)-SMi(48)+2*pi;
      SMi(44)-SMi(45)+2*pi;
      SMi(41)-SMi(42)+2*pi;
      SMi(38)-SMi(39)+2*pi;
      SMi(35)-SMi(36)+2*pi;
      SMi(32)-SMi(33)+2*pi;
      SMi(29)-SMi(30)+2*pi;
      SMi(26)-SMi(27)+2*pi;
      SMi(23)-SMi(24)+2*pi;
      SMi(20)-SMi(21)+2*pi;
      SMi(17)-SMi(18)+2*pi;
      SMi(14)-SMi(15)+2*pi;
      SMi(11)-SMi(12)+2*pi;
      SMi(8)-SMi(9)+2*pi;
      SMi(5)-SMi(6)+2*pi;
      SMi(3)-SMi(2)];
%vektor měření
L = [Si(62);Si(59);Si(56);Si(53);Si(50);Si(47);Si(44);Si(41);Si(38);Si(35);Si(32);
      Si(29);Si(26);Si(23);Si(20);Si(17);Si(14);Si(11);Si(8);Si(5);Si(3);Wi];
size(L);
%výpočet úhlu stočení
sig_m = 397.1821;
sig_sjtsk = 308.0116;
gga = (sig_sjtsk-sig_m+400)*pi/200;
Ga = 0;
%dosazení za vzdáleností a úhlů pro derivovace
S1 = L(1);
S2 = L(2);
S3 = L(3);
S4 = L(4);
S5 = L(5);
S6 = L(6);
S7 = L(7);
S8 = L(8);
S9 = L(9);
S10 = L(10);
S11 = L(11);
S12 = L(12);
S13 = L(13);
S14 = L(14);
S15 = L(15);
S16 = L(16);
S17 = L(17);
S18 = L(18);
S19 = L(19);
S20 = L(20);
S21 = L(21);
W2 = L(23);
W3 = L(24);
W4 = L(25);
W5 = L(26);
W6 = L(27);
W7 = L(28);
W8 = L(29);
W9 = L(30);
W10 = L(31);
W11 = L(32);
W12 = L(33);
W13 = L(34);
W14 = L(35);
W15 = L(36);
W16 = L(37);
```



ČVUT v Praze

```
w17 = L(38);
w18 = L(39);
w19 = L(40);
w20 = L(41);
w21 = L(42);
L = [S1;S2;S3;S4;S5;S6;S7;S8;S9;S10;S11;S12;S13;S14;S15;S16;S17;S18;S19;S20;S21;W2-
2*pi;W3-2*pi;W4;W5-2*pi;W6-2*pi;W7-2*pi;W8;W9-2*pi;W10;W11-2*pi;W12-2*pi;W13-
2*pi;W14;W15;W16;W17-2*pi;W18;W19;W20;W21+2*pi];

f1 = (S1*cos(Ga)+(S2*cos(Ga+W2-(200*pi/200)))+(S3*cos(Ga+W2+W3-
(400*pi/200)))+(S4*cos(Ga+W2+W3+W4-(600*pi/200)))+(S5*cos(Ga+W2+W3+W4+W5-
(800*pi/200)))+...
(S6*cos(Ga+W2+W3+W4+W5+W6-(1000*pi/200)))+(S7*cos(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7-
(1200*pi/200)))+(S8*cos(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8-
(1400*pi/200)))+(S9*cos(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9-(1600*pi/200)))+...
(S10*cos(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10-
(1800*pi/200)))+(S11*cos(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11-
(2000*pi/200)))+(S12*cos(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12-(2200*pi/200)))+...
(S13*cos(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13-
(2400*pi/200)))+(S14*cos(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14-
(2600*pi/200)))+...
(S15*cos(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15-
(2800*pi/200)))+(S16*cos(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16-
(3000*pi/200)))+...
(S17*cos(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16+W17-
(3200*pi/200)))+(S18*cos(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16+W17+W
18-(3400*pi/200)))+...
(S19*cos(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16+W17+W18+W19-
(3600*pi/200)))+(S20*cos(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16+W17+W
18+W19+W20-(3800*pi/200)))+...

(S21*cos(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16+W17+W18+W19+W20+W21-
(4000*pi/200))));

f2 = (S1*sin(Ga)+(S2*sin(Ga+W2-(200*pi/200)))+(S3*sin(Ga+W2+W3-
(400*pi/200)))+(S4*sin(Ga+W2+W3+W4-(600*pi/200)))+(S5*sin(Ga+W2+W3+W4+W5-
(800*pi/200)))+...
(S6*sin(Ga+W2+W3+W4+W5+W6-(1000*pi/200)))+(S7*sin(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7-
(1200*pi/200)))+(S8*sin(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8-
(1400*pi/200)))+(S9*sin(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9-(1600*pi/200)))+...
(S10*sin(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10-
(1800*pi/200)))+(S11*sin(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11-
(2000*pi/200)))+(S12*sin(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12-(2200*pi/200)))+...
(S13*sin(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13-
(2400*pi/200)))+(S14*sin(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14-
(2600*pi/200)))+...
(S15*sin(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15-
(2800*pi/200)))+(S16*sin(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16-
(3000*pi/200)))+...
(S17*sin(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16+W17-
(3200*pi/200)))+(S18*sin(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16+W17+W
18-(3400*pi/200)))+...
(S19*sin(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16+W17+W18+W19-
(3600*pi/200)))+(S20*sin(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16+W17+W
18+W19+W20-(3800*pi/200)))+...

(S21*sin(Ga+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16+W17+W18+W19+W20+W21-
(4000*pi/200))));

dy = (x_2(1)-x_1(1));
dx = (x_2(2)-x_1(2));
s = sqrt(dx^2+dy^2);
S = sqrt(f1^2+f2^2);
%výpočet uzávěru
disp('Uzávěr')
u = S-s
disp('')
```

```
syms s1 s2 s3 s4 s5 s6 s7 s8 s9 s10 s11 s12 s13 s14 s15 s16 s17 s18 s19 s20 s21 w2 w3
w4 w5 w6 w7 w8 w9 w10 w11 w12 w13 w14 w15 w16 w17 w18 w19 w20 w21 ga
%nelineární matematický model vetknutého polygonového pořadu
%Ga = 0
```



ČVUT v Praze

```
F1 = (s1*cos(Ga)+(s2*cos(Ga+w2-(200*pi/200)))+(s3*cos(Ga+w2+w3-
(400*pi/200)))+(s4*cos(Ga+w2+w3+w4-(600*pi/200)))+(s5*cos(Ga+w2+w3+w4+w5-
(800*pi/200)))+...
(s6*cos(Ga+w2+w3+w4+w5+w6-(1000*pi/200)))+(s7*cos(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7-
(1200*pi/200)))+(s8*cos(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8-
(1400*pi/200)))+(s9*cos(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9-(1600*pi/200)))+...
(s10*cos(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10-
(1800*pi/200)))+(s11*cos(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11-
(2000*pi/200)))+(s12*cos(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12-(2200*pi/200)))+...
(s13*cos(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13-
(2400*pi/200)))+(s14*cos(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14-
(2600*pi/200)))+...
(s15*cos(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15-
(2800*pi/200)))+(s16*cos(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16-
(3000*pi/200)))+...
(s17*cos(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17-
(3200*pi/200)))+(s18*cos(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17+w
18-(3400*pi/200)))+...
(s19*cos(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17+w18+w19-
(3600*pi/200)))+(s20*cos(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17+w
18+w19+w20-(3800*pi/200)))+...

(s21*cos(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17+w18+w19+w20+w21-
(4000*pi/200))));
```

```
F2 = (s1*sin(Ga)+(s2*sin(Ga+w2-(200*pi/200)))+(s3*sin(Ga+w2+w3-
(400*pi/200)))+(s4*sin(Ga+w2+w3+w4-(600*pi/200)))+(s5*sin(Ga+w2+w3+w4+w5-
(800*pi/200)))+...
(s6*sin(Ga+w2+w3+w4+w5+w6-(1000*pi/200)))+(s7*sin(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7-
(1200*pi/200)))+(s8*sin(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8-
(1400*pi/200)))+(s9*sin(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9-(1600*pi/200)))+...
(s10*sin(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10-
(1800*pi/200)))+(s11*sin(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11-
(2000*pi/200)))+(s12*sin(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12-(2200*pi/200)))+...
(s13*sin(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13-
(2400*pi/200)))+(s14*sin(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14-
(2600*pi/200)))+...
(s15*sin(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15-
(2800*pi/200)))+(s16*sin(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16-
(3000*pi/200)))+...
(s17*sin(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17-
(3200*pi/200)))+(s18*sin(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17+w
18-(3400*pi/200)))+...
(s19*sin(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17+w18+w19-
(3600*pi/200)))+(s20*sin(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17+w
18+w19+w20-(3800*pi/200)))+...

(s21*sin(Ga+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17+w18+w19+w20+w21-
(4000*pi/200))));
```

```
%matice D (matice parciálních derivací symbolicky)
podm = sqrt(F1^2+F2^2);
D1 = [diff(podm,s1) diff(podm,s2) diff(podm,s3) diff(podm,s4) diff(podm,s5)
diff(podm,s6) diff(podm,s7) diff(podm,s8) diff(podm,s9) diff(podm,s10) diff(podm,s11)
diff(podm,s12) diff(podm,s13)...
diff(podm,s14) diff(podm,s15) diff(podm,s16) diff(podm,s17) diff(podm,s18)
diff(podm,s19) diff(podm,s20) diff(podm,s21) diff(podm,w2) diff(podm,w3)
diff(podm,w4) diff(podm,w5) diff(podm,w6)...
diff(podm,w7) diff(podm,w8) diff(podm,w9) diff(podm,w10) diff(podm,w11)
diff(podm,w12) diff(podm,w13) diff(podm,w14) diff(podm,w15) diff(podm,w16)
diff(podm,w17) diff(podm,w18) diff(podm,w19)...
diff(podm,w20) diff(podm,w21)];
```

```
%matice D (číselně)
D =
subs(D1, {s1,s2,s3,s4,s5,s6,s7,s8,s9,s10,s11,s12,s13,s14,s15,s16,s17,s18,s19,s20,s21,w
2,w3,w4,w5,w6,w7,w8,w9,w10,w11,w12,w13,w14,w15,w16,w17,w18,w19,w20,w21,ga}, {S1,S2,S3,
S4,S5,S6,S7,S8,S9,S10,S11,...
```

```
S12,S13,S14,S15,S16,S17,S18,S19,S20,S21,W2,W3,W4,W5,W6,W7,W8,W9,W10,W11,W12,W13,W14,W
15,W16,W17,W18,W19,W20,W21,Ga});
```

```
%apriorní střední chyba
G0 = 1;
%přesnost měření úhlů a délek
```



ČVUT v Praze

```
sig_d = G0/0.002^2;
sig_u = (sqrt(2)*0.0005)*pi/200;
sig_U = G0/sig_u^2;
%naplnění váhové matice
P = diag([sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d
sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d
sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U
sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U]);

v = -inv(P)*D'*inv(D*inv(P)*D')*u;
size(v);
%aposteriorní střední chyba
disp('Aposteriorní střední chyba')
sig_0 = sqrt((v'*P*v))
disp(' ')
% statistické rozborry
%chikvadrát intervala
ch_hor = chi2inv(0.975,1);
ch_dol = chi2inv(0.025,1);

if sig_0>ch_dol && sig_0<ch_hor
disp('sig_0 leží v intervalu pro CHI-KVADRÁT')
else
disp('sig_0 neleží v intervalu PRO CHI-KVADRÁT')
end

disp(' ')
%výpočet kovarianční matice
kov_mat = sig_0^2*inv(P)*D'*inv(D*inv(P)*D')*D*inv(P);
%homogenizované opravy
kov_mat = 1/2*(kov_mat+kov_mat');
[U,R] = eig(kov_mat);
for i=1:40
R(i,i)=0;
end
R(41,41) = 1/sqrt(R(41,41));
s_odm = U*R*U';
%homogenizované opravy
vv = s_odm*v;
%test homogenizovaných oprav s normálním rozdělením
norm_hor = norminv(0.975);
norm_dol = norminv(0.025);

disp('Testování homogenizovaných oprav')
disp(' ')
for i=1:41
if vv(i)>norm_dol && vv(i)<norm_hor

else
disp('Oprava neleží v intervalu normálního rozdělení')
end
end

%výpočet ul
disp(' ')
disp('Mezní uzávěr')
ul = 2*sig_0*sqrt(D*inv(P)*D')
disp(' ')
if u<=ul
disp('test uzávěrů proběhl v pořádku')
else
disp('test uzávěrů neproběhl v pořádku')
end
%% kontrolní výpočet uzávěru
%opravení hodnot měření
SS1 = S1+v(1);
SS2 = S2+v(2);
SS3 = S3+v(3);
SS4 = S4+v(4);
SS5 = S5+v(5);
SS6 = S6+v(6);
SS7 = S7+v(7);
```



ČVUT v Praze

SS8 = S8+v(8);
SS9 = S9+v(9);
SS10 = S10+v(10);
SS11 = S11+v(11);
SS12 = S12+v(12);
SS13 = S13+v(13);
SS14 = S14+v(14);
SS15 = S15+v(15);
SS16 = S16+v(16);
SS17 = S17+v(17);
SS18 = S18+v(18);
SS19 = S19+v(19);
SS20 = S20+v(20);
SS21 = S21+v(21);
WW2 = W2+v(22);
WW3 = W3+v(23);
WW4 = W4+v(24);
WW5 = W5+v(25);
WW6 = W6+v(26);
WW7 = W7+v(27);
WW8 = W8+v(28);
WW9 = W9+v(29);
WW10 = W10+v(30);
WW11 = W11+v(31);
WW12 = W12+v(32);
WW13 = W13+v(33);
WW14 = W14+v(34);
WW15 = W15+v(35);
WW16 = W16+v(36);
WW17 = W17+v(37);
WW18 = W18+v(38);
WW19 = W19+v(39);
WW20 = W20+v(40);
WW21 = W21+v(41);

%opětovný výpočet souřadnicových rozdílů

f11 = (SS1*cos(Ga)+(SS2*cos(Ga+WW2-(200*pi/200)))+(SS3*cos(Ga+WW2+WW3-(400*pi/200)))+(SS4*cos(Ga+WW2+WW3+WW4-(600*pi/200)))+(SS5*cos(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5-(800*pi/200)))+...
(SS6*cos(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6-(1000*pi/200)))+(SS7*cos(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7-(1200*pi/200)))+(SS8*cos(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8-(1400*pi/200)))+(SS9*cos(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9-(1600*pi/200)))+...
(SS10*cos(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10-(1800*pi/200)))+(SS11*cos(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11-(2000*pi/200)))+(SS12*cos(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12-(2200*pi/200)))+...
(SS13*cos(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13-(2400*pi/200)))+(SS14*cos(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14-(2600*pi/200)))+...
(SS15*cos(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14+WW15-(2800*pi/200)))+(SS16*cos(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14+WW15+WW16-(3000*pi/200)))+...

(SS17*cos(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14+WW15+WW16+WW17-(3200*pi/200)))+(SS18*cos(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14+WW15+WW16+WW17+WW18-(3400*pi/200)))+...

(SS19*cos(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14+WW15+WW16+WW17+WW18+WW19-(3600*pi/200)))+(SS20*cos(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14+WW15+WW16+WW17+WW18+WW19+WW20-(3800*pi/200)))+...

(SS21*cos(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14+WW15+WW16+WW17+WW18+WW19+WW20+WW21-(4000*pi/200))));

f22 = (SS1*sin(Ga)+(SS2*sin(Ga+WW2-(200*pi/200)))+(SS3*sin(Ga+WW2+WW3-(400*pi/200)))+(SS4*sin(Ga+WW2+WW3+WW4-(600*pi/200)))+(SS5*sin(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5-(800*pi/200)))+...
(SS6*sin(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6-(1000*pi/200)))+(SS7*sin(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7-(1200*pi/200)))+(SS8*sin(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8-(1400*pi/200)))+(SS9*sin(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9-(1600*pi/200)))+...



ČVUT v Praze

```
(SS10*sin(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10-
(1800*pi/200)))+(SS11*sin(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11-
(2000*pi/200)))+(SS12*sin(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12-
(2200*pi/200)))+...
(SS13*sin(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13-
(2400*pi/200)))+(SS14*sin(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14
-(2600*pi/200)))+...
(SS15*sin(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14+WW15-
(2800*pi/200)))+(SS16*sin(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14
+WW15+WW16-(3000*pi/200)))+...

(SS17*sin(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14+WW15+WW16+WW17-
(3200*pi/200)))+(SS18*sin(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14
+WW15+WW16+WW17+WW18-(3400*pi/200)))+...

(SS19*sin(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14+WW15+WW16+WW17+
WW18+WW19-
(3600*pi/200)))+(SS20*sin(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14
+WW15+WW16+WW17+WW18+WW19+WW20-(3800*pi/200)))+...

(SS21*sin(Ga+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14+WW15+WW16+WW17+
WW18+WW19+WW20+WW21-(4000*pi/200)));

ss = sqrt(dx^2+dy^2);
SS = sqrt(f11^2+f22^2);
%kontrolní uzávěr
disp(' ')
disp('Kontrolní uzávěr')
uu = SS-ss

%Výpočet kovarianční matice souřadnic
LL =
[SS1;SS2;SS3;SS4;SS5;SS6;SS7;SS8;SS9;SS10;SS11;SS12;SS13;SS14;SS15;SS16;SS17;SS18;SS1
9;SS20;SS21;0;WW2;WW3;WW4;WW5;WW6;WW7;WW8;WW9;WW10;WW11;WW12;WW13;WW14;WW15;WW16;WW17
;WW18;WW19;WW20;WW21];
n = 22;
%Výpočet vyrovnaných souřadnicových rozdílů

Ga = atan2((f11*dy-f22*dx),(f11*dx+f22*dy));

if Ga < 0
    Ga = Ga+2*pi;
end

for i = 1:(n-1)
    dX(i) = LL(i)*cos(Ga+sum(LL(n:(i+n-1)))-(i-1)*pi);
    dY(i) = LL(i)*sin(Ga+sum(LL(n:(i+n-1)))-(i-1)*pi);
end

%Výpočet souřadnic
X(1) = x_1(2);
Y(1) = x_1(1);
X(2) = x_1(2)+dX(1);
Y(2) = x_1(1)+dY(1);

for i = 2:(n-1)
    X(i+1) = X(i)+dX(i);
    Y(i+1) = Y(i)+dY(i);
end

sour = [Y' X']

kovLL = sig_0^2*(inv(P)-inv(P)*D'*inv(D*inv(P)*D')*D*inv(P));

F = zeros((2*(n-2)),(2*n-3));
for i = 2:2:(2*(n-2))
    for k = 1:(i/2)
        F(i-1,k) = dX(k)/LL(k);
        F(i,k) = dY(k)/LL(k);
        F((i-1),(k+n-1)) = -sum(dY(k:(i/2)));
        F((i),(k+n-1)) = sum(dX(k:(i/2)));
    end
end
```



ČVUT v Praze

```
end
% F = F';
% F = [F(1:21,:);F(22:41,:)];

kovX = F*kovLL*F';
kovX = 0.5*(kovX+kovX');
a_elipsa = [];
b_elipsa = [];
alfa_elipsa = [];
LL =
[SS1;SS2;SS3;SS4;SS5;SS6;SS7;SS8;SS9;SS10;SS11;SS12;SS13;SS14;SS15;SS16;SS17;SS18;SS1
9;SS20;SS21;WW2-2*pi;WW3-2*pi;WW4;WW5-2*pi;WW6-2*pi;WW7-2*pi;WW8;WW9-2*pi;WW10;WW11-
2*pi;WW12-2*pi;WW13-2*pi;WW14;WW15;WW16;WW17-2*pi;WW18;WW19;WW20;WW21+2*pi];
for i = 2:2:(2*(n-2))
    %souřadnicové odchylky bodů
    sigmaXY(i/2) = sqrt((kovX(i-1,i-1)+kovX(i,i))/2);
    %výpočet parametrů elips chyb
    sub = [kovX(i-1,i-1), kovX(i-1,i); kovX(i,i-1), kovX(i,i)];
    ab_elipsa = sqrt(eig(sub));
    a_elipsa = [a_elipsa, ab_elipsa(2)];
    b_elipsa = [b_elipsa, ab_elipsa(1)];
    alfa_elipsa = [alfa_elipsa, atan2((2*sub(1,2)),(sub(1,1)-sub(2,2)))];
end
for i = 1:(n-2)
    if alfa_elipsa(i) < 0
        alfa_elipsa(i) = alfa_elipsa(i)+2*pi;
    end
end

elipsy = [a_elipsa' b_elipsa' ((alfa_elipsa')/2)*200/pi]
vyrovnan_vel = [L, v, LL];
vyr = [vyrovnan_vel(1:21,:);vyrovnan_vel(22:41,:)*200/pi]
sig_xy = sigmaXY'
```



ČVUT v Praze

Příloha 7: Protokol vyrovnání vetknutého polygonového pořadu (Groma)

POLOHOVÉ VYROVNÁNÍ SÍŤ

=====

Lokalita: liberec-jablonec

Datum :

Etapa :

MĚŘENÉ SMĚRY:

=====

Stanovisko: 311

Cíl	Směr	m [cc]	váha
-----	------	--------	------

541	0.00060	5.00	0.0400
-----	---------	------	--------

4003ex	203.51418	5.00	0.0400
--------	-----------	------	--------

Stanovisko: 535

Cíl	Směr	m [cc]	váha
-----	------	--------	------

309	176.55997	5.00	0.0400
-----	-----------	------	--------

4001	399.99990	5.00	0.0400
------	-----------	------	--------

Stanovisko: 537

Cíl	Směr	m [cc]	váha
-----	------	--------	------

4002	0.00020	5.00	0.0400
------	---------	------	--------

4001	214.49920	5.00	0.0400
------	-----------	------	--------

Stanovisko: 539

Cíl	Směr	m [cc]	váha
-----	------	--------	------

4002	237.11730	5.00	0.0400
------	-----------	------	--------

4003ex	399.99920	5.00	0.0400
--------	-----------	------	--------

Stanovisko: 541

Cíl	Směr	m [cc]	váha
-----	------	--------	------

311	158.65344	5.00	0.0400
-----	-----------	------	--------

542	399.99903	5.00	0.0400
-----	-----------	------	--------

Stanovisko: 542

Cíl	Směr	m [cc]	váha
-----	------	--------	------

4004	0.00040	5.00	0.0400
------	---------	------	--------



ČVUT v Praze

541 155.08062 5.00 0.0400

Stanovisko: 545

Cíl Směr m [cc] váha

4005 195.26295 5.00 0.0400

4006 399.99962 5.00 0.0400

Stanovisko: 548

Cíl Směr m [cc] váha

4008ex 0.00051 5.00 0.0400

4007 241.43180 5.00 0.0400

Stanovisko: 549

Cíl Směr m [cc] váha

4009 0.00001 5.00 0.0400

4008ex 248.92128 5.00 0.0400

Stanovisko: 552

Cíl Směr m [cc] váha

553 177.06940 5.00 0.0400

4010 399.99986 5.00 0.0400

Stanovisko: 4001

Cíl Směr m [cc] váha

535 183.47562 5.00 0.0400

537 399.99993 5.00 0.0400

Stanovisko: 4002

Cíl Směr m [cc] váha

537 230.01226 5.00 0.0400

539 399.99980 5.00 0.0400

Stanovisko: 4004

Cíl Směr m [cc] váha

542 187.78187 5.00 0.0400

4005 399.99992 5.00 0.0400



ČVUT v Praze

Stanovisko: 4005

Cíl	Směr	m [cc]	váha
-----	------	--------	------

4004	214.75460	5.00	0.0400
545	399.99980	5.00	0.0400

Stanovisko: 4006

Cíl	Směr	m [cc]	váha
-----	------	--------	------

4007	0.00021	5.00	0.0400
545	171.59878	5.00	0.0400

Stanovisko: 4007

Cíl	Směr	m [cc]	váha
-----	------	--------	------

548	0.00098	5.00	0.0400
4006	218.39887	5.00	0.0400

Stanovisko: 4009

Cíl	Směr	m [cc]	váha
-----	------	--------	------

4010	0.00014	5.00	0.0400
549	212.03003	5.00	0.0400

Stanovisko: 4010

Cíl	Směr	m [cc]	váha
-----	------	--------	------

552	0.00022	5.00	0.0400
4009	234.84642	5.00	0.0400

Stanovisko: 4003ex

Cíl	Směr	m [cc]	váha
-----	------	--------	------

4003	11.02640	5.00	0.0400
539	227.38577	5.00	0.0400
311	399.99987	5.00	0.0400

Stanovisko: 4008ex

Cíl	Směr	m [cc]	váha
-----	------	--------	------

548	239.68787	5.00	0.0400
4008	243.53503	5.00	0.0400



ČVUT v Praze

549 399.99942 5.00 0.0400

PARAMETRY SÍTĚ:

=====

Počet bodů v síti : 24
Počet bodů, na nichž jsou měřeny směry: 20
Počet měřených délek : 23
Počet měřených směrů : 42
Způsob připojení sítě : Vázaná síť, v matici A je vynecháno 4 sloupců.

VYROVNANÉ DÉLKY:

=====

Stanovisko: 309

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

535	97.6887	0.23	1.89	
-----	---------	------	------	--

Stanovisko: 311

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

541	138.6417	0.17	1.90	
-----	----------	------	------	--

Stanovisko: 535

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

4001	66.7065	0.19	1.90	
------	---------	------	------	--

Stanovisko: 537

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

4002	97.1693	0.18	1.90	
------	---------	------	------	--

Stanovisko: 539

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

4003ex	91.8892	0.23	1.89	
--------	---------	------	------	--

Stanovisko: 541

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

542	105.2161	0.24	1.89	
-----	----------	------	------	--

Stanovisko: 542



ČVUT v Praze

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

4004	121.8426	0.21	1.90
------	----------	------	------

Stanovisko: 545

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

4006	146.9957	0.20	1.90
------	----------	------	------

Stanovisko: 548

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

4008ex	105.4230	0.25	1.89
--------	----------	------	------

Stanovisko: 549

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

4009	125.4003	0.07	1.91
------	----------	------	------

Stanovisko: 552

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

553	94.7126	-0.18	1.90
-----	---------	-------	------

Stanovisko: 4001

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

537	112.7807	0.14	1.90
-----	----------	------	------

Stanovisko: 4002

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

539	122.3490	0.24	1.89
-----	----------	------	------

Stanovisko: 4004

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

4005	146.9473	0.18	1.90
------	----------	------	------

Stanovisko: 4005

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]



ČVUT v Praze

545 143.8878 0.21 1.90

Stanovisko: 4006

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

4007 104.3054 0.13 1.90

Stanovisko: 4007

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

548 72.9378 0.18 1.90

Stanovisko: 4009

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

4010 152.2824 0.02 1.91

Stanovisko: 4010

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

552 131.4524 -0.10 1.91

Stanovisko: 4003ex

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

311 128.9047 0.18 1.90

4003 1.8373 0.00 1.91

Stanovisko: 4008ex

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

549 102.2383 0.21 1.90

4008 1.5279 1.61 1.91

Průměrná střední chyba vyrovnané délky [mm]: 1.90

VYROVNANÉ SMĚRY:

=====

Stanovisko: 311

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
	[g]	[cc]	[cc]	[cc]

541 0.00064 0.37 4.76



ČVUT v Praze

4003ex 203.51414 -0.37 4.76

Stanovisko: 535

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

309 176.55996 -0.08 4.77

4001 399.99991 0.08 4.77

Stanovisko: 537

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

4002 0.00024 0.41 4.75

4001 214.49916 -0.41 4.75

Stanovisko: 539

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

4002 237.11724 -0.65 4.73

4003ex 399.99926 0.65 4.73

Stanovisko: 541

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

311 158.65343 -0.13 4.77

542 399.99904 0.13 4.77

Stanovisko: 542

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

4004 0.00041 0.09 4.77

541 155.08061 -0.09 4.77

Stanovisko: 545

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

4005 195.26288 -0.66 4.73

4006 399.99969 0.66 4.73

Stanovisko: 548

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

4008ex 0.00063 1.19 4.62

4007 241.43168 -1.19 4.62



ČVUT v Praze

Stanovisko: 549

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

4009	0.00012	1.09	4.64
4008ex	248.92117	-1.09	4.64

Stanovisko: 552

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

553	177.06942	0.17	4.77
4010	399.99984	-0.17	4.77

Stanovisko: 4001

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

535	183.47560	-0.19	4.77
537	399.99995	0.19	4.77

Stanovisko: 4002

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

537	230.01220	-0.57	4.74
539	399.99986	0.57	4.74

Stanovisko: 4004

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

542	187.78185	-0.25	4.76
4005	399.99994	0.25	4.76

Stanovisko: 4005

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

4004	214.75455	-0.49	4.75
545	399.99985	0.49	4.75

Stanovisko: 4006

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

4007	0.00030	0.86	4.69
545	171.59869	-0.86	4.69



ČVUT v Praze

Stanovisko: 4007

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

548	0.00109	1.07	4.65	
4006	218.39876	-1.07	4.65	

Stanovisko: 4009

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

4010	0.00022	0.80	4.70	
549	212.02995	-0.80	4.70	

Stanovisko: 4010

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

552	0.00026	0.44	4.75	
4009	234.84638	-0.44	4.75	

Stanovisko: 4003ex

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

4003	11.02530	-11.02	4.77	
539	227.38626	4.93	4.74	335.39
311	400.00048	6.09	4.74	413.90

Stanovisko: 4008ex

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

548	239.64452	-433.46	4.61	-6614.67
4008	243.62148	864.47	4.77	1146924827189135.50
549	399.95632	-431.02	4.61	-6577.43

Průměrná střední chyba vyrovnaného směru [cc]: 4.73

VÝSLEDKY VYROVNÁNÍ:

=====

Počet nadbytečných měření : 1
Základní střední chyba m_0 apriorní [cc]: 1.00
Základní střední chyba m_0 aposteriorní [cc]: 0.95
 m_0 aposteriorní / m_0 apriorní : 0.95
Interval spolehlivosti : 0.00 - 2.41

VYROVNANÉ SOUŘADNICE:

=====

Bod	Y	X	my	mx	my
-----	---	---	----	----	----



ČVUT v Praze

[mm] [mm] [mm]

311	683177.4890	979706.4562	5.90	7.72	6.87	9.71
535	683644.7893	979526.5436	1.94	2.19	2.07	2.92
537	683548.5882	979676.4002	4.28	4.34	4.31	6.10
539	683373.0064	979797.9143	6.01	6.41	6.21	8.78
541	683068.9225	979620.2308	6.15	8.04	7.16	10.12
542	682963.7313	979617.9425	6.30	8.09	7.25	10.25
545	682660.1127	979894.1719	6.00	6.60	6.31	8.92
548	682461.5058	980142.7471	8.00	4.72	6.56	9.28
549	682264.5135	980126.5543	7.93	3.81	6.22	8.80
552	682225.7340	979738.2015	1.86	2.12	2.00	2.83
4001	683600.1078	979576.0745	2.84	3.31	3.08	4.36
4002	683485.8300	979750.5842	5.35	5.25	5.30	7.49
4003	683281.0393	979780.1484	6.26	7.18	6.73	9.52
4004	682869.2854	979694.9204	6.06	7.90	7.04	9.96
4005	682775.1795	979807.7813	5.86	7.42	6.69	9.46
4006	682549.4465	979990.9227	6.47	5.71	6.10	8.63
4007	682508.2278	980086.7384	7.27	5.24	6.33	8.96
4008	682360.1995	980165.8094	8.63	4.00	6.73	9.51
4009	682215.2558	980011.2335	6.23	3.65	5.10	7.22
4010	682182.8090	979862.4479	3.89	3.44	3.67	5.19
4003ex	683282.6994	979780.9357	6.02	7.12	6.59	9.32
4008ex	682358.7342	980166.2423	8.44	3.96	6.59	9.32

Střední souřadnicová chyba mxy [mm]: 5.89

Stopa kovarianční matice vyrovnaných souřadnic : 1678.390299
Stopa kovarianční matice vyrovnaných souřadnic (kont.): 1678.390299
Norma kovarianční matice vyrovnaných souřadnic : 959.918091
Maximální vlastní číslo : 742.513089
Minimální vlastní číslo : 0.703756
Rozdíl maximálního a minimálního vlastního čísla : 741.809333

VYROVNANÉ SMĚRNÍKY A DÉLKY:

=====

Stanovisko: 309

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
	[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]

Stanovisko: 311

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
	[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]

541	257.26975	8.04	138.6417	1.90	1.91	1.74	13.71
4003ex	60.78326	8.54	128.9047		1.91	1.72	14.74



ČVUT v Praze

Stanovisko: 535

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]	

4001	353.27393	13.15	66.7065	1.90	1.63	1.69	28.47
------	-----------	-------	---------	------	------	------	-------

Stanovisko: 537

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]	

4001	169.79828	11.86	112.7807		2.08	1.93	16.88
4002	355.29936	10.79	97.1693	1.90	1.77	1.79	19.55

Stanovisko: 539

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]	

4002	125.28702	9.88	122.3490		1.88	1.91	15.48
4003ex	288.16904	9.18	91.8892	1.89	1.89	1.33	20.61

Stanovisko: 541

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]	

311	57.26975	8.04	138.6417		1.91	1.74	13.71
542	298.61537	7.84	105.2161	1.89	1.89	1.30	17.99

Stanovisko: 542

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]	

541	98.61537	7.84	105.2161		1.89	1.30	17.99
4004	343.53517	8.04	121.8426	1.90	1.81	1.64	15.57

Stanovisko: 545

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]	

4005	140.99857	9.40	143.8878		2.04	1.99	13.18
4006	345.73537	10.33	146.9957	1.90	2.20	2.11	12.91

Stanovisko: 548

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]	



ČVUT v Praze

4007	155.73930	11.69	72.9378	1.67	1.61	26.05	
4008ex	314.30824	11.71	105.4230	1.89	1.94	1.89	17.95

Stanovisko: 549

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]
4009	225.69899	11.25	125.4003	1.91	2.19	1.94	15.21
4008ex	74.62004	11.47	102.2383	1.84	1.90	18.55	

Stanovisko: 552

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]
553	155.89272	14.05	94.7126	1.90	1.86	2.12	20.06
4010	378.82315	12.56	131.4524	2.45	2.09	14.50	

Stanovisko: 4001

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]
535	153.27393	13.15	66.7065	1.63	1.69	28.47	
537	369.79828	11.86	112.7807	1.90	2.08	1.93	16.88

Stanovisko: 4002

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]
537	155.29936	10.79	97.1693	1.77	1.79	19.55	
539	325.28702	9.88	122.3490	1.89	1.88	1.91	15.48

Stanovisko: 4004

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]
542	143.53517	8.04	121.8426	1.81	1.64	15.57	
4005	355.75327	8.60	146.9473	1.90	2.02	1.86	12.93

Stanovisko: 4005

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]
545	340.99857	9.40	143.8878	1.90	2.04	1.99	13.18



ČVUT v Praze

4004 155.75327 8.60 146.9473 2.02 1.86 12.93

Stanovisko: 4006

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]

545	145.73537	10.33	146.9957		2.20	2.11	12.91
4007	374.13697	11.21	104.3054	1.90	1.91	1.83	18.26

Stanovisko: 4007

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]

548	355.73930	11.69	72.9378	1.90	1.67	1.61	26.05
4006	174.13697	11.21	104.3054		1.91	1.83	18.26

Stanovisko: 4009

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]

549	25.69899	11.25	125.4003		2.19	1.94	15.21
4010	213.66926	11.50	152.2824	1.91	2.74	1.92	12.53

Stanovisko: 4010

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]

552	178.82315	12.56	131.4524	1.91	2.45	2.09	14.50
4009	13.66926	11.50	152.2824		2.74	1.92	12.53

Stanovisko: 4003ex

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]

311	260.78326	8.54	128.9047	1.90	1.91	1.72	14.74
539	88.16904	9.18	91.8892		1.89	1.33	20.61
4003	271.80808	10.01	1.8373	1.91	1.72	0.82	1038.76

Stanovisko: 4008ex

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]

548	114.30824	11.71	105.4230		1.94	1.89	17.95
549	274.62004	11.47	102.2383	1.90	1.84	1.90	18.55
4008	118.28520	38.78	1.5279	1.91	1.85	0.46	1247.79



ČVUT v Praze

Příloha 8: Vyrovnání jednostranně orientovaného polygonového pořadu (Matlab

skript)

```
clear
clc
format long G
%% Marousek Václav
% Výpočet jednostranně orientovaného polygonového pořadu
x_1 = [979665.326; 682286.229];
x_2 = [979482.421; 683731.946; 979463.922; 683839.656];
%matice s daty
%body označené např (4008.1 4003.1) jsou excentrické
data =[552      0.0000      0.000      0.000      1.273
4010      399.9999      131.452      -2.744      1.108
 553      177.0694      94.713      2.207      1.467
4010      0.0000      0.000      0.000      1.155
 552      0.0002      131.452      2.727      1.303
4009      234.8464      152.282      -4.202      1.164
4009      0.0000      0.000      0.000      1.215
4010      0.0001      152.282      4.101      1.105
 549      212.0300      125.400      -2.742      1.423
 549      0.0000      0.000      0.000      1.471
4009      0.0000      125.400      2.644      1.165
4008.1      248.9213      102.238      -2.190      1.584
4008.1      0.0000      0.000      0.000      1.637
 549      399.9994      102.238      2.077      1.415
 548      239.6879      105.423      -2.283      1.507
 548      0.0000      0.000      0.000      1.558
4008.1      0.0005      105.423      2.181      1.586
4007      241.4318      72.938      -2.188      1.243
4007      0.0000      0.000      0.000      1.296
 548      0.0010      72.938      2.083      1.506
4006      218.3989      104.305      -3.645      1.207
4006      0.0000      0.000      0.000      1.260
4007      0.0002      104.305      3.535      1.240
 545      171.5988      146.995      -3.494      1.467
 545      0.0000      0.000      0.000      1.521
4006      399.9996      146.995      3.388      1.208
4005      195.2629      143.888      -3.883      1.435
4005      0.0000      0.000      0.000      1.489
 545      399.9998      143.888      3.771      1.463
4004      214.7546      146.947      -3.012      1.021
4004      0.0000      0.000      0.000      1.070
4005      399.9999      146.947      2.910      1.436
 542      187.7819      121.842      0.673      1.465
 542      0.0000      0.000      0.000      1.517
4004      0.0004      121.842      -0.772      1.024
 541      155.0806      105.216      -4.715      1.194
 541      0.0000      0.000      0.000      1.249
 542      399.9990      105.216      4.605      1.462
 311      158.6534      138.641      -4.690      1.358
 311      0.0000      0.000      0.000      1.392
 541      0.0006      138.641      4.601      1.194
4003.1      203.5142      128.904      -2.807      1.312
4003.1      0.0000      0.000      0.000      1.367
 311      399.9999      128.905      2.688      1.334
 539      227.3858      91.889      -1.919      1.361
 539      0.0000      0.000      0.000      1.416
4003.1      399.9992      91.889      1.802      1.312
4002      237.1173      122.349      -1.698      1.615
4002      0.0000      0.000      0.000      1.670
 539      399.9998      122.349      1.583      1.356
 537      230.0123      97.169      -4.754      1.305
 537      0.0000      0.000      0.000      1.363
4002      0.0002      97.169      4.644      1.618
4001      214.4992      112.781      -2.925      1.402
4001      0.0000      0.000      0.000      1.459
 537      399.9999      112.781      2.813      1.308
 535      183.4756      66.706      -1.654      1.224
 535      0.0000      0.000      0.000      1.278
4001      399.9999      66.706      1.544      1.403
 309      176.5600      97.689      -1.852      1.343
```




ČVUT v Praze

309	0.0000	0.000	0.000	1.401
535	0.0002	97.689	1.742	1.226
534	180.9951	109.284	-1.781	1.694];

```
size(data);
% rozdělení dat do vektorů na délky a úhly pro přehlednost
Si = data(:,3);
SMi = data(:,2)*pi/200;
Wi = [SMi(62)-SMi(63)+2*pi;
      SMi(59)-SMi(60)+2*pi;SMi(56)-SMi(57)+2*pi;SMi(53)-SMi(54)+2*pi;SMi(50)-
      SMi(51)+2*pi;
      SMi(47)-SMi(48)+2*pi;SMi(44)-SMi(45)+2*pi;SMi(41)-SMi(42)+2*pi;SMi(38)-
      SMi(39)+2*pi;SMi(35)-SMi(36)+2*pi;SMi(32)-SMi(33)+2*pi;
      SMi(29)-SMi(30)+2*pi;SMi(26)-SMi(27)+2*pi;SMi(23)-SMi(24)+2*pi;SMi(20)-
      SMi(21)+2*pi;SMi(17)-SMi(18)+2*pi;SMi(14)-SMi(15)+2*pi;
      SMi(11)-SMi(12)+2*pi;SMi(8)-SMi(9)+2*pi;SMi(5)-SMi(6)+2*pi;SMi(3)-SMi(2)];
%vektor měření
L = [Si(62);Si(59);Si(56);Si(53);Si(50);Si(47);Si(44);Si(41);Si(38);Si(35);Si(32);
     Si(29);Si(26);Si(23);Si(20);Si(17);Si(14);Si(11);Si(8);Si(5);Si(3);Wi];
size(L);
Ga = 110.8282*pi/200;
%dosazení za vzdáleností a úhlů pro derivovace
S1 = L(1);
S2 = L(2);
S3 = L(3);
S4 = L(4);
S5 = L(5);
S6 = L(6);
S7 = L(7);
S8 = L(8);
S9 = L(9);
S10 = L(10);
S11 = L(11);
S12 = L(12);
S13 = L(13);
S14 = L(14);
S15 = L(15);
S16 = L(16);
S17 = L(17);
S18 = L(18);
S19 = L(19);
S20 = L(20);
S21 = L(21);
W1 = L(22);
W2 = L(23);
W3 = L(24);
W4 = L(25);
W5 = L(26);
W6 = L(27);
W7 = L(28);
W8 = L(29);
W9 = L(30);
W10 = L(31);
W11 = L(32);
W12 = L(33);
W13 = L(34);
W14 = L(35);
W15 = L(36);
W16 = L(37);
W17 = L(38);
W18 = L(39);
W19 = L(40);
W20 = L(41);
W21 = L(42);
L =
[S1;S2;S3;S4;S5;S6;S7;S8;S9;S10;S11;S12;S13;S14;S15;S16;S17;S18;S19;S20;S21;W1;W2-
2*pi;W3-2*pi;W4;W5-2*pi;W6-2*pi;W7-2*pi;W8;W9-2*pi;W10;W11-2*pi;W12-2*pi;W13-
2*pi;W14;W15;W16;W17-2*pi;W18;W19;W20;W21+2*pi];
% souřadnicové rozdíly vypočtené z měření
f1 = ((S1*cos(Ga+W1-(400*pi/200)))+(S2*cos(Ga+W1+W2-
(600*pi/200)))+(S3*cos(Ga+W1+W2+W3-(800*pi/200)))+(S4*cos(Ga+W1+W2+W3+W4-
(1000*pi/200)))+(S5*cos(Ga+W1+W2+W3+W4+W5-(1200*pi/200)))+...
(S6*cos(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6-(1400*pi/200)))+(S7*cos(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7-
(1600*pi/200)))+(S8*cos(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8-
(1800*pi/200)))+(S9*cos(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9-(2000*pi/200)))+...
```



ČVUT v Praze

```
(S10*cos(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10-
(2200*pi/200)))+(S11*cos(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11-
(2400*pi/200)))+(S12*cos(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12-
(2600*pi/200)))+...
(S13*cos(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13-
(2800*pi/200)))+(S14*cos(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14-
(3000*pi/200)))+...
(S15*cos(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15-
(3200*pi/200)))+(S16*cos(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16-
(3400*pi/200)))+...
(S17*cos(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16+W17-
(3600*pi/200)))+(S18*cos(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16+W17-
(3800*pi/200)))+...
(S19*cos(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16+W17+W18+W19-
(4000*pi/200)))+(S20*cos(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16+W17-
(4200*pi/200)))+...

(S21*cos(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16+W17+W18+W19+W20+W21-
(4400*pi/200))));

f2 = ((S1*sin(Ga+W1-(400*pi/200)))+(S2*sin(Ga+W1+W2-
(600*pi/200)))+(S3*sin(Ga+W1+W2+W3-(800*pi/200)))+(S4*sin(Ga+W1+W2+W3+W4-
(1000*pi/200)))+(S5*sin(Ga+W1+W2+W3+W4+W5-(1200*pi/200)))+...
(S6*sin(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6-(1400*pi/200)))+(S7*sin(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7-
(1600*pi/200)))+(S8*sin(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8-
(1800*pi/200)))+(S9*sin(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9-(2000*pi/200)))+...
(S10*sin(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10-
(2200*pi/200)))+(S11*sin(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11-
(2400*pi/200)))+(S12*sin(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12-
(2600*pi/200)))+...
(S13*sin(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13-
(2800*pi/200)))+(S14*sin(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14-
(3000*pi/200)))+...
(S15*sin(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15-
(3200*pi/200)))+(S16*sin(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16-
(3400*pi/200)))+...
(S17*sin(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16+W17-
(3600*pi/200)))+(S18*sin(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16+W17-
(3800*pi/200)))+...
(S19*sin(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16+W17+W18+W19-
(4000*pi/200)))+(S20*sin(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16+W17-
(4200*pi/200)))+...

(S21*sin(Ga+W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W15+W16+W17+W18+W19+W20+W21-
(4400*pi/200))));
%souřadnicové rozdíly vypočtené ze souřadnic
dx = x_1(1)-x_2(1);
dy = x_1(2)-x_2(2);
%výpočet uzávěrů
u1 = f1-dx;
u2 = f2-dy;
%uzávěr
u = [u1;u2]

syms s1 s2 s3 s4 s5 s6 s7 s8 s9 s10 s11 s12 s13 s14 s15 s16 s17 s18 s19 s20 s21 w1 w2
w3 w4 w5 w6 w7 w8 w9 w10 w11 w12 w13 w14 w15 w16 w17 w18 w19 w20 w21
%nelineární matematický model volného polygonového pořadu
F1 = ((s1*cos(Ga+w1)))+(s2*cos(Ga+w1+w2-(200*pi/200)))+(s3*cos(Ga+w1+w2+w3-
(400*pi/200)))+(s4*cos(Ga+w1+w2+w3+w4-(600*pi/200)))+(s5*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5-
(800*pi/200)))+...
(s6*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6-(1000*pi/200)))+(s7*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7-
(1200*pi/200)))+(s8*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8-
(1400*pi/200)))+(s9*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9-(1600*pi/200)))+...
(s10*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10-
(1800*pi/200)))+(s11*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11-
(2000*pi/200)))+(s12*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12-
(2200*pi/200)))+...
(s13*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13-
(2400*pi/200)))+(s14*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14-
(2600*pi/200)))+...
(s15*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15-
(2800*pi/200)))+(s16*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16-
(3000*pi/200)))+...
```



ČVUT v Praze

```
(s17*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17-
(3200*pi/200)))+(s18*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17-
w18-(3400*pi/200)))+...
(s19*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17+w18+w19-
(3600*pi/200)))+(s20*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17-
w18+w19+w20-(3800*pi/200)))+...

(s21*cos(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17+w18+w19+w20+w21-
(4000*pi/200)))-(x_1(1)-x_2(1));

F2 = ((s1*sin(Ga+w1)))+(s2*sin(Ga+w1+w2-(200*pi/200)))+(s3*sin(Ga+w1+w2+w3-
(400*pi/200)))+(s4*sin(Ga+w1+w2+w3+w4-(600*pi/200)))+(s5*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5-
(800*pi/200)))+...
(s6*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6-(1000*pi/200)))+(s7*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7-
(1200*pi/200)))+(s8*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8-
(1400*pi/200)))+(s9*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9-(1600*pi/200)))+...
(s10*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10-
(1800*pi/200)))+(s11*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11-
(2000*pi/200)))+(s12*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12-
(2200*pi/200)))+...
(s13*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13-
(2400*pi/200)))+(s14*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14-
(2600*pi/200)))+...
(s15*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15-
(2800*pi/200)))+(s16*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16-
(3000*pi/200)))+...
(s17*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17-
(3200*pi/200)))+(s18*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17-
w18-(3400*pi/200)))+...
(s19*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17+w18+w19-
(3600*pi/200)))+(s20*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17-
w18+w19+w20-(3800*pi/200)))+...

(s21*sin(Ga+w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9+w10+w11+w12+w13+w14+w15+w16+w17+w18+w19+w20+w21-
(4000*pi/200)))-(x_1(2)-x_2(2));
%matice D (matice parciálních derivací symbolicky)
D1 = [diff(F1,s1) diff(F1,s2) diff(F1,s3) diff(F1,s4) diff(F1,s5) diff(F1,s6)
diff(F1,s7) diff(F1,s8) diff(F1,s9) diff(F1,s10) diff(F1,s11) diff(F1,s12)
diff(F1,s13) diff(F1,s14) diff(F1,s15)...
diff(F1,s16) diff(F1,s17) diff(F1,s18) diff(F1,s19) diff(F1,s20) diff(F1,s21)
diff(F1,w1) diff(F1,w2) diff(F1,w3) diff(F1,w4) diff(F1,w5) diff(F1,w6) diff(F1,w7)
diff(F1,w8) diff(F1,w9)...
diff(F1,w10) diff(F1,w11) diff(F1,w12) diff(F1,w13) diff(F1,w14) diff(F1,w15)
diff(F1,w16) diff(F1,w17) diff(F1,w18) diff(F1,w19) diff(F1,w20) diff(F1,w21)
diff(F2,s1) diff(F2,s2) diff(F2,s3) diff(F2,s4) diff(F2,s5) diff(F2,s6)
diff(F2,s7) diff(F2,s8) diff(F2,s9) diff(F2,s10) diff(F2,s11) diff(F2,s12)
diff(F2,s13) diff(F2,s14) diff(F2,s15)...
diff(F2,s16) diff(F2,s17) diff(F2,s18) diff(F2,s19) diff(F2,s20) diff(F2,s21)
diff(F2,w1) diff(F2,w2) diff(F2,w3) diff(F2,w4) diff(F2,w5) diff(F2,w6) diff(F2,w7)
diff(F2,w8) diff(F2,w9)...
diff(F2,w10) diff(F2,w11) diff(F2,w12) diff(F2,w13) diff(F2,w14) diff(F2,w15)
diff(F2,w16) diff(F2,w17) diff(F2,w18) diff(F2,w19) diff(F2,w20) diff(F2,w21)];
%matice D (číselně)
D =
subs(D1, {s1,s2,s3,s4,s5,s6,s7,s8,s9,s10,s11,s12,s13,s14,s15,s16,s17,s18,s19,s20,s21,w
1,w2,w3,w4,w5,w6,w7,w8,w9,w10,w11,w12,w13,w14,w15,w16,w17,w18,w19,w20,w21}, {S1,S2,S3,
S4,S5,S6,S7,S8,S9,...
S10,S11,S12,S13,S14,S15,S16,S17,S18,S19,S20,S21,W1,W2,W3,W4,W5,W6,W7,W8,W9,W10,W11,W1
2,W13,W14,W15,W16,W17,W18,W19,W20,W21});

% apriorní střední chyba
G0 = 1;
% sestavení vah
sig_d = G0/0.002^2;
sig_u = (sqrt(2)*0.0005)*pi/200;
sig_U = G0/sig_u^2;
% naplnění váhové matice
P = diag([sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d
sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_d sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U
sig_U sig_U sig_U sig_U...
sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U sig_U]);
% výpočet oprav
```



ČVUT v Praze

```
v = -inv(P)*D'*inv(D*inv(P)*D')*u;
size(v);
%aposteriorní střední chyba
disp('Aposteriorní střední chyba')
sig_0 = sqrt((v'*P*v))

disp(' ')
% statistické rozborý
%chikvadrát intervala
ch_hor = chi2inv(0.975,1);
ch_dol = chi2inv(0.025,1);

if sig_0>ch_dol && sig_0<ch_hor
    disp('sig_0 leží v intervalu pro CHI-KVADRÁT')
else
    disp('sig_0 neleží v intervalu PRO CHI-KVADRÁT')
end
disp(' ')
%výpočet kovarianční matice měřených veličin
kov_mat = sig_0^2*inv(P)*D'*inv(D*inv(P)*D')*D*inv(P);
%homogenizované opravy
kov_mat = 1/2*(kov_mat+kov_mat');
[U,R] = eig(kov_mat);
for i=1:40
    R(i,i)=0;
end
R(41,41) = 1/sqrt(R(41,41));
R(42,42) = 1/sqrt(R(42,42));
s_odm = U*R*U';
%homogenizované opravy
vv = s_odm*v;
grid on
hist(vv,7,'g');
%test homogenizovaných oprav s normálním rozdělením
norm_hor = norminv(0.975);
norm_dol = norminv(0.025);

disp('Testování homogenizovaných oprav')
disp(' ')
for i=1:42
    if vv(i)>norm_dol && vv(i)<norm_hor

    else
        disp('Oprava neleží v intervalu normálního rozdělení')
    end
end

%výpočet ul
disp(' ')
disp('Mezní uzávěr')
u11 = 2*sig_0*sqrt(D*inv(P)*D');
u1 = diag(u11)
disp(' ')
if u<=u1
    disp('test uzávěrů proběhl v pořádku')
else
    disp('test uzávěrů neproběhl v pořádku')
end
%% kontrolní výpočet uzávěru
%opravení hodnot měření
SS1 = S1+v(1);
SS2 = S2+v(2);
SS3 = S3+v(3);
SS4 = S4+v(4);
SS5 = S5+v(5);
SS6 = S6+v(6);
SS7 = S7+v(7);
SS8 = S8+v(8);
SS9 = S9+v(9);
SS10 = S10+v(10);
SS11 = S11+v(11);
SS12 = S12+v(12);
SS13 = S13+v(13);
```



ČVUT v Praze

```
SS14 = S14+v(14);
SS15 = S15+v(15);
SS16 = S16+v(16);
SS17 = S17+v(17);
SS18 = S18+v(18);
SS19 = S19+v(19);
SS20 = S20+v(20);
SS21 = S21+v(21);
WW1 = W1+v(22);
WW2 = W2+v(23);
WW3 = W3+v(24);
WW4 = W4+v(25);
WW5 = W5+v(26);
WW6 = W6+v(27);
WW7 = W7+v(28);
WW8 = W8+v(29);
WW9 = W9+v(30);
WW10 = W10+v(31);
WW11 = W11+v(32);
WW12 = W12+v(33);
WW13 = W13+v(34);
WW14 = W14+v(35);
WW15 = W15+v(36);
WW16 = W16+v(37);
WW17 = W17+v(38);
WW18 = W18+v(39);
WW19 = W19+v(40);
WW20 = W20+v(41);
WW21 = W21+v(42);
LL =
[SS1;SS2;SS3;SS4;SS5;SS6;SS7;SS8;SS9;SS10;SS11;SS12;SS13;SS14;SS15;SS16;SS17;SS18;SS19;SS20;SS21;WW1;WW2;WW3;WW4;WW5;WW6;WW7;WW8;WW9;WW10;WW11;WW12;WW13;WW14;WW15;WW16;WW17;WW18;WW19;WW20;WW21];
%opětovný výpočet souřadnicových rozdílů
f1 = ((SS1*cos(Ga+WW1-(400*pi/200)))+(SS2*cos(Ga+WW1+WW2-
(600*pi/200)))+(SS3*cos(Ga+WW1+WW2+WW3-(800*pi/200)))+(SS4*cos(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4-
(1000*pi/200)))+(SS5*cos(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5-(1200*pi/200)))+...
(SS6*cos(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6-
(1400*pi/200)))+(SS7*cos(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7-
(1600*pi/200)))+(SS8*cos(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8-
(1800*pi/200)))+(SS9*cos(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9-(2000*pi/200)))+...
(SS10*cos(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10-
(2200*pi/200)))+(SS11*cos(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11-
(2400*pi/200)))+(SS12*cos(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12-
(2600*pi/200)))+...
(SS13*cos(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13-
(2800*pi/200)))+(SS14*cos(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+
WW14-(3000*pi/200)))+...
(SS15*cos(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14+WW15-
(3200*pi/200)))+(SS16*cos(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+
WW14+WW15+WW16-(3400*pi/200)))+...

(SS17*cos(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14+WW15+WW16+W
W17-
(3600*pi/200)))+(SS18*cos(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+
WW14+WW15+WW16+WW17+WW18-(3800*pi/200)))+...

(SS19*cos(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14+WW15+WW16+W
W17+WW18+WW19-
(4000*pi/200)))+(SS20*cos(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+
WW14+WW15+WW16+WW17+WW18+WW19+WW20-(4200*pi/200)))+...

(SS21*cos(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14+WW15+WW16+W
W17+WW18+WW19+WW20+WW21-(4400*pi/200)));

f2 = ((SS1*sin(Ga+WW1-(400*pi/200)))+(SS2*sin(Ga+WW1+WW2-
(600*pi/200)))+(SS3*sin(Ga+WW1+WW2+WW3-(800*pi/200)))+(SS4*sin(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4-
(1000*pi/200)))+(SS5*sin(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5-(1200*pi/200)))+...
(SS6*sin(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6-
(1400*pi/200)))+(SS7*sin(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7-
(1600*pi/200)))+(SS8*sin(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8-
(1800*pi/200)))+(SS9*sin(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9-(2000*pi/200)))+...
(SS10*sin(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10-
(2200*pi/200)))+(SS11*sin(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11-
```



ČVUT v Praze

```
(2400*pi/200)))+(SS12*sin(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12-
(2600*pi/200)))+...
(SS13*sin(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13-
(2800*pi/200)))+(SS14*sin(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+
WW14-(3000*pi/200)))+...
(SS15*sin(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14+WW15-
(3200*pi/200)))+(SS16*sin(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+
WW14+WW15+WW16-(3400*pi/200)))+...

(SS17*sin(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14+WW15+WW16+W
W17-
(3600*pi/200)))+(SS18*sin(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+
WW14+WW15+WW16+WW17+WW18-(3800*pi/200)))+...

(SS19*sin(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14+WW15+WW16+W
W17+WW18+WW19-
(4000*pi/200)))+(SS20*sin(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+
WW14+WW15+WW16+WW17+WW18+WW19+WW20-(4200*pi/200)))+...

(SS21*sin(Ga+WW1+WW2+WW3+WW4+WW5+WW6+WW7+WW8+WW9+WW10+WW11+WW12+WW13+WW14+WW15+WW16+W
W17+WW18+WW19+WW20+WW21-(4400*pi/200)));
%souřadnicové rozdíly vypočtené ze souřadnic
dx = x_1(1)-x_2(1);
dy = x_1(2)-x_2(2);
%výpočet uzávěrů
uu1 = f1-dx;
uu2 = f2-dy;
%kontrolní uzávěr
disp(' ')
disp('Kontrolní uzávěr')
uu = [uu1;uu2]

%Výpočet kovarianční matice souřadnic
LL =
[SS1;SS2;SS3;SS4;SS5;SS6;SS7;SS8;SS9;SS10;SS11;SS12;SS13;SS14;SS15;SS16;SS17;SS18;SS1
9;SS20;SS21;WW1;WW2-2*pi;WW3-2*pi;WW4;WW5-2*pi;WW6-2*pi;WW7-2*pi;WW8;WW9-
2*pi;WW10;WW11-2*pi;WW12-2*pi;WW13-2*pi;WW14;WW15;WW16;WW17-
2*pi;WW18;WW19;WW20;WW21+2*pi];
n = 22;
%Výpočet vyrovnaných souřadnicových rozdílů
for i = 1:(n-1)
    dX(i) = LL(i)*cos(Ga+sum(LL(n:(i+n-1)))-(i-1)*pi);
    dY(i) = LL(i)*sin(Ga+sum(LL(n:(i+n-1)))-(i-1)*pi);
end
%Výpočet souřadnic
X(1) = x_2(1);
Y(1) = x_2(2);
X(2) = x_2(1)+dX(1);
Y(2) = x_2(2)+dY(1);

for i = 2:(n-1)
    X(i+1) = X(i)+dX(i);
    Y(i+1) = Y(i)+dY(i);
end

sour = [Y' X'];
%kovarianční matice měřených veličin
kovLL = sig_0^2*(inv(P)-inv(P)*D'*inv(D*inv(P)*D')*D*inv(P));
%Výpočet matice F
F = zeros((2*(n-2)),(2*n-2));
for i = 2:2:(2*(n-2))
    for k = 1:(i/2)
        F(i-1,k) = dX(k)/LL(k);
        F(i,k) = dY(k)/LL(k);
        F((i-1),(k+n-1)) = -sum(dY(k:(i/2)));
        F(i,(k+n-1)) = sum(dX(k:(i/2)));
    end
end

%Výpočet kovarianční matice souřadnic
kovX = F*kovLL*F';
kovX = 0.5*(kovX+kovX');
a_elipsa = [];
b_elipsa = [];
```



ČVUT v Praze

```
alfa_elipsa = [];  
%Výpočet charakteristik přesnosti  
for i = 2:2:(2*(n-2))  
    %souřadnicové odchylky bodů  
    sigmaXY(i/2) = sqrt((kovX(i-1,i-1)+kovX(i,i))/2);  
    %výpočet parametrů elips chyb  
    sub = [kovX(i-1,i-1), kovX(i-1,i); kovX(i,i-1), kovX(i,i)];  
    ab_elipsa = sqrt(eig(sub));  
    a_elipsa = [a_elipsa, ab_elipsa(2)];  
    b_elipsa = [b_elipsa, ab_elipsa(1)];  
    alfa_elipsa = [alfa_elipsa, atan2((2*sub(1,2)),(sub(1,1)-sub(2,2)))];  
  
end  
for i = 1:(n-2)  
    if alfa_elipsa(i) < 0  
        alfa_elipsa(i) = alfa_elipsa(i)+2*pi;  
    end  
end  
Y = Y';  
X = X';  
Y = Y(2:21);  
X = X(2:21);  
%Matice s výsledky vyrovnaní  
vysledky = [ Y X a_elipsa' b_elipsa' ((alfa_elipsa')/2)*200/pi sigmaXY']  
vyrovnan_vel = [L, v, LL];  
vyr = [vyrovnan_vel(1:21,:);vyrovnan_vel(22:42,)*200/pi]  
sig_xy = sigmaXY';
```



ČVUT v Praze

Příloha 9: Protokol vyrovnání jednostranně orientovaného polygonového pořadu

(Groma)

POLOHOVÉ VYROVNÁNÍ SÍŤE

=====

Lokalita: liberec-jablonec

Datum :

Etapa :

MĚŘENÉ SMĚRY:

=====

Stanovisko: 309

Cíl	Směr	m [cc]	váha
-----	------	--------	------

535	0.00021	5.00	0.0400
-----	---------	------	--------

534	180.99508	5.00	0.0400
-----	-----------	------	--------

Stanovisko: 311

Cíl	Směr	m [cc]	váha
-----	------	--------	------

541	0.00060	5.00	0.0400
-----	---------	------	--------

4003ex	203.51418	5.00	0.0400
--------	-----------	------	--------

Stanovisko: 535

Cíl	Směr	m [cc]	váha
-----	------	--------	------

309	176.55997	5.00	0.0400
-----	-----------	------	--------

4001	399.99990	5.00	0.0400
------	-----------	------	--------

Stanovisko: 537

Cíl	Směr	m [cc]	váha
-----	------	--------	------

4002	0.00020	5.00	0.0400
------	---------	------	--------

4001	214.49920	5.00	0.0400
------	-----------	------	--------

Stanovisko: 539

Cíl	Směr	m [cc]	váha
-----	------	--------	------

4002	237.11730	5.00	0.0400
------	-----------	------	--------

4003ex	399.99920	5.00	0.0400
--------	-----------	------	--------

Stanovisko: 541

Cíl	Směr	m [cc]	váha
-----	------	--------	------



ČVUT v Praze

311 158.65344 5.00 0.0400
542 399.99903 5.00 0.0400

Stanovisko: 542

Cíl Směr m [cc] váha

4004 0.00040 5.00 0.0400
541 155.08062 5.00 0.0400

Stanovisko: 545

Cíl Směr m [cc] váha

4005 195.26295 5.00 0.0400
4006 399.99962 5.00 0.0400

Stanovisko: 548

Cíl Směr m [cc] váha

4008ex 0.00051 5.00 0.0400
4007 241.43180 5.00 0.0400

Stanovisko: 549

Cíl Směr m [cc] váha

4009 0.00001 5.00 0.0400
4008ex 248.92128 5.00 0.0400

Stanovisko: 552

Cíl Směr m [cc] váha

553 177.06940 5.00 0.0400
4010 399.99986 5.00 0.0400

Stanovisko: 4001

Cíl Směr m [cc] váha

535 183.47562 5.00 0.0400
537 399.99993 5.00 0.0400

Stanovisko: 4002

Cíl Směr m [cc] váha

537 230.01226 5.00 0.0400



ČVUT v Praze

539 399.99980 5.00 0.0400

Stanovisko: 4004

Cíl Směr m [cc] váha

542 187.78187 5.00 0.0400

4005 399.99992 5.00 0.0400

Stanovisko: 4005

Cíl Směr m [cc] váha

4004 214.75460 5.00 0.0400

545 399.99980 5.00 0.0400

Stanovisko: 4006

Cíl Směr m [cc] váha

4007 0.00021 5.00 0.0400

545 171.59878 5.00 0.0400

Stanovisko: 4007

Cíl Směr m [cc] váha

548 0.00098 5.00 0.0400

4006 218.39887 5.00 0.0400

Stanovisko: 4009

Cíl Směr m [cc] váha

4010 0.00014 5.00 0.0400

549 212.03003 5.00 0.0400

Stanovisko: 4010

Cíl Směr m [cc] váha

552 0.00022 5.00 0.0400

4009 234.84642 5.00 0.0400

Stanovisko: 4003ex

Cíl Směr m [cc] váha

4003 11.02640 5.00 0.0400

539 227.38577 5.00 0.0400



ČVUT v Praze

311 399.99987 5.00 0.0400

Stanovisko: 4008ex

Cíl	Směr	m [cc]	váha
-----	------	--------	------

548	239.68787	5.00	0.0400
-----	-----------	------	--------

4008	243.53503	5.00	0.0400
------	-----------	------	--------

549	399.99942	5.00	0.0400
-----	-----------	------	--------

PARAMETRY SÍŤE:

=====

Počet bodů v síti : 25

Počet bodů, na nichž jsou měřeny směry: 21

Počet měřených délek : 24

Počet měřených směrů : 44

Způsob připojení sítě : Vázaná síť, v matici A je vynecháno 6 sloupců.

VYROVNANÉ DÉLKY:

=====

Stanovisko: 309

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

534	109.2870	2.94	0.00
-----	----------	------	------

535	97.6887	0.21	2.06
-----	---------	------	------

Stanovisko: 311

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

541	138.6416	0.12	2.06
-----	----------	------	------

Stanovisko: 535

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

4001	66.7065	0.18	2.07
------	---------	------	------

Stanovisko: 537

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

4002	97.1693	0.18	2.07
------	---------	------	------

Stanovisko: 539

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]



ČVUT v Praze

4003ex 91.8892 0.18 2.06

Stanovisko: 541

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

542	105.2161	0.20	2.06
-----	----------	------	------

Stanovisko: 542

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

4004	121.8426	0.20	2.06
------	----------	------	------

Stanovisko: 545

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

4006	146.9957	0.20	2.06
------	----------	------	------

Stanovisko: 548

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

4008ex	105.4230	0.21	2.06
--------	----------	------	------

Stanovisko: 549

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

4009	125.4002	0.02	2.07
------	----------	------	------

Stanovisko: 552

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

553	94.7126	-0.18	2.07
-----	---------	-------	------

Stanovisko: 4001

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

537	112.7808	0.15	2.07
-----	----------	------	------

Stanovisko: 4002

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]

539	122.3490	0.21	2.06
-----	----------	------	------



ČVUT v Praze

Stanovisko: 4004

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]

4005	146.9473	0.18	2.07	
------	----------	------	------	--

Stanovisko: 4005

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]

545	143.8878	0.20	2.06	
-----	----------	------	------	--

Stanovisko: 4006

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]

4007	104.3054	0.14	2.07	
------	----------	------	------	--

Stanovisko: 4007

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]

548	72.9378	0.18	2.07	
-----	---------	------	------	--

Stanovisko: 4009

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]

4010	152.2824	-0.02	2.07	
------	----------	-------	------	--

Stanovisko: 4010

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]

552	131.4524	-0.13	2.07	
-----	----------	-------	------	--

Stanovisko: 4003ex

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]

311	128.9046	0.12	2.06	
-----	----------	------	------	--

4003	1.8373	0.00	2.08	
------	--------	------	------	--

Stanovisko: 4008ex

Cíl	Délka	Oprava	ms	Eps
[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]

549	102.2383	0.16	2.06	
-----	----------	------	------	--

4008	1.5279	1.61	2.08	
------	--------	------	------	--



ČVUT v Praze

Průměrná střední chyba vyrovnané délky [mm]: 2.02

VYROVNANÉ SMĚRY:

Stanovisko: 309

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

535	0.00027	0.60	4.95	
-----	---------	------	------	--

534	180.99502	-0.60	4.95	
-----	-----------	-------	------	--

Stanovisko: 311

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

541	0.00067	0.67	5.11	
-----	---------	------	------	--

4003ex	203.51411	-0.67	5.11	
--------	-----------	-------	------	--

Stanovisko: 535

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

309	176.55991	-0.62	4.99	
-----	-----------	-------	------	--

4001	399.99996	0.62	4.99	
------	-----------	------	------	--

Stanovisko: 537

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

4002	0.00029	0.85	5.04	
------	---------	------	------	--

4001	214.49911	-0.85	5.04	
------	-----------	-------	------	--

Stanovisko: 539

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

4002	237.11720	-0.98	5.07	
------	-----------	-------	------	--

4003ex	399.99930	0.98	5.07	
--------	-----------	------	------	--

Stanovisko: 541

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

311	158.65340	-0.43	5.13	
-----	-----------	-------	------	--

542	399.99907	0.43	5.13	
-----	-----------	------	------	--

Stanovisko: 542

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	



ČVUT v Praze

4004 0.00044 0.36 5.14
541 155.08058 -0.36 5.14

Stanovisko: 545

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

4005 195.26288 -0.70 5.14
4006 399.99969 0.70 5.14

Stanovisko: 548

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

4008ex 0.00062 1.05 5.01
4007 241.43169 -1.05 5.01

Stanovisko: 549

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

4009 0.00010 0.89 5.02
4008ex 248.92119 -0.89 5.02

Stanovisko: 552

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

553 177.06941 0.12 5.18
4010 399.99985 -0.12 5.18

Stanovisko: 4001

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

535 183.47555 -0.69 5.01
537 400.00000 0.69 5.01

Stanovisko: 4002

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

537 230.01216 -0.96 5.05
539 399.99990 0.96 5.05

Stanovisko: 4004

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

542 187.78183 -0.44 5.16



ČVUT v Praze

4005 399.99996 0.44 5.16

Stanovisko: 4005

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

4004	214.75454	-0.60	5.15
------	-----------	-------	------

545	399.99986	0.60	5.15
-----	-----------	------	------

Stanovisko: 4006

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

4007	0.00029	0.82	5.10
------	---------	------	------

545	171.59870	-0.82	5.10
-----	-----------	-------	------

Stanovisko: 4007

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

548	0.00108	0.97	5.05
-----	---------	------	------

4006	218.39877	-0.97	5.05
------	-----------	-------	------

Stanovisko: 4009

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

4010	0.00020	0.63	5.09
------	---------	------	------

549	212.02997	-0.63	5.09
-----	-----------	-------	------

Stanovisko: 4010

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

552	0.00025	0.32	5.16
-----	---------	------	------

4009	234.84639	-0.32	5.16
------	-----------	-------	------

Stanovisko: 4003ex

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

4003	11.02530	-11.02	5.19
------	----------	--------	------

539	227.38623	4.62	5.09	121.07
-----	-----------	------	------	--------

311	400.00051	6.39	5.09	167.32
-----	-----------	------	------	--------

Stanovisko: 4008ex

Cíl	Směr	Oprava	m	Eps
[g]	[cc]	[cc]	[cc]	

548	239.64454	-433.28	4.99	-5810.50
-----	-----------	---------	------	----------



ČVUT v Praze

4008 243.62148 864.51 5.19 1.#J
549 399.95630 -431.22 4.99 -5782.86

Průměrná střední chyba vyrovnaného směru [cc]: 5.08

VÝSLEDKY VYROVNÁNÍ:

=====

Počet nadbytečných měření : 3
Základní střední chyba m0 apriorní [cc]: 1.00
Základní střední chyba m0 aposteriorní [cc]: 1.04
m0 aposteriorní / m0 apriorní : 1.04
Interval spolehlivosti : 0.18 - 1.82

VYROVNANÉ SOUŘADNICE:

=====

Bod	Y	X	my	mx	mxy		
		[mm]	[mm]	[mm]			
311	683177.4876	979706.4541	5.17	6.39	5.81	8.22	
535	683644.7890	979526.5429	1.89	1.31	1.63	2.30	
537	683548.5870	979676.3988	3.35	3.19	3.27	4.62	
539	683373.0048	979797.9124	4.94	4.90	4.92	6.96	
541	683068.9211	979620.2287	5.53	6.97	6.29	8.90	
542	682963.7299	979617.9406	5.80	7.26	6.57	9.29	
545	682660.1120	979894.1708	6.28	6.53	6.41	9.06	
548	682461.5058	980142.7465	8.69	4.92	7.06	9.99	
549	682264.5137	980126.5541	8.62	4.12	6.76	9.55	
552	682225.7340	979738.2015	2.02	2.31	2.17	3.07	
4001	683600.1071	979576.0735	2.49	2.26	2.38	3.36	
4002	683485.8284	979750.5826	4.23	3.94	4.08	5.78	
4003	683281.0378	979780.1464	5.45	5.70	5.58	7.89	
4004	682869.2841	979694.9187	5.76	7.32	6.59	9.31	
4005	682775.1786	979807.7799	5.88	7.09	6.52	9.22	
4006	682549.4461	979990.9219	6.97	5.84	6.43	9.09	
4007	682508.2277	980086.7377	7.90	5.41	6.77	9.57	
4008	682360.1997	980165.8091	9.38	4.25	7.28	10.30	
4009	682215.2558	980011.2334	6.77	3.96	5.55	7.85	
4010	682182.8090	979862.4479	4.23	3.74	3.99	5.65	
4003ex	683282.6978	979780.9337	5.13	5.62	5.38	7.61	
4008ex	682358.7344	980166.2419	9.17	4.22	7.14	10.09	

Střední souřadnicová chyba mxy [mm]: 5.65

Stopa kovarianční matice vyrovnaných souřadnic : 1302.731299
Stopa kovarianční matice vyrovnaných souřadnic (kont.): 1302.731299
Norma kovarianční matice vyrovnaných souřadnic : 738.344976
Maximální vlastní číslo : 639.592727
Minimální vlastní číslo : 0.126039
Rozdíl maximálního a minimálního vlastního čísla : 639.466688



ČVUT v Praze

VYROVNANÉ SMĚRNÍKY A DÉLKY:

=====

Stanovisko: 309

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
	[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]

Stanovisko: 311

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
	[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]

541	257.26977	8.74	138.6416	2.06	2.08	1.88	14.87
4003ex	60.78321	9.21	128.9046		2.06	1.87	15.99

Stanovisko: 535

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
	[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]

4001	353.27349	8.52	66.7065	2.07	1.53	1.65	30.96
------	-----------	------	---------	------	------	------	-------

Stanovisko: 537

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
	[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]

4001	169.79794	9.38	112.7808		1.77	1.98	18.35
4002	355.29911	9.74	97.1693	2.07	1.76	1.84	21.26

Stanovisko: 539

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
	[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]

4002	125.28684	9.75	122.3490		2.03	1.91	16.82
4003ex	288.16894	9.59	91.8892	2.06	2.05	1.40	22.37

Stanovisko: 541

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
	[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]

311	57.26977	8.74	138.6416		2.08	1.88	14.87
542	298.61544	8.31	105.2161	2.06	2.06	1.37	19.53

Stanovisko: 542

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
	[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]



ČVUT v Praze

541	98.61544	8.31	105.2161	2.06	1.37	19.53	
4004	343.53530	8.10	121.8426	2.06	1.92	1.72	16.93

Stanovisko: 545

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]
4005	140.99875	8.97	143.8878	2.11	1.98	14.33	
4006	345.73556	10.02	146.9957	2.06	2.26	2.12	14.04

Stanovisko: 548

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]
4007	155.73946	11.96	72.9378	1.78	1.73	28.33	
4008ex	314.30838	12.22	105.4230	2.06	2.10	1.98	19.51

Stanovisko: 549

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]
4009	225.69904	12.14	125.4002	2.07	2.37	2.09	16.51
4008ex	74.62014	12.21	102.2383	2.00	2.02	20.13	

Stanovisko: 552

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]
553	155.89271	15.28	94.7126	2.07	2.02	2.31	21.82
4010	378.82314	13.66	131.4524	2.66	2.27	15.76	

Stanovisko: 4001

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]
535	153.27349	8.52	66.7065	1.53	1.65	30.96	
537	369.79794	9.38	112.7808	2.07	1.77	1.98	18.35

Stanovisko: 4002

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]
537	155.29911	9.74	97.1693	1.76	1.84	21.26	



ČVUT v Praze

539 325.28684 9.75 122.3490 2.06 2.03 1.91 16.82

Stanovisko: 4004

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]

542	143.53530	8.10	121.8426		1.92	1.72	16.93
4005	355.75343	8.30	146.9473	2.07	2.06	1.93	14.06

Stanovisko: 4005

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]

545	340.99875	8.97	143.8878	2.06	2.11	1.98	14.33
4004	155.75343	8.30	146.9473		2.06	1.93	14.06

Stanovisko: 4006

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]

545	145.73556	10.02	146.9957		2.26	2.12	14.04
4007	374.13716	11.20	104.3054	2.07	1.95	1.96	19.85

Stanovisko: 4007

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]

548	355.73946	11.96	72.9378	2.07	1.78	1.73	28.33
4006	174.13716	11.20	104.3054		1.95	1.96	19.85

Stanovisko: 4009

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]

549	25.69904	12.14	125.4002		2.37	2.09	16.51
4010	213.66928	12.49	152.2824	2.07	2.98	2.09	13.61

Stanovisko: 4010

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]

552	178.82314	13.66	131.4524	2.07	2.66	2.27	15.76
4009	13.66928	12.49	152.2824		2.98	2.09	13.61



ČVUT v Praze

Stanovisko: 4003ex

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]
311	260.78321	9.21	128.9046	2.06	2.06	1.87	15.99
539	88.16894	9.59	91.8892		2.05	1.40	22.37
4003	271.80800	10.71	1.8373	2.08	1.87	0.89	1129.63

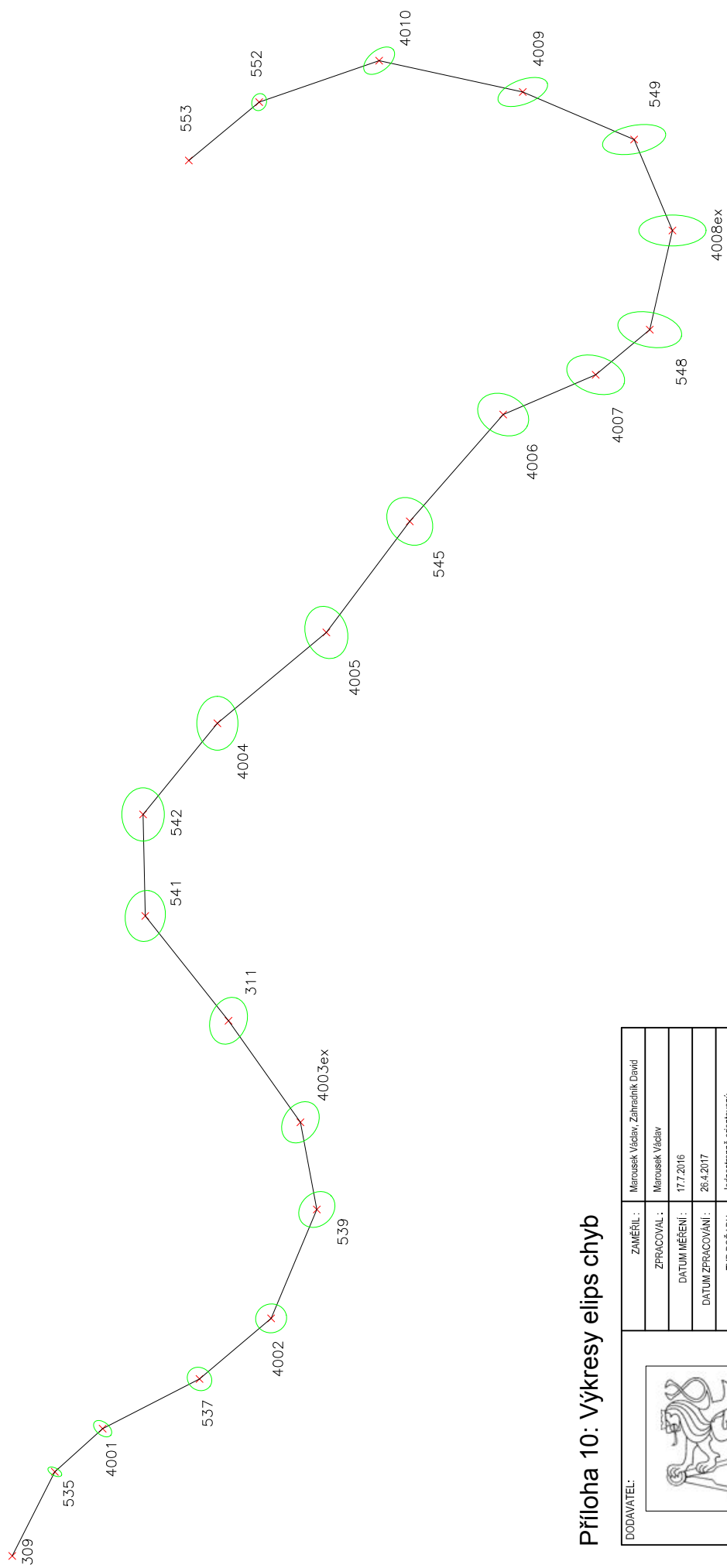
Stanovisko: 4008ex

Cíl	Směrník	m	Délka	m	mdy	mdx	rch
[g]	[cc]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/km]
548	114.30838	12.22	105.4230		2.10	1.98	19.51
549	274.62014	12.21	102.2383	2.06	2.00	2.02	20.13
4008	118.28532	42.05	1.5279	2.07	2.02	0.50	1356.95

ALOKACE PAMĚTI PRO MATICE:

=====

Během výpočtu postupně alokováno [B] : 172608
Maximálně alokováno [B] : 139600
Největší matice [B] : 36992 (68x68)
Celkový počet matic : 98
Doba výpočtu : 0:00:00.1



Příloha 10: Výkresy elips chyb

DODAVATEL:	ZAMĚŘIL:	Maroušek Václav, Zahradník David
	ZPRACOVAL:	Maroušek Václav
NAZEV PROJEKTU:	DATUM MĚŘENÍ:	17.7.2016
	DATUM ZPRACOVÁNÍ:	26.4.2017
MĚŘITKO ELIPS:	TYP POŘÁDU:	Jednostranně orientovaný
	SOUŘADNÝ SYSTÉM:	S-JTSK
MĚŘITKO:	MĚŘITKO:	1:500
	FORMAT:	A4
NAZEV PROJEKTU:		ZHUŠTĚNÍ ŽELEZNIČNÍHO BODOVÉHO POLE LIBEREC - JABLONEC NAD NISOU
LISŤ:		01

Příloha 11: Výpočet nivelace

Zápisník pro technickou a plošnou nivelaci								
Číslo bodu		Čtení na lati			Nadmořská výška horizontu stroje	Nadmořská výška bodu		Poznámka
přesta- vového	bočního	vzad +	vpřed -	bočně -		přestavového	určeného bočně	
		0.4						
553		0.436				466.983		
552		0.4	2.528			464.891		
552		0.080						
4010		0.4	2.618			462.354		
4010		0.173						
101		0.4	2.066			460.461		
101		0.423						
4009		0.4	2.739			458.146		
4009		0.349						
102		0.4	2.240			456.255		
102		1.358						
549		0.4	2.418			455.196		
549		0.225						
4008		0.4	2.534			452.887		
4008		0.356						
548		0.4	2.500			450.743		
548		0.374						
4007		0.4	2.247			448.871		
4007		0.313						
103		0.4	1.950			447.234		
103		0.799						
4006		0.4	2.722			445.312		
4006		0.386						
104		0.4	2.644			443.054		
104		1.053						
545		0.4	2.496			441.612		
545		0.675						
105		0.4	2.571			439.716		
105		0.321						
4005		0.4	2.221			437.816		
4005		0.907						
106		0.4	1.885			436.839		
106		0.778						
4004		0.4	2.346			435.271		
4004		0.341						
107		0.4	1.778			433.835		
107		1.129						
108		0.4	0.651			434.313		
108		2.713						
542		0.4	1.474			435.553		
542		0.274						
109		0.4	3.199			432.628		
109		0.671						
541		0.4	2.137			431.162		
541		0.596						
110		0.4	3.143			428.616		
110		0.152						
311		0.4	2.396			426.372		
311		0.841						
111		0.4	2.315			424.899		
111		0.635						
4003		0.4	1.449			424.085		
4003		0.270						
112		0.4	2.029			422.327		
112		0.916						
539		0.4	1.501			421.742		
539		0.267						
4002		0.4	2.161			419.848		
4002		0.786						
113		0.4	3.655			416.980		
113		0.854						
537		0.4	2.376			415.458		
537		0.617						
114		0.4	1.933			414.143		
114		0.857						
4001		0.4	2.505			412.495		
4001		0.786						
535		0.4	2.210			411.072		
535		0.219						
309			2.143			409.148		
		21.930	79.780		L = 2.421	409.148		
		-79.780				-466.983		
		-57.850				-57.835	dH	
						57.850	dH měřené	
						0.015	rozdíl	

Zápisník pro technickou a plošnou nivelaci

Číslo bodu		Čtení na lati			Nadmořská výška horizontu stroje	Nadmořská výška bodu		Poznámka
přestavového	bočního	vzad +	vpřed -	bočně -		přestavového	určeného bočně	
		0.6						
309		2.269				409.148		
535		0.6	0.383			411.035		
535		2.181						
4001		0.6	0.758			412.458		
4001		1.998						
214		0.6	0.349			414.108		
214		1.756						
537		0.6	0.441			415.424		
537		1.914						
213		0.6	0.393			416.945		
213		3.790						
4002		0.6	0.921			419.815		
4002		2.553						
539		0.6	0.657			421.711		
539		1.387						
212		0.6	0.802			422.297		
212		2.001						
4003		0.6	0.241			424.058		
4003		1.651						
211		0.6	0.838			424.871		
211		2.318						
310		0.6	0.844			426.346		
310		2.705						
210		0.6	0.462			428.590		
210		3.136						
541		0.6	0.585			431.141		
541		1.986						
209		0.6	0.521			432.607		
209		3.177						
542		0.6	0.252			435.532		
542		1.359						
208		0.6	2.600			434.292		
208		0.454						
207		0.6	0.932			433.815		
207		2.152						
4004		0.6	0.714			435.253		
4004		2.003						
206		0.6	0.435			436.822		
206		2.148						
4005		0.6	1.172			437.799		
4005		2.603						
205		0.6	0.704			439.698		
205		2.670						
545		0.6	0.774			441.595		
545		2.441						
204		0.6	0.999			443.037		
204		2.644						
4007		0.6	0.387			445.295		
4007		2.638						
203		0.6	0.716			447.218		
203		2.115						
4008		0.6	0.479			448.854		
4008		2.185						
548		0.6	0.313			450.727		
548		2.450						
4009		0.6	0.305			452.873		
4009		2.494						
549		0.6	0.184			455.183		
549		1.902						
202		0.6	0.840			456.246		
202		2.599						
4010		0.6	0.706			458.139		
4010		2.516						
201		0.6	0.200			460.456		
201		2.455						
4011		0.6	0.560			462.352		
4011		2.564						
552		0.6	0.027			464.889		
552		2.736						
553			0.643			466.983		
		79.950	22.137		L = 2.423	466.983		
		-22.137				-409.148		
		57.813				57.835	dH	
						-57.813	dH měřené	
						0.022	rozdíl	

Příloha 12: Místopisný náčrt (ukázka)

GEODETICKÉ ÚDAJE

Traťový úsek:	1671	Liberec–Jablonec n. Nisou–Tanvald–Harrachov
Definiční úsek:	08	km 1.115 – 11.406 – Tanvald
Číslo bodu:	4001	km: 8.280 Katastrální území: Jablonec nad Nisou

Souřadnice **JTSK**

Y = --

X = --

Nadm. výška --

Souřadnice **ETRS89**

Latitude

Longitude

ElHigh

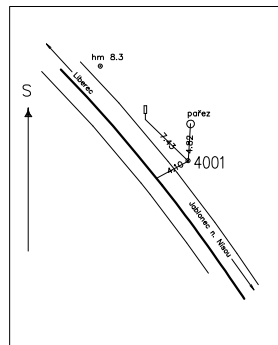
Výškový systém: **Bpv**

Typ určení výšky: **Nivelací**

Typ určení bodu: **Polygonovým pořadem**

Třída přesnosti: **2**

Splnění TKP: **ANO**



Druh stabilizace: **kámen 12x12 s křížkem**

Poznámka:

Vyhotovil: **Aritmet s.r.o. – geodetické práce**

Platnost: **Od: Do:**

Transformační klíč: **převzat od SŽG**

Původ bodu: **Obnova železničního polygonu v úseku 8.280–10.28 km**

Technická zpráva:

Traťový úsek:	1671	Liberec–Jablonec n. Nisou–Tanvald–Harrachov
Definiční úsek:	08	km 1.115 – 11.406 – Tanvald
Číslo bodu:	4002	km: 8.487 Katastrální území: Jablonec nad Nisou

Souřadnice

Y = --

X = --

Nadm. výška --

Souřadnice

Latitude

Longitude

ElHigh

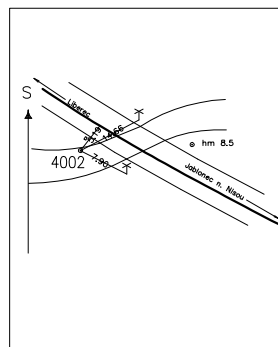
Výškový systém: **Bpv**

Typ určení výšky: **Nivelací**

Typ určení bodu: **Polygonovým pořadem**

Třída přesnosti: **2**

Splnění TKP: **ANO**



Druh stabilizace: **Měřický hřeb v silnici**

Poznámka:

Vyhotovil: **Aritmet s.r.o. – geodetické práce**

Platnost: **Od: Do:**

Transformační klíč: **převzat od SŽG**

Původ bodu: **Obnova železničního polygonu v úseku 8.280–10.28 km**

Technická zpráva:

Příloha 13: Protokol polární metody

[1] POLÁRNÍ METODA

=====

Orientace osnovy na bodě 4003ex:

Bod	Y	X	Z
4003ex	683282.697	979780.934	

Orientace:

Bod	Y	X	Z
539	683373.004	979797.913	
311	683177.486	979706.454	

Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.	m0 Red.
539	227.3858	88.1688	-0.0002	91.889	0.000		
311	399.9999	260.7832	0.0002	128.905	0.000		

Orientační posun : 260.7831g

$m0 = \text{SQRT}([vv]/(n-1))$: 0.0003g

$\text{SQRT}([vv]/(n*(n-1)))$: 0.0002g

Bod	Hz	Délka	Y	X	Z	Popis
4003	11.0264	1.836	683281.038	979780.147		

[1] POLÁRNÍ METODA

=====

Orientace osnovy na bodě 4008ex:

Bod	Y	X	Z
4008ex	682358.733	980166.241	

Orientace:

Bod	Y	X	Z
549	682264.513	980126.553	
548	682461.505	980142.746	

Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.	m0 Red.
549	399.9994	274.6198	0.0001	102.238	-0.000		
548	239.6879	114.3081	-0.0001	105.423	0.000		

Orientační posun : 274.6203g

$m0 = \text{SQRT}([vv]/(n-1))$: 0.0002g

$\text{SQRT}([vv]/(n*(n-1)))$: 0.0001g

Bod	Hz	Délka	Y	X	Z	Popis
4008	243.5350	1.526	682360.197	980165.812	1.525	