

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Porovnání vyrovnání mikrosítí mostních objektů na D35

v systémech Groma, KNET, GNU Gama, Matlab

Vedoucí práce: Dr. Ing. Zdeněk Skořepa

2024

Kryštof Sedlák

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Sedlák** Jméno: **Kryštof** Osobní číslo: **506355**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra speciální geodézie**
Studijní program: **Geodézie a kartografie**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Porovnání vyrovnání mikrosítí mostních objektů na D35 v systémech Groma, KNET, GNU Gama, Matlab

Název bakalářské práce anglicky:

Comparison of adjustment of micronetwork of bridge objects on D35 in Groma, KNET, GNU Gama, Matlab systems

Pokyny pro vypracování:

1. Převzetí a seznámení s měřickým elaborátem od firmy Geodézie Východní Čechy spol. s r.o.
 2. Zpracování měření a určení přesnosti provedeného měření pro vyrovnání
 3. Výpočet mikrosítí s vyrovnáním metodou nejmenších čtverců v určených systémech a porovnání s Matlabem (referenční systém, vlastní skript)
 4. Rozbor výsledků, závěry pro praxi.
- Poznámka: Závěrečná práce musí být zpracována podle Směrnice děkana (FSv_SD_2024_01_V01) - podrobně viz čl. 4 odst. 10.

Seznam doporučené literatury:

- /1/ Böhm, J. - Radouch, V. - Hampacher, M.: Teorie chyb a vyrovnávací počet. Praha, Geodetický a kartografický podnik Praha, s.p. 1990.
- /2/ Hampacher, M. - Štroner, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 2. vyd. Praha, ČVUT v Praze 2015.
- /3/ Skořepa, Z - Linková, L.: Geodézie 4. 2. přeprac. vydání. Praha, ČVUT v Praze 2023.


Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

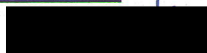
Dr. Ing. Zdeněk Skořepa katedra speciální geodézie FSV

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: ~~17.05.2024~~ ¹⁹⁻⁰²⁻²⁰²⁴ Termín odevzdání bakalářské práce: **20.05.2024**

Platnost zadání bakalářské práce:


Dr. Ing. Zdeněk Skořepa
podpis vedoucí(ho) práce


prof. Ing. Martin Štroner, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

21.2.2024

Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Porovnání vyrovnaní mikrosítí mostních objektů na D35 v systémech Groma, KNET, GNU Gama, Matlab“ vypracoval samostatně pod odborným vedením vedoucího práce Dr. Ing. Zdeňka Skořepy. Použité podklady jsou uvedeny v seznamu zdrojů.

V Praze dne 17. 5. 2024


.....
Kryštof Sedlák

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat především Dr. Ing. Zdeňku Skořepovi za odborné vedení mé práce, spoustu vyhrazeného času na konzultace, cenné rady při zpracovávání a obecně velmi vstřícný a přátelský přístup po celou dobu práce. Dále bych chtěl upřímně poděkovat za dokumentaci a měřická data mikrosítí od firmy Geodézie Východní Čechy spol. s.r.o., která poskytl Ing. Georgi Diadovský, stejně jako za ukázkou praktického měření mikrosítí přímo v terénu a ochotu zodpovědět veškeré dotazy. Nakonec bych chtěl poděkovat Ing. Michalu Votočkovi, Ph.D. za vstřícnost a ochotu zodpovědět dotazy ohledně vyrovnání v programu KNET.

Abstrakt

Bakalářská práce se věnuje zpracování mikrosít mostních objektů na dálnici D35 (úsek Janov – Opatovec) vyrovnáním volných sítí pomocí MNČ, cílem práce pak je porovnání výsledků vyrovnání mikrosít ze zvolených výpočetních programů Groma, KNET, GNU Gama a z vlastního referenčního výpočtu v programu Matlab. Výsledkem práce je porovnání vyrovnaných souřadnic určených bodů, jejich charakteristik přesnosti (směrodatné odchylky, parametry středních elips chyb), vyrovnaných měření (včetně jejich směrodatných odchylek) a oprav měření mezi jednotlivými programy. Porovnání je zpracováno formou tabulek.

Klíčová slova

Mikrosít, metoda nejmenších čtverců, vyrovnání volné sítě, charakteristiky přesnosti, kovarianční matice, střední elipsa chyb

Abstract

The bachelor thesis is dedicated to processing of micronetworks of bridge objects on a highway D35 (section Janov – Opatovec) by least squares method of adjustment of free networks, and then to comparison of results of the adjustment from programmes Groma, KNET, GNU Gama and from reference calculation in Matlab. The result of bachelor thesis is a comparison of adjusted coordinates of points, their accuracy characteristics (standard deviations, error ellipses parameters), adjusted measurements (including their standard deviations) and corrections of measurements from chosen programmes. The comparison is presented in form of tables.

Key words

Micronetwork, least squares method, adjustment of free network, accuracy characteristics, covariance matrix, mean ellipse of errors

Obsah

Úvod.....	7
1. Lokalita	8
2. Realizace mikrosítí	9
2.1 Připojení	9
2.2 Stabilizace	9
2.3 Ochrana a signalizace.....	12
2.4 Zaměření a přesnost	14
2.5 Dokumentace a údržba	15
3. Vyrovnání.....	16
3.1 Vyrovnání MNČ	16
3.2 Volná síť	17
3.2.1 Výpočet pomocí blokových matic.....	20
3.2.2 Alternativní výpočet	21
3.3 Charakteristiky přesnosti.....	25
4. Výsledky	28
4.1 Porovnání souřadnic.....	31
4.2 Porovnání charakteristik přesnosti	35
4.2.1 Směrodatné odchytky vyrovnaných souřadnic.....	36
4.2.2 Souřadnicové směrodatné odchytky.....	39
4.2.3 Střední elipsy chyb	40
4.3 Porovnání vyrovnaných měření	44
4.3.1 Vyrovnaná měření.....	45
4.3.2 Směrodatné odchytky vyrovnaných měření	46
4.4 Porovnání oprav	49
4.4.1 Opravy měření	49
4.4.2 Normované opravy	50
4.4.3 Nekorelované opravy.....	53
Závěr	54
Seznam zdrojů.....	57
Seznam tabulek	58
Seznam obrázků.....	59
Seznam zkratk	60
Seznam příloh	61

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá vyrovnáním mikrosít mostních objektů pomocí metody nejmenších čtverců (MNČ) na budované dálnici D35 (úsek Janov – Opatovec) a následným porovnáním výsledků vyrovnání mezi vlastním referenčním výpočtem v programu Matlab (verze 2023b) a vybranými komerčními programy, tedy programy Groma (verze 12.5), KNET (jde o nadstavbu programu Kokeš, u kterého se při zpracování používala verze 15.12.134182) a GNU Gama (konkrétně gama-local verze 1.7.09). Použité verze komerčních programů odpovídají verzím používaným v rámci výuky na FSV ČVUT v Praze, jde tedy o verze s ověřenou stabilitou a spolehlivostí (ačkoli existují novější verze, jejich základní fungování je stejné a liší se hlavně grafickým rozhraním a opravením případných chyb, využití stávajících verzí tedy poskytuje zcela platné výsledky). Byly vyrovnány celkem 4 mikrosítě (č. 201, 202, 222 a 223), sítě byly vyrovnávány jako volné sítě.

Dané téma bakalářské práce jsem si vybral, protože vyrovnání sítí mi během studia zatím přišlo jako nejzajímavější způsob zpracování dat, který je sice poněkud obtížnější na pochopení, nicméně pokud mu alespoň částečně porozumíte, stane se nesmírně užitečnou formou zpracování nadbytečného počtu přesných měření.

Začátek bakalářské práce se věnuje lokalitě mikrosítí a jejich realizaci v terénu, včetně formy stabilizace bodů, měřických postupů při měření a požadavků na přesnost výsledných souřadnic bodů.

Další část je věnována teoretickému základu a praktickému postupu výpočtu vyrovnání volných sítí metodou nejmenších čtverců, který byl použit při výpočtu v Matlabu, navíc je zde uvedena i alternativní možnost řešení výpočtu MNČ, která byla pro kontrolu též vypočítána. Dále je zde uveden postup výpočtu charakteristik přesnosti určovaných bodů.

Ke konci jsou pak uvedeny výsledky vyrovnání z jednotlivých programů, které jsou vzájemně porovnávány v tabulkách. K tabulkám jsou uvedeny stručné komentáře a výsledky porovnání jsou konečně zhodnoceny v závěru práce.

1. Lokalita

Zpracovávané mikrosítě se nacházejí na budované dálnici D35, na úseku Janov – Opatovec (obr. 1). Dálnice vede Pardubickým krajem, konkrétně okresem Svitavy a prochází obcemi Svitavy, Mikuleč, Opatovec, Čistá a Janov. Stavba zasahuje do katastrálních území Mikuleč (694177), Opatovec (711501), Čistá u Litomyšle (624004) a Janov u Litomyšle (656950).



Obr. 1: Úsek Janov – Opatovec [1]

2. Realizace mikrosítí

Mikrosítě jsou budovány primárně z důvodu vysoké požadované přesnosti pro vytyčení mostních konstrukcí, tedy každý most má svou vlastní mikrosíť. Mikrosítě jsou navrženy dle [2] tak, aby nijak nekolidovaly s objektem stavby, byly umístěny na pozemku trvalého záboru stavby, aby mezi body byla dobrá viditelnost a aby dobře pokrývaly celý rozměr stavby. Každá mikrosíť obsahuje minimálně 3 body a mezi těmito body jsou provedena veškerá možná úhlová a délková měření. Body poté mají souřadnice určené v S-JTSK a S-JTSK-M (S-JTSK-M je počítán s měřítkem $m = 1$, neboť se mosty skládají z prefabrikovaných dílů a zavedení měřítka zobrazení by mohlo zkreslit skutečné délky natolik, že díly mostu by na sebe následně neseseděly) a dále výšky v systému Bpv.

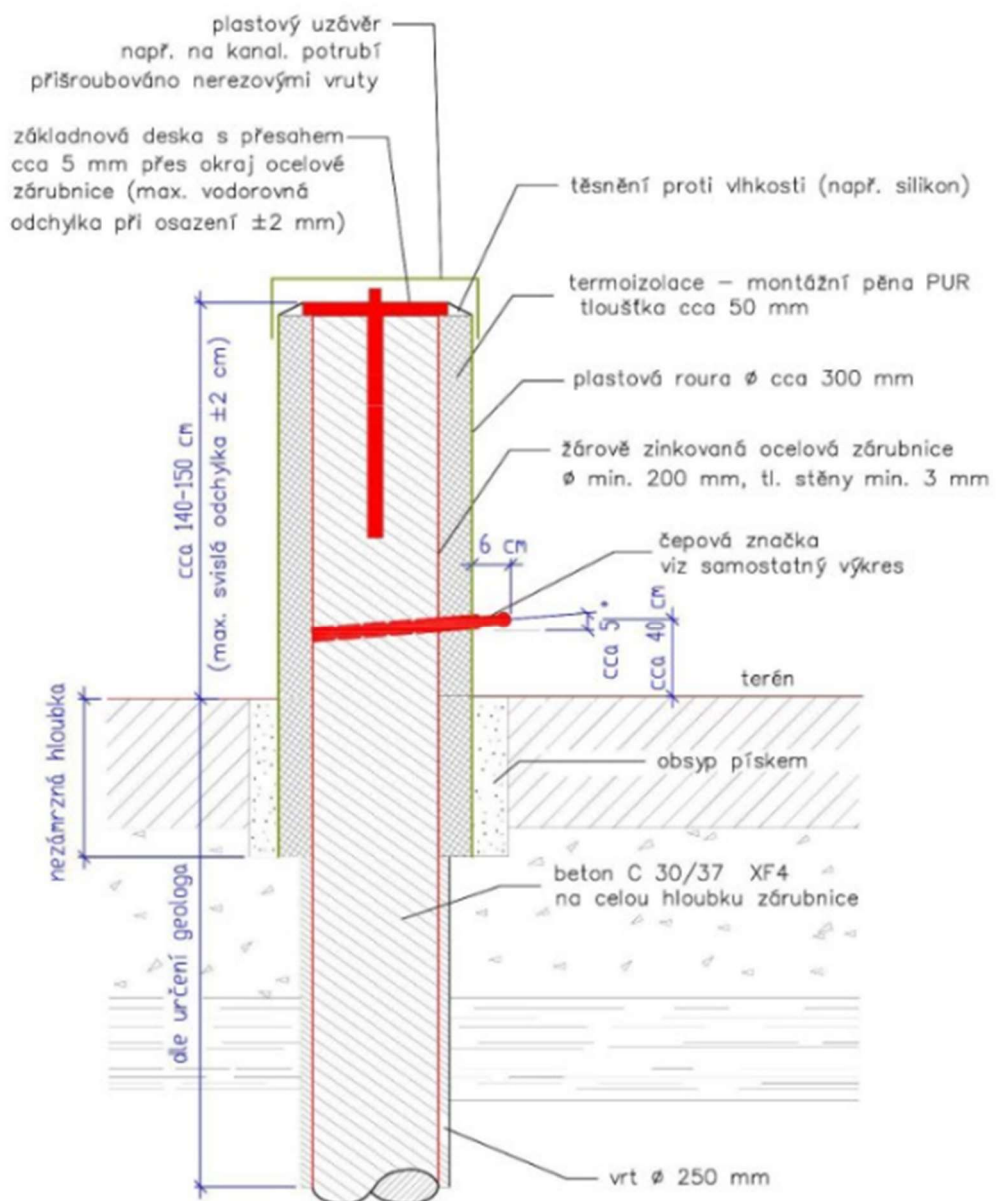
2.1 Připojení

Body mikrosítí jsou podle [2] polohově a výškově připojeny na ZVS (Základní vytyčovací síť) stavby. Bodů ZVS je celkem 132, jejich souřadnice byly určeny pomocí technologie GNSS (na každém bodě observováno dvakrát, s minimálně dvouhodinovým odstupem a pokaždé alespoň se třemi sty odečty), výšky bodů ZVS pak byly určeny přesnou nivelací 3. řádu. Body ZVS jsou rovnoměrně rozloženy podél celé délky stavby.

2.2 Stabilizace

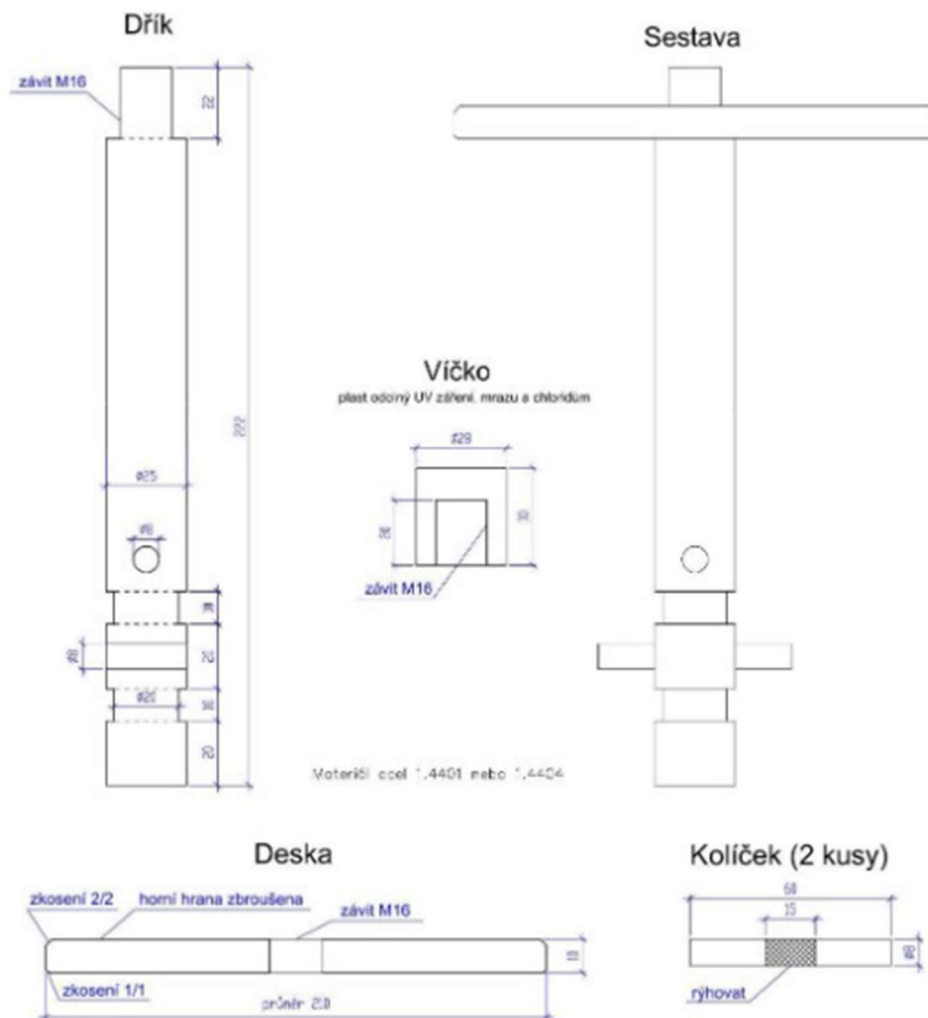
Hloubková stabilizace bodu je v [2] založena na předpisu PPK-BOD (s výjimkou využití ochranné skruže – využije se pro potřeby stavby dostačující menší skruž DN1000 namísto skruže typu DN1500). Než dojde k samotné stabilizaci bodu, je potřeba provést předběžné a následně geodetické vytyčení bodu a nadále se ujistit, že bod nijak nekoliduje a ani v budoucnu nebude kolidovat s průběhem inženýrských sítí a samotnou stavbou. Dále je potřeba posudek geologa, který určí, do jaké hloubky bude proveden vrt (je potřeba se provrtat ke stabilnímu podloží, aby nedocházelo k posunům bodu, např. k pískovci). Hloubka vrtu tedy může být pro různé mikrosítě, příp. i pro jednotlivé body jedné mikrosítě odlišná v závislosti na podloží. Hloubka vrtu může přesáhnout i 10 m. Vrt (obr. 2) bude mít dle [2] průměr cca 250 mm a bude osazený zabetonovanou (doporučeno v celé délce betonem třídy C 30/37) ocelovou zárubnicí s průměrem cca 200 mm a tloušťkou stěny minimálně 3 mm. Při betonáži se též doporučuje použít aditiva k regulaci rychlosti tuhnutí betonu (kvůli eliminaci rizika předčasného ztuhnutí). Po

navrtání je nutné z vrtu vyfoukat případnou zeminu, která mohla napadat na dno vrtu (pokud by tam zemina byla ponechána, tak by sloup stabilizace po zabetonování tlačil svou vahou na onu zbytkovou zeminu a postupem času by mohlo dojít k sesnutí celého bodu až o desítky centimetrů). Pažnice bude nad terénem umístěna ve výšce cca 1500 mm. Zárubnice bude nadále chráněna plastovou trubkou s průměrem cca 300 mm, ta bude kryt celou nadzemní část a také část podzemní až do nezámrazné hloubky. Prostor mezi trubkou a zárubnicí bude volný s výjimkou samotné hlavy zárubnice v nadzemní části, kde bude prostor vyplněn montážní pěnou. Trubka má tvořit tepelnou izolaci a zabránit případnému ohnutí bodu v důsledku změny teploty.



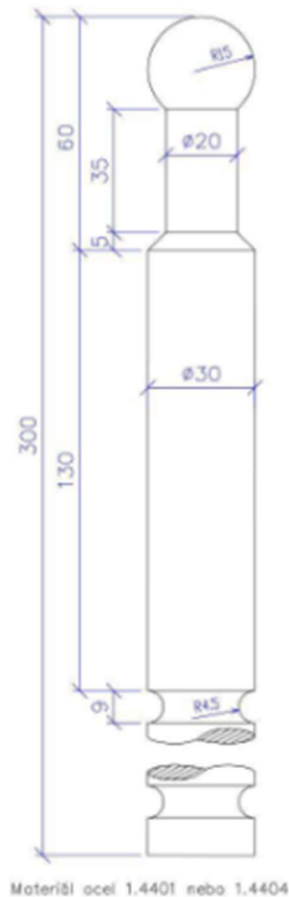
Obr. 2: Stabilizace bodu [2]

Na hlavě bodu bude dle [2] umístěna základnová deska (obr. 3) s průměrem 210 mm, šířkou 10 mm, vyrobená z nerezové oceli, společně s centračním talířem, na kterém bude centrační šroub pro nucenou centraci. Přesah základnové desky oproti zárubnici bude cca 5 mm. Celá hlava bude překryta plastovým krytem, taktéž šroub nucené centrace bude mít svou vlastní krytku.



Obr. 3.: Základnová deska [2]

Výška bodu bude vztažena k čepové nivelační značce (obr. 4) o průměru 30 mm a délce 300 mm, která bude osazena do zárubnice cca 0,4 m nad terénem. Materiálem pro zhotovení nivelační značky je taktéž nerezová ocel.



Obr. 4: Čepová nivelační značka [2]

2.3 Ochrana a signalizace

Jako hlavní ochranný prvek bodů (obr. 5), jak ZVS, tak bodů mikrosítě, slouží podle [2] betonová skruž typu DN1000, na okraji zvýrazněná nátěrem červenobílé barvy. Tato skruž dokáže předejít většině poškození, s výjimkou přímého nárazu těžkého stroje na stavbě (bagry, nákladní auta atd., z těchto důvodů bývá na mnou navštívených stavbách zničen zhruba jeden až dva body mikrosítě ročně). Jako signalizace a dodatečná ochrana je použit jeden či více ochranných tyčových znaků (OTZ), tyto znaky jsou zhotoveny z oceli, jsou dlouhé 2 m, s průměrem do 50 mm a šířkou stěny do 3 mm. Taktéž

jsou opatřeny červenobílým nátěrem (k bodům mikrosítí se zpravidla umísťuje jeden OTZ a k bodům ZVS až tři OTZ). Na OTZ se taktěž doporučuje umístit tabulku s názvem bodu a příp. výstražným nápisem.



Obr. 5: Bod mikrosítě s totální stanicí (vlastní foto)

2.4 Zaměření a přesnost

Body mikrosítí se zaměřují až po uplynutí dostatečně dlouhé doby od stabilizace (aby se bod ustálil, řádově týdny až měsíce). Při zaměřování se do okolí sítě postaví jedno či více volných stanovisek, která se napojí na body ZVS a následně se z nich zaměří body mikrosítí. Nakonec se provedou úhlová a délková měření mezi všemi body mikrosítě. Pro dodržení požadované přesnosti dané v [2] (tab. 1) byla měření provedena totální stanicí Leica TS16 v.č.: 3872489 (tab. 2) v pěti skupinách. Zázpisníky měření jsou ve formátu MAPA2.

Tab. 1: Požadované přesnosti jednotlivých bodů mikrosítí [2]

Požadavky na přesnost bodů mikrosítě	
Sm. odch. souřadnicová σ_{xy}	1,5 mm
Sm. odch. výšky σ_z	1,0 mm

Tab. 2: Přesnosti totální stanice Leica TS16 [3]

Leica TS16	
Sm. odch. směru	0,6 mgon
Sm. odch. délky (na kulový hranol Leica)	1 mm + 1 ppm

Po zaměření sítě se výsledky zpracovávají vyrovnáním MNC volné sítě, ve které jsou jako opěrné body zvoleny body ZVS zaměřené z volných stanovisek. Pro určení přibližných souřadnic jsou provedena na bodech mikrosítě měření GNSS (při zpracování v rámci bakalářské práce byly jako přibližné souřadnice použity souřadnice vypočítané volným stanovištěm a polární metodou z měření totální stanicí, výškové vyrovnání nebylo uvažováno, souřadnice bodů byly vypočteny v systému S-JTSK-M). Výšky nivelačních značek byly určovány přesnou nivelací a jejich přesnost posuzována podle daných kritérií přesnosti (tab. 3 a 4).

Tab. 3: Kritéria přesnosti pro posuzování výškových měření (nivelace) [2]

Kritéria přesnosti výškového měření	
Mezní odch. nivelačního oddílu (tam a zpět)	$\Delta_M = 3 \cdot \sqrt{R}$
Mezní odch. nivelačního úseku (tam a zpět)	$\Delta_M = 3 \cdot \sqrt[3]{L^2}$

Tab. 4: Kritéria přesnosti pro ověření výšky dvou nivelačních bodů [2]

Kritéria přesnosti ověření výšky	
Mez. odch. ověření výšky 2 bodů (oddíl)	$\Delta_M = 2mm + 3 \cdot \sqrt{R}$
Mez. odch. ověření výšky 2 bodů (úsek)	$\Delta_M = 2mm + 3 \cdot \sqrt[3]{L^2}$

2.5 Dokumentace a údržba

Dokumentacemi mikrosítí jsou dle [2] technické zprávy, které zahrnují informace o využitých podkladech, stabilizaci bodů (hloubky vrtů, dosažená podloží), konečné přesnosti určených bodů (polohové, výškové; též jsou uvedeny výsledky ověřovacích nivelací mezi body ZVS) včetně geodetických informací o bodech a přehledných náčrtů situací. Zprávy jsou ověřeny autorizovaným zeměměřickým inženýrem.

Mikrosítě musí být během stavby pravidelně přeměřovány, včetně kontrolních ověření na sousední body. Síť musí být přeměřena minimálně jednou za rok pro případ, že by došlo k poškození bodů mikrosítě či k jejich posunům, v takovém případě musí být celá síť zaměřena znovu a vypočteny nové souřadnice bodů. V případě úplného zničení některého z bodů musí být takový bod obnoven a celá síť opět znovu zaměřena a propočítána.

3. Vyrovnání

Jako způsob zpracování měření mikrosítí se používá vyrovnání volné sítě metodou nejmenších čtverců. Vyrovnání MNČ umožňuje z měření vypočítat vyrovnané souřadnice s co možná nejlepšími charakteristikami přesnosti (pro zpracovávané mikrosítě je nutné nepřekročit směrodatnou odchylku souřadnicovou $\sigma_{xy} = 1,5$ mm), což je nezbytné proto, aby se mostní objekty vytyčily dostatečně přesně a zapadly do sebe prefabrikované díly. Volná síť navíc umožňuje zachování vysoké přesnosti měření totální stanicí i po připojení sítě do S-JTSK (příp. S-JTSK-M) přes body ZVS (určené technologií GNSS [2]). Vzorce a postupy uvedené v následujících podkapitolách pak byly využity ve vlastním výpočetním skriptu v programu Matlab.

3.1 Vyrovnání MNČ

Metoda nejmenších čtverců je podle [4] dnes jednou z nejrozšířenějších metod vyrovnání, metoda byla publikována už v roce 1806 německým matematikem a geodetem F. C. Gaussem, nicméně její plné využití přišlo až s rozvinutou výpočetní technikou (tedy od konce 20. stol.), předtím se totiž numerický výpočet musel provádět ručně, což byl velmi náročný a zdlouhavý postup a přistupovalo se k němu jen ve výjimečných případech (např. při zakládání S-JTSK). Kritériem MNČ je $\sum pvv = \min.$, tedy suma kvadrátů oprav násobených váhami je minimální. Při správném použití dokáže MNČ zajistit nejmenší možné střední chyby neznámých pro daná měření. Maticový zápis kritéria má tvar:

$$\mathbf{v}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v} = \min. \quad (1)$$

Zde je \mathbf{v} vektorem oprav a \mathbf{P} maticí vah. Pro výpočet jednotlivých vah dále platí:

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

Měřené prvky nejsou obecně homogenní veličiny, k dispozici jsou různorodá měření (směry a délky) měřená s různou přesností. Proveďte se homogenizace měření tak, že každému měřenému prvku je přiřazena váha (2), kde K se běžně volí jako σ_0^2 a $\sigma_0 = 1$, což je apriorní směrodatná odchylka jednotková, příslušící měření o váze 1 (fiktivní měření), σ_i je známá směrodatná odchylka měření. Diagonální matice vah \mathbf{P} má tvar:

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} p_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & p_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & p_n \end{pmatrix} \quad (3)$$

na diagonále jsou tedy jednotlivé váhy měření, n je počet měření. Jedná se o vyrovnání zprostředkujících veličin a systém rovnic oprav pomocí maticového zápisu je:

$$\mathbf{v} = \mathbf{F}(\mathbf{X}) - \mathbf{l}, \quad (4)$$

kde $\mathbf{F}(\mathbf{x})$ je vektorem vyrovnaných měření a \mathbf{l} vektorem měření, vztah musí být vždy linearizovaný. Splnění podmínky minimalizace normovaných oprav se provede následovně (\mathbf{X} je vektorem neznámých):

$$\mathbf{v}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v} = \min. \Rightarrow \frac{\partial(\mathbf{v}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v})}{\partial \mathbf{X}} = \mathbf{0}, \frac{\partial^2(\mathbf{v}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v})}{\partial^2 \mathbf{X}} > \mathbf{0}. \quad (5)$$

3.2 Volná síť

Volná síť je dle [4] taková síť, ve které jsou všechny souřadnice bodů považovány za neznámé a vlivem vyrovnání se změni, matice normálních rovnic je zároveň singulární. Vyrovnávání všech bodů sítě nám umožňuje zachovat přesnost našeho měření, nicméně způsobuje problém s umístěním sítě do soustavy souřadnic. Řešení tohoto problému je několik, v rámci bakalářské práce byla k umístění sítě do soust. souř. použita podmínka modifikované Helmertovy transformace – pro každou mikrosíť bylo zvoleno několik opěrných bodů (body ZVS), přes které byla síť umístěna (shodnostní transformace). Tímto postupem zůstane zachován rozměr a tvar mikrosítě.

Na začátku výpočtu podle [4] je zapotřebí definovat několik matic a vektorů nezbytných pro další řešení vyrovnání volné sítě. Jako první se sestaví vektor přibližných hodnot neznámých:

$$\mathbf{X}_0 = \begin{pmatrix} X_{1,0} \\ Y_{1,0} \\ OP_{1,0} \\ \vdots \\ X_{m,0} \\ Y_{m,0} \\ OP_{m,0} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

kde $X_{i,0}$ a $Y_{i,0}$ jsou přibližné hodnoty určených souřadnic a $OP_{i,0}$ je přibližný orientační úhel (tj. orientační posun; OP je pouze u bodů, na kterých byly měřeny vodorovné směry,

tedy ne u bodů ZVS), m je počet bodů sítě. Tyto hodnoty je nutné uvést pro každý bod, pořadí neznámých je libovolné, ale musí se poté dodržovat během celého vyrovnání (zde zvolené pořadí je X, Y, OP). Přibližné hodnoty se v rámci bakalářské práce určí polární metodou (p. m. dávkou), lze použít i jiné přístupy, např. určení přibližných souřadnic technologií GNSS atd., přibližné hodnoty se musí dostatečně blížit vyrovnaným hodnotám (jinak vyrovnání nepovede k výsledku). Dalšími potřebnými vektory jsou vektor měření a vektor přibližných hodnot měření:

$$\mathbf{l} = \begin{pmatrix} l_1 \\ \vdots \\ l_n \end{pmatrix}, \quad \mathbf{l}_0 = \begin{pmatrix} l_{1,0} \\ \vdots \\ l_{n,0} \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Vektor \mathbf{l} obsahuje naměřené hodnoty (v našem případě vodorovné směry a délky, n je počet měření) a vektor \mathbf{l}_0 pak obsahuje tytéž hodnoty, ale vypočítané podle funkčních vztahů (8) z přibližných souřadnic:

$$d_{ij,0} = \sqrt{(X_{j,0} - X_{i,0})^2 + (Y_{j,0} - Y_{i,0})^2}, \quad \psi_{ij,0} = \sigma_{ij} - OP_i, \quad (8)$$

kde $d_{ij,0}$ (přibližná délka mezi body i a j) je vypočtena ze souřadnicových rozdílů a $\psi_{ij,0}$ je přibližný směr z bodu i na bod j vypočtený ze směrníku σ_{ij} a orientačního úhlu OP_i . Pořadí hodnot je opět libovolné, ale musí se poté dodržovat v průběhu celého výpočtu. Z vektorů \mathbf{l} a \mathbf{l}_0 pak spočítáme vektor redukovaných měření \mathbf{l}' (10), čímž dojde k linearizaci. Vychází se ze vztahu:

$$\mathbf{l} + \mathbf{v} = \mathbf{F}(\mathbf{X}_0 + \mathbf{dx}), \quad (9)$$

kde \mathbf{v} je vektorem oprav dále rozepsaným ve vzorci (22) a \mathbf{dx} je vektorem přírůstků neznámých počítaným ve vzorci (20). Dále se provede linearizace:

$$\mathbf{l}' = \mathbf{l}_0 - \mathbf{l}. \quad (10)$$

Následně se sestaví váhová matice \mathbf{P} dle vzorců (2) a (3), která bude mít rozměr (n, n) .

Jako další je zapotřebí vypočítat a sestavit matici plánu \mathbf{A} (Jacobiho matici) o rozměru (n, k) , kde k je počet neznámých. Tato matice je stěžejní pro celé vyrovnání a obsahuje parciální derivace funkčních vztahů všech měření podle jednotlivých neznámých. Při výpočtu matice se vychází ze vzorce (11), provede se Taylorův rozvoj vektorové funkce $\mathbf{F}(\mathbf{X})$ s omezením na lineární členy:

$$\mathbf{l} + \mathbf{v} = \mathbf{F}(\mathbf{X}_0) + \mathbf{A} \cdot \mathbf{dx}. \quad (11)$$

Většinu funkce zachytí lineární (první) člen, ostatní členy se neuplatní, nicméně v rámci bakalářské práce se pro jistotu odhaduje jejich vliv. Matice \mathbf{A} pak má tvar:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \frac{\partial F(X)_1}{\partial X_1} & \frac{\partial F(X)_1}{\partial Y_1} & \frac{\partial F(X)_1}{\partial OP_1} & \cdots & \frac{\partial F(X)_1}{\partial X_m} & \frac{\partial F(X)_1}{\partial Y_m} & \frac{\partial F(X)_1}{\partial OP_m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial F(X)_n}{\partial X_1} & \frac{\partial F(X)_n}{\partial Y_1} & \frac{\partial F(X)_n}{\partial OP_1} & \cdots & \frac{\partial F(X)_n}{\partial X_m} & \frac{\partial F(X)_n}{\partial Y_m} & \frac{\partial F(X)_n}{\partial OP_m} \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Hodnost matice \mathbf{A} je $r(\mathbf{A}) = k - 3$, z toho lze vypočítat počet nadbytečným měření v síti $n' = n - r(\mathbf{A})$. Funkční vztahy pro vodorovnou délku a směr (derivované v matici \mathbf{A}) mají tvar:

$$d_{ij} = \sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2}, \quad \psi_{ij} = \arctg\left(\frac{Y_j - Y_i}{X_j - X_i}\right) + OP_i, \quad (13)$$

kde v obou vzorcích (13) figurují souřadnicové rozdíly bodů a kde OP_i je orientační úhel na bodě i . Jako poslední se v tomto kroku sestaví podmínková matice \mathbf{B} (15), která obsahuje podmínky modifikované Helmertovy transformace, vychází se ze vztahu (podmínky):

$$\mathbf{B}^T \cdot \mathbf{dx} = \mathbf{0}, \quad (14)$$

platí tedy $\sum dx = 0$, $\sum dy = 0$, $\sum (y \cdot dx - x \cdot dy) = 0$. Dále sestavení matice \mathbf{B} :

$$\mathbf{B}^T = \begin{pmatrix} Y_1 & -X_1 & Y_2 & -X_2 & Y_3 & -X_3 & 0 & \cdots & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \end{pmatrix}, \quad (15)$$

transponovaná matice \mathbf{B} má při řešení rovinné sítě vždy 3 řádky a počet sloupců dle počtu neznámých (souřadnic a OP). Ve sloupcích odpovídajících souřadnici X opěrných bodů (body ZVS) je na 1. řádku souřadnice Y odpovídajícího bodu, na 2. řádku konstanta 1 a 3. řádek je nulový. Ve sloupcích odpovídajících souřadnici Y opěrných bodů je na 1. řádku souřadnice $-X$ odpovídajícího bodu, 2. řádek je nulový a na 3. řádku je konstanta 1. Zbytek matice je nulový, zde uvedený příklad matice \mathbf{B} je pro 3 opěrné body seřazené na prvních třech pozicích (bez měření směrů na těchto bodech, tedy bez sloupců pro OP), pořadí lze zvolit libovolně, ale musí mu odpovídat seřazení všech ostatních matic ve vyrovnání.

3.2.1 Výpočet pomocí blokových matic

Dále přistoupíme k samotnému výpočtu vyrovnání podle postupu z [4], který je založen na výpočtu z blokových matic. Je potřeba splnit kritérium MNČ:

$$\mathbf{v}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v} + 2\mathbf{k}^T \cdot \mathbf{B}^T \cdot \mathbf{dx} = \min. \quad (16)$$

Po rozepsání:

$$\theta = \mathbf{dx}^T \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{dx} + 2\mathbf{dx}^T \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{l}' + \mathbf{l}'^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{l}' + 2\mathbf{dx}^T \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{k} = \min, \quad (17)$$

parciální derivací vztahu (17) podle \mathbf{dx}^T dostaneme:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \mathbf{dx}^T} = (\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A}) \cdot \mathbf{dx} + \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{l}' + \mathbf{B} \cdot \mathbf{k} = \mathbf{0}. \quad (18)$$

Splněním kritéria MNČ tedy dostaneme soustavu normálních rovnic v maticovém tvaru:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A} & \mathbf{B} \\ \mathbf{B}^T & \mathbf{0} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{dx} \\ \mathbf{k} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{l}' \\ \mathbf{b} \end{pmatrix} = \mathbf{0}, \quad (19)$$

kde $\mathbf{0}$ v prvním bloku matic je nulová matice o rozměrech (3, 3), \mathbf{b} je nulový vektor o rozměrech (3, 1) a \mathbf{k} je vektorem korelátů o rozměru (3, 1). Po vyjádření vektoru přírůstků neznámých \mathbf{dx} o rozměru (k, 1), kde k je počet neznámých, má rovnice tvar:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{dx} \\ \mathbf{k} \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A} & \mathbf{B} \\ \mathbf{B}^T & \mathbf{0} \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{l}' \\ \mathbf{b} \end{pmatrix}. \quad (20)$$

Inverze blokové matice se dá vypočítat několika způsoby, v rámci bakalářské práce byla inverze v Matlabu (LU rozklad [5]) kontrolována výpočtem podle [6] (Greville), výsledky byly identické. Následně se vypočítají vyrovnané neznámé:

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}_0 + \mathbf{dx}. \quad (21)$$

Jako další vektor oprav vycházející ze vzorce (11):

$$\mathbf{v} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{dx} + \mathbf{l}'. \quad (22)$$

Poté se přistoupí k výpočtu vektoru vyrovnaných měření podle vzorce:

$$\mathbf{F}(\mathbf{X}) = \mathbf{l} + \mathbf{v}. \quad (23)$$

Na konci výpočtu samotného vyrovnání je potřeba zkontrolovat, jestli se vyrovnané souřadnice dostatečně blíží správné hodnotě. Metod kontroly je několik,

využívá se např. dvojitý výpočet oprav či odhad členů 2. řádu (který je použit zde), odhad členů se počítá dle vzorce (24) pro délku (mezi body i a j):

$$d^2 f(X, x)_{ij} = \frac{1}{s_{ij}^3} \cdot \{ \Delta Y_{ij}^2 \cdot (dx_i^2 + dx_j^2) + \Delta X_{ij}^2 \cdot (dy_i^2 + dy_j^2) - 2 \cdot \Delta Y_{ij} \cdot \Delta X_{ij} \cdot dx_i \cdot dy_i - 2 \cdot \Delta Y_{ij} \cdot \Delta X_{ij} \cdot dx_j \cdot dy_j + 2 \cdot \Delta Y_{ij} \cdot \Delta X_{ij} \cdot dx_i \cdot dy_j + 2 \cdot \Delta Y_{ij} \cdot \Delta X_{ij} \cdot dx_j \cdot dy_i - 2 \cdot \Delta Y_{ij}^2 \cdot dx_i \cdot dx_j - 2 \cdot \Delta X_{ij}^2 \cdot dy_i \cdot dy_j \}, \quad (24)$$

kde s_{ij} je vzdálenost mezi body, ΔY a ΔX jsou souřadnicové rozdíly bodů a dx a dy jsou přírůstky souřadnic bodů z vyrovnání. Pro směr obdobně platí:

$$d^2 f(X, x)_{ij} = \frac{2}{s_{ij}^4} \cdot \{ \Delta Y_{ij} \cdot \Delta X_{ij} \cdot (dx_i^2 + dx_j^2) - \Delta Y_{ij} \cdot \Delta X_{ij} \cdot (dy_i^2 + dy_j^2) - 2 \cdot \Delta Y_{ij} \cdot \Delta X_{ij} \cdot dx_i \cdot dx_j - (\Delta X_{ij}^2 - \Delta Y_{ij}^2) \cdot (dx_i \cdot dy_i - dx_j \cdot dy_i - dx_i \cdot dy_j + dx_j \cdot dy_j) + 2 \cdot \Delta Y_{ij} \cdot \Delta X_{ij} \cdot dy_i \cdot dy_j \}. \quad (25)$$

Pokud vyrovnané souřadnice nevyhovují (členy 2. řádu jsou natolik veliké, že se projeví v souřadnicích bodů při požadované přesnosti), prohlásí se vyrovnané souřadnice za souřadnice přibližné a výpočet se iteruje až do okamžiku, kdy souřadnice vyhovují.

3.2.2 Alternativní výpočet

Výpočet vyrovnání lze také provést alternativním postupem podle [7], který je založen na rozkladu matic obsažených v normální rovnici. V rámci bakalářské práce byl tento postup využit jako kontrolní výpočet a zároveň byl použit pro výpočet normovaných a nekorelovaných oprav.

Jako první krok je potřeba sestavit matici soustavy normálních rovnic N , která má tvar:

$$N = A^T \cdot P \cdot A, \quad (26)$$

matici N lze dále rozložit podle vzorce:

$$N = U \cdot S \cdot U^T, \quad (27)$$

kde matice S je diagonální maticí vlastních čísel matice N , matice U je pak ortonormální maticí ($U^{-1} = U^T$) obsahující ve sloupcích odpovídající vlastní vektory. Obě tyto matice mají rozměr (k, k) , kde k je počet neznámých ve vyrovnání. Pro matice U a S platí:

$$\mathbf{U} = (\mathbf{U}_1, \mathbf{U}_2), \quad \mathbf{S} = \begin{pmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{S}_2 \end{pmatrix}. \quad (28)$$

Rozměry dílčích matic jsou pro \mathbf{U}_1 ($k, 3$), pro \mathbf{U}_2 ($k, k-3$), pro \mathbf{S}_2 ($k-3, k-3$), v matici \mathbf{S} poté vyjdou některé prvky (první 3 sloupce a řádky) nulové. Pro tyto matice dále platí:

$$\mathbf{U} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{U}^T = \mathbf{U}_2 \cdot \mathbf{S}_2 \cdot \mathbf{U}_2^T. \quad (29)$$

Dále se označí vektor \mathbf{c} :

$$\mathbf{c} = \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{l}', \quad (30)$$

z takto sestavených matic vypočteme vektor přibližných přírůstků \mathbf{dx}_0 (40), následuje odvození výpočtu dle [7]. Normální rovnice:

$$(\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A}) \cdot \mathbf{dx}_0 + \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{l}' = \mathbf{0}, \quad (31)$$

dále se provede rozklad podle (26) a (27) a dosadí se \mathbf{c} :

$$\mathbf{U} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{U}^T \cdot \mathbf{dx}_0 = -\mathbf{c}. \quad (32)$$

Provede se substituce:

$$\mathbf{U} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{z} = -\mathbf{c}, \quad (33)$$

kde $\mathbf{z} = \mathbf{U}^T \cdot \mathbf{dx}_0$ a dále:

$$\mathbf{S} \cdot \mathbf{z} = -\mathbf{d}, \quad (34)$$

kde $\mathbf{d} = \mathbf{U}^T \cdot \mathbf{c}$. Dále se provede rozklad podobně jako v (28):

$$\begin{pmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{S}_2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{z}_1 \\ \mathbf{z}_2 \end{pmatrix} = -\begin{pmatrix} \mathbf{d}_1 \\ \mathbf{d}_2 \end{pmatrix}, \quad (35)$$

tedy platí:

$$\mathbf{S}_2 \cdot \mathbf{z}_2 = -\mathbf{d}_2 \Rightarrow \mathbf{z}_2 = -\mathbf{S}_2^{-1} \cdot \mathbf{d}_2. \quad (36)$$

Dále platí:

$$\mathbf{z}_1 = \mathbf{0}, \quad \mathbf{dx}_0^T \cdot \mathbf{dx}_0 = \min., \quad \mathbf{d}_2 = \mathbf{U}_2^T \cdot \mathbf{c}, \quad (37)$$

následně vyjdeme ze vztahů:

$$\mathbf{U}^T \cdot \mathbf{dx}_0 = \mathbf{z} \Rightarrow \mathbf{U}_2^T \cdot \mathbf{dx}_0 = \mathbf{z}_2. \quad (38)$$

Po dosazení dostaneme tvar:

$$\mathbf{dx}_0 = \mathbf{U}_2 \cdot \mathbf{z}_2 = -\mathbf{U}_2 \cdot \mathbf{S}_2^{-1} \cdot \mathbf{d}_2, \quad (39)$$

ze kterého plyne konečný vztah:

$$\mathbf{dx}_0 = -\mathbf{U}_2 \cdot \mathbf{S}_2^{-1} \cdot \mathbf{U}_2^T \cdot \mathbf{c}. \quad (40)$$

Jde o partikulární řešení normálních rovnic za podmínky $\mathbf{dx}^T \cdot \mathbf{dx} = \min.$, vektor přibližných přírůstků \mathbf{dx}_0 má rozměr $(k, 1)$. Řešení soustavy normálních rovnic se skládá z partikulárního řešení (\mathbf{dx}_0) a z řešení přidružené homogenní soustavy normálních rovnic (tvořící vektorový podprostor). Jako další je tedy potřeba určit matici \mathbf{H} o rozměru $(k, 3)$, která je ortonormální bází nulového prostoru matice \mathbf{A} . Tato matice se pak použije pro výpočet vektoru \mathbf{t} ve vzorci (44) a konečných přírůstků ve vzorci (42), vyjde se ze vztahů:

$$(\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A}) \cdot \mathbf{dx} = \mathbf{0}, \quad \mathbf{A} \cdot \mathbf{dx} = \mathbf{0}, \quad (41)$$

řešení pak má tvar:

$$\mathbf{dx} = \mathbf{dx}_0 + \mathbf{H} \cdot \mathbf{t}, \quad (42)$$

omezí se podmínkami:

$$\mathbf{B}^T \cdot \mathbf{dx} = \mathbf{0}, \quad \mathbf{B}^T \cdot (\mathbf{dx}_0 + \mathbf{H} \cdot \mathbf{t}) = \mathbf{0}. \quad (43)$$

Vektor \mathbf{t} se tedy vyjádří jako:

$$\mathbf{t} = -(\mathbf{B}^T \cdot \mathbf{H})^{-1} \cdot \mathbf{B}^T \cdot \mathbf{dx}_0. \quad (44)$$

Následuje výpočet vyrovnaných neznámých (souřadnic, OP), které jsou výsledným řešením soustavy normálních rovnic:

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}_0 + \mathbf{dx}. \quad (45)$$

V dalším kroku se přistoupí k výpočtu oprav (48) a normovaných oprav (50), které mohou být užitečné při identifikaci odlehlých měření. Vyřazení odlehlých měření a opakovaný výpočet vyrovnaní bez nich může vést ke zlepšení přesnosti vyrovnaných souřadnic, pokud i po vyřazení bude v souboru zbývat dostatečný počet měření. Pro opravy platí:

$$\mathbf{v} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{dx}_0 + \mathbf{l}' = \mathbf{A} \cdot \mathbf{dx} + \mathbf{l}', \quad (46)$$

dosadí se za \mathbf{dx}_0 :

$$\mathbf{v} = -\mathbf{A} \cdot \mathbf{U}_2 \cdot \mathbf{S}_2^{-1} \cdot \mathbf{U}_2^T \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{l}' + \mathbf{l}' = (\mathbf{E} - \mathbf{A} \cdot \mathbf{U}_2 \cdot \mathbf{S}_2^{-1} \cdot \mathbf{U}_2^T \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P}) \cdot \mathbf{l}', \quad (47)$$

kde $(\mathbf{E} - \mathbf{A} \cdot \mathbf{U}_2 \cdot \mathbf{S}_2^{-1} \cdot \mathbf{U}_2^T \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P})$ je redundantní maticí \mathbf{R} (platí $\mathbf{R} \cdot \mathbf{R} = \mathbf{R}$) a \mathbf{E} je jednotkovou maticí, obě o rozměru (n, n) . Výpočet vektoru oprav pak lze zapsat jako:

$$\mathbf{v} = \mathbf{R} \cdot \mathbf{l}'. \quad (48)$$

Dále se vypočítá kovarianční matice oprav, kterou dostaneme aplikací zákona hromadění směrodatných odchylek (ZHSO) na vzorec (48):

$$\mathbf{M}_v = \sigma_0^2 \cdot \mathbf{R} \cdot \mathbf{P}^{-1} \cdot \mathbf{R}^T = \sigma_0^2 \cdot \mathbf{R} \cdot \mathbf{P}^{-1}, \quad (49)$$

matice \mathbf{M}_v má tedy rozměr (n, n) , na diagonále obsahuje kvadráty směrodatných odchylek a zbytek matice vyplňují kovariance. Nakonec se provede výpočet normovaných oprav:

$$\tilde{v}_i = \frac{v_i}{\sigma_0 \cdot \sqrt{m_{ii}}}, \quad (50)$$

kde \tilde{v}_i je normovaná oprava, v_i je oprava z vektoru oprav \mathbf{v} ze vzorce (48), σ_0 je jednotková směrodatná odchylka apriorní ($\sigma_0 = 1$) a m_{ii} je prvek na diagonále kovarianční matice \mathbf{M}_v . Měření je považováno za odlehlé, pokud příslušná normovaná oprava překročí hodnotu 1,96 na hladině spolehlivosti 95 %. Normované opravy mají rozptyl 1 a střední hodnotu 0.

Jako poslední se vypočte vektor nekorelovaných oprav (51), pro jeho výpočet je potřeba provést rozklad matice \mathbf{M}_v podobně jako ve vzorcích (27) a (28), tedy dostaneme diagonální matici vlastních čísel o rozměru (n, n) , nazveme ji \mathbf{D} , dále dostaneme matici vlastních vektorů, také o rozměru (n, n) , kterou nazveme \mathbf{V} . Z těchto matic získáme matice \mathbf{D}_2 (n', n'), kde n' je počet nadbytečných měření, a \mathbf{V}_2 (n, n'), matice \mathbf{D}_2 odpovídá matici \mathbf{S}_2 a matice \mathbf{V}_2 matici \mathbf{U}_2 ze vzorce (28), jen o jiných rozměrech. Vektor nekorelovaných oprav se vypočte jako:

$$\tilde{\tilde{\mathbf{v}}} = \mathbf{D}_2^{-\frac{1}{2}} \cdot \mathbf{V}_2^T \cdot \mathbf{v}, \quad (51)$$

vektor nekorelovaných oprav $\tilde{\tilde{\mathbf{v}}}$ má rozměr $(n', 1)$ a představuje fiktivní opravy (nejdou přiřadit žádnému konkrétnímu měření), vypovídající o celkové přesnosti souboru měření. Nekorelované opravy mají stejně jako normované opravy rozptyl 1 a střední hodnotu rovnou 0. Kovariance nekorelovaných oprav jsou nulové, tedy:

$$\text{cov}(\tilde{\tilde{v}}_i, \tilde{\tilde{v}}_j) = 0. \quad (52)$$

3.3 Charakteristiky přesnosti

Základní charakteristikou přesnosti vyrovnané sítě je dle [4] jednotková směrodatná odchylka aposteriorní s_0 , která vypovídá o tom, jak moc odpovídají přesnosti zadané do vyrovnaní skutečným přesnostem měření, s_0 se počítá podle vzorce:

$$s_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v}}{n'}}, \quad (53)$$

kde n' je počet nadbytečných měření, \mathbf{v} je vektor oprav ze vzorce (22) nebo (48) a \mathbf{P} je matice vah ze vzorce (3). Pokud byla přesnost měření odhadnuta dobře, s_0 by se měla blížit σ_0 (apriorní směrodatné odchylce), to se dá ověřit statistickým testem podle chí-kvadrátu $\chi^2(n')$ dle [4]. Jako nulovou (testovanou) hypotézu zvolíme $H_0: s_0 = \sigma_0$, jako alternativní hypotézu poté $H_2: s_0 \neq \sigma_0$. Aby nebyla zamítnuta nulová hypotéza, tak na zvolené hladině spolehlivosti α (zde $\alpha = 0,05$ a tedy pravděpodobnost $P = 1 - \alpha = 0,95 \Rightarrow$ hladina významnosti 95 %) musí platit:

$$\sqrt{\frac{\chi_{n'}^2\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)}{n'}} \leq \frac{s_0}{\sigma_0} \leq \sqrt{\frac{\chi_{n'}^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{n'}}. \quad (54)$$

Rozdělení chí-kvadrát je složitě počítáno a pro určení jeho hodnot se nejčastěji používají tabulkové hodnoty či výpočet v některém programu (zde Matlab), např. pro počet stupňů volnosti $n' = 23$ a hladinu spolehlivosti (významnosti) $\alpha = 0,05$ platí kritické meze

$$\sqrt{\frac{\chi_{n'}^2\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)}{n'}} = 0,713 \text{ a } \sqrt{\frac{\chi_{n'}^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{n'}} = 1,287.$$

Další charakteristikou přesnosti sítě je kovarianční matice určovaných neznámých, u volné sítě se podle [4] vypočítá jako:

$$\mathbf{M}_X = \sigma_0^2 \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A} & \mathbf{B} \\ \mathbf{B}^T & \mathbf{0} \end{pmatrix}^{-1}, \quad (55)$$

nebo podle [7] jako:

$$\mathbf{M}_X = \sigma_0^2 \cdot \mathbf{C}_1, \quad (56)$$

kde se vychází ze vztahu:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A} & \mathbf{B} \\ \mathbf{B}^T & \mathbf{0} \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} \mathbf{C}_1 & \mathbf{C}_2 \\ \mathbf{C}_2^T & \mathbf{C}_3 \end{pmatrix}. \quad (57)$$

Z daného vztahu též vyplývá alternativní vyjádření redundantní matice \mathbf{R} :

$$\mathbf{R} = (\mathbf{E} - \mathbf{A} \cdot \mathbf{C}_1 \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P}). \quad (58)$$

Kovarianční matice neznámých \mathbf{M}_X (k, k) má na diagonále kvadráty směrodatných odchylek neznámých (určovaných souřadnic a OP) a na zbytku pozic kovariance. Matice má tedy tvar:

$$\mathbf{M}_X = \begin{pmatrix} \sigma_{X1}^2 & cov_{X1Y1} & \dots \\ cov_{X1Y1} & \sigma_{Y1}^2 & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix}. \quad (59)$$

Pomocí kovarianční matice neznámých tedy lze určit směrodatné odchylky jednotlivých neznámých. Jako další charakteristika přesnosti se používá směrodatná odchylka souřadnicová (kterou lze vypočítat z prvků kovarianční matice):

$$\sigma_{xy} = \sqrt{\frac{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2}{2}}, \quad (60)$$

nebo směrodatná odchylka polohová:

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2}. \quad (61)$$

Jednou z nejlepších charakteristik přesnosti určeného bodu je pak v rovině střední elipsa chyb, kterou můžeme pro každý bod zvlášť dopočítat z kovariancí a směrodatných odchylek z kovarianční matice (59). Konkrétně potřebujeme dopočítat parametry elipsy chyb, tedy hlavní poloosu a , vedlejší poloosu b a úhel otočení ω . Pro výpočet poloos a a b (které jsou také odmocninami z vlastních čísel kovarianční matice \mathbf{M}_X) je potřeba provést výpočet parametru c podle vzorce:

$$c = \sqrt{(\sigma_X^2 - \sigma_Y^2)^2 + 4 \cdot cov_{XY}^2}, \quad (62)$$

poloosa a se poté vypočte jako:

$$a = \sqrt{\frac{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + c}{2}}, \quad (63)$$

poloosa b se následně vypočte jako:

$$b = \sqrt{\frac{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 - c}{2}}. \quad (64)$$

Dále se vypočítá úhel otočení ω :

$$\omega = \operatorname{arctg}\left(\frac{2 \cdot \operatorname{cov}_{XY}}{\sigma_X^2 - \sigma_Y^2}\right), \quad (65)$$

kde úhel ω zároveň představuje směrník hlavní poloosy a střední elipsy chyb.

Nakonec se přistoupí k výpočtu směrodatných odchylek vyrovnaných měření, pro přehlednější zápis vektorů zvolíme $\bar{\mathbf{l}} = \mathbf{F}(\mathbf{X})$ ze vzorce (23). Kovarianční matice vyrovnaných měření má poté tvar:

$$\mathbf{M}_{\bar{\mathbf{l}}} = \sigma_0^2 \cdot (\mathbf{A} \cdot \mathbf{C}_1 \cdot \mathbf{A}^T). \quad (66)$$

Stejně jako u ostatních kovariančních matic platí, že na diagonále jsou kvadráty příslušných směrodatných odchylek a zbytek matice vyplňují kovariance.

4. Výsledky

Výsledkem bakalářské práce jsou vyrovnané souřadnice bodů mikrosítí, vyrovnaná měření a charakteristiky přesnosti, stejně jako jejich vzájemné srovnání napříč použitými výpočetními programy (Groma, KNET, GNU Gama) a referenčním výpočtem v programu Matlab. Výsledné hodnoty z vyrovnání v některých výpočetních programech jsou částečně zaokrouhleny z důvodu vzájemného porovnání mezi programy (některé programy uvádějí výsledky s různým počtem desetinných míst).

Tab. 5: Přehledka bodů zpracovávaných mikrosítí

Počty bodů mikrosítí				
Číslo mikrosítě	Bodů celkem	Opěrné body (ZVS)	Volná stanoviska	Určované body mikrosítě
201	9	3	2	4
202	8	3	1	4
222	8	3	1	4
223	7	3	1	3

Tab. 6: Přehledka měření a určovaných neznámých v mikrosítích

Počty měření a neznámých v mikrosítích					
Číslo mikrosítě	Max/Skutečně měřeno/urč.	Měření délek	Měření směrů	Celkem měření	Určované neznámé
201	Max. možných	36	72	108	27
	Zaměřených/Urč.	19	25	44	24
202	Max. možných	28	56	84	24
	Zaměřených/Urč.	13	19	32	21
222	Max. možných	28	56	84	24
	Zaměřených/Urč.	13	19	32	21
223	Max. možných	21	42	63	21
	Zaměřených/Urč.	9	12	21	18

Maximální možný počet měření délek v síti je počítán dle vzorce:

$$n_d = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (m - 1), \quad (67)$$

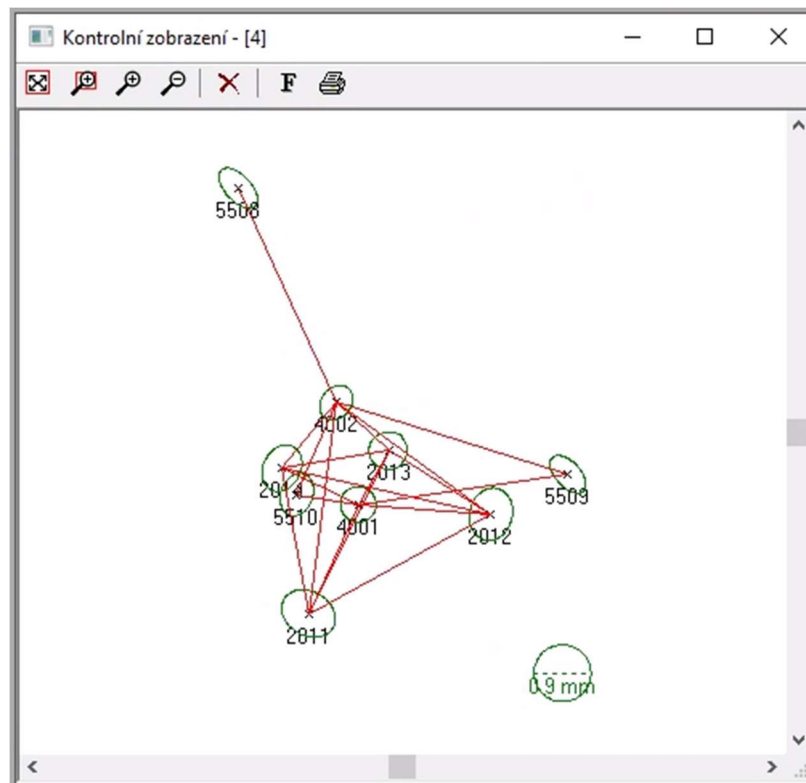
kde m je počet bodů v síti, maximální možný počet měřených směrů se pak počítá obdobně jako:

$$n_s = m \cdot (m - 1). \quad (68)$$

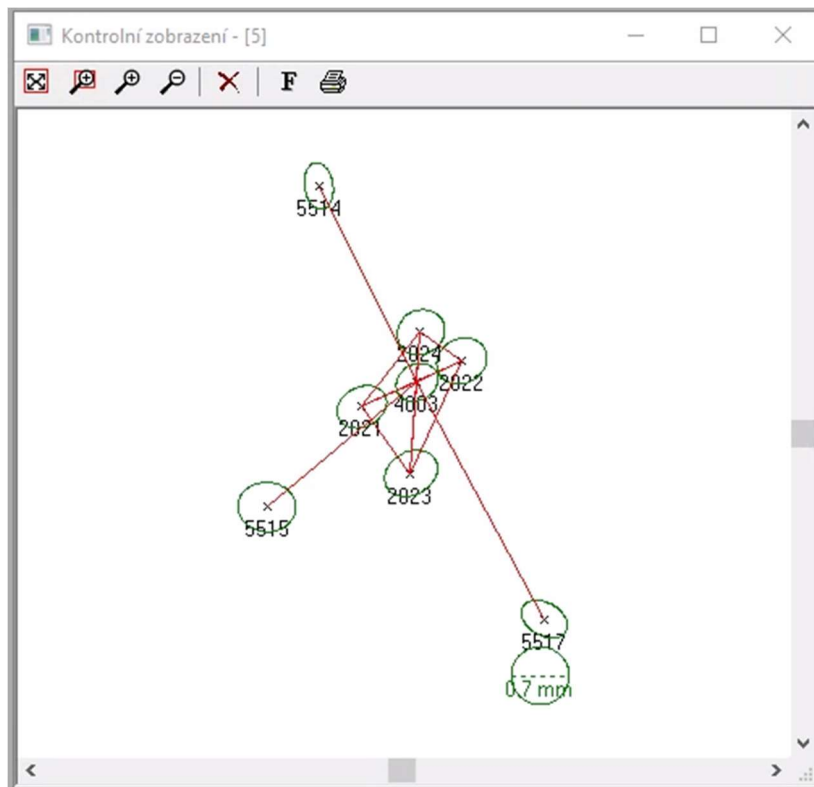
Celkový max. mož. počet měření v síti je tedy $n_{max} = n_d + n_s$, což je po rozepsání a upravení:

$$n = \frac{3}{2} \cdot m \cdot (m - 1). \quad (69)$$

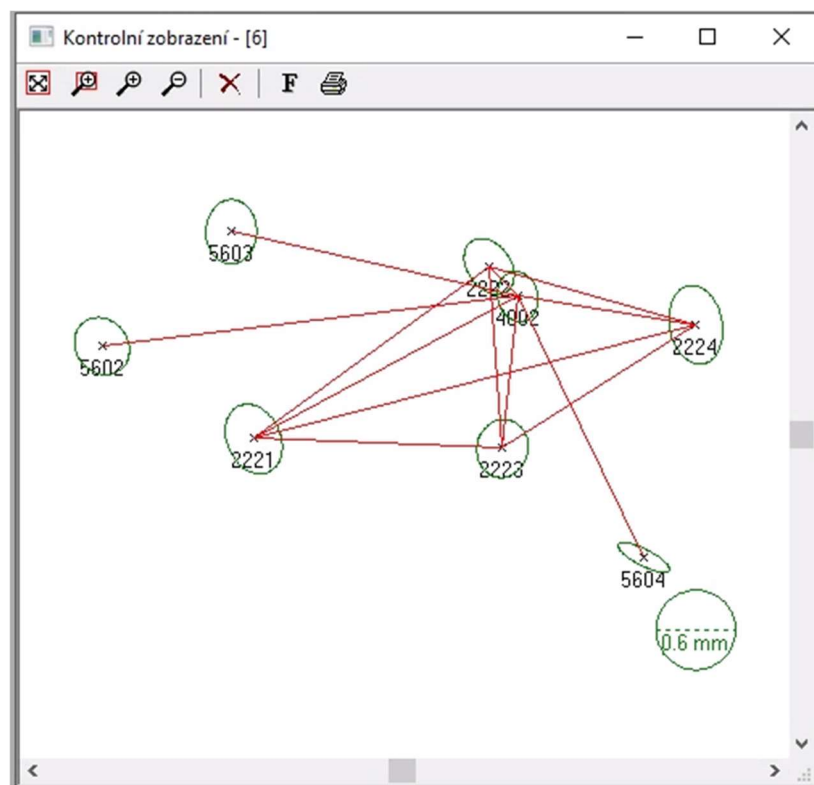
V programu Groma byla dále vyhotovena schémata rozložení mikrosítí:



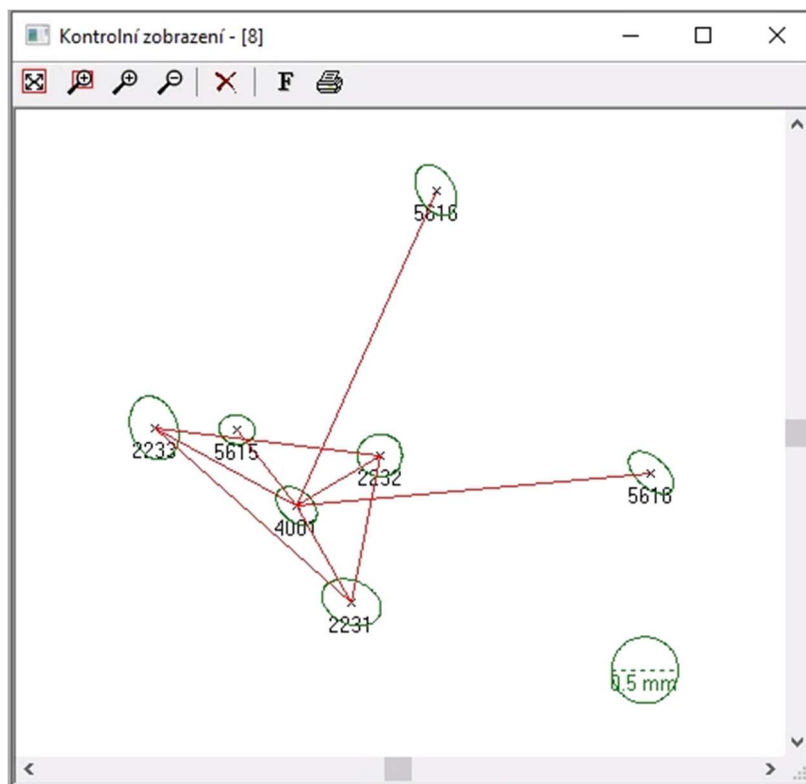
Obr. 6: Schéma rozložení mikrosítě č. 201 (Groma)



Obr. 7: Schéma rozložení mikrosítě č. 202 (Groma)



Obr. 8: Schéma rozložení mikrosítě č. 222 (Groma)



Obr. 9: Schéma rozložení mikrosítě č. 223 (Groma)

Ze schémat na obr. 6 až 9 je vidět, že body v mikrosítích jsou rovnoměrně rozloženy a mají poměrně pravidelný tvar, což jsou předpoklady pro správné vybudování měřických sítí bodů.

4.1 Porovnání souřadnic

U všech mikrosítí byly vyrovnány souřadnice opěrných připojovacích bodů (ZVS), volných stanovisek (bod 4001 atd.) a vlastních bodů mikrosítí. V následujících tabulkách jsou uvedena srovnání vyrovnaných souřadnic pro jednotlivé sítě a výpočetní programy, všechny souřadnice byly počítány v zavedeném systému S-JTSK-M (viz kapitola 2) a jsou uváděny na desetiny milimetru (počet desetinných míst v základu uváděný programem Groma).

Tab. 7: Porovnání vyrovnaných souřadnic bodů mikrosítě č. 201

Vyrovnané souřadnice bodů mikrosítě č. 201 (S-JTSK-M)					
Bod	Y/X [m]	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
35508 (ZVS)	Y	607267,4952	607267,4952	607267,4952	607267,4952
	X	1087323,4377	1087323,4377	1087323,4377	1087323,4377
35509 (ZVS)	Y	607068,0015	607068,0015	607068,0015	607068,0015
	X	1087496,5059	1087496,5059	1087496,5059	1087496,5059
35510 (ZVS)	Y	607232,2534	607232,2534	607232,2534	607232,2534
	X	1087508,6114	1087508,6114	1087508,6114	1087508,6114
4001	Y	607195,2261	607195,2261	607195,2261	607195,2261
	X	1087514,5915	1087514,5915	1087514,5915	1087514,5915
4002	Y	607208,5273	607208,5273	607208,5274	607208,5274
	X	1087452,5359	1087452,5359	1087452,5359	1087452,5359
2011	Y	607225,1398	607225,1398	607225,1398	607225,1398
	X	1087580,2269	1087580,2269	1087580,2269	1087580,2269
2012	Y	607114,3419	607114,3419	607114,3419	607114,3419
	X	1087520,5057	1087520,5057	1087520,5058	1087520,5058
2013	Y	607176,8322	607176,8322	607176,8322	607176,8322
	X	1087482,2218	1087482,2218	1087482,2218	1087482,2218
2014	Y	607241,1497	607241,1497	607241,1497	607241,1497
	X	1087492,8663	1087492,8663	1087492,8663	1087492,8663

Tab. 8: Porovnání vyrovnaných souřadnic bodů mikrosítě č. 202

Vyrovnané souřadnice bodů mikrosítě č. 202 (S-JTSK-M)					
Bod	Y/X [m]	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
35514 (ZVS)	Y	606872,1692	606872,1692	606872,1693	606872,1693
	X	1087911,0379	1087911,0379	1087911,0379	1087911,0379
35515 (ZVS)	Y	606910,3964	606910,3964	606910,3964	606910,3964
	X	1088148,7091	1088148,7091	1088148,7091	1088148,7091
35517 (ZVS)	Y	606704,8464	606704,8464	606704,8464	606704,8464
	X	1088231,2560	1088231,2560	1088231,2560	1088231,2560
4003	Y	606799,2114	606799,2114	606799,2114	606799,2114
	X	1088055,6234	1088055,6234	1088055,6234	1088055,6234
2021	Y	606840,4392	606840,4392	606840,4392	606840,4392
	X	1088073,6465	1088073,6465	1088073,6465	1088073,6465
2022	Y	606765,7125	606765,7125	606765,7125	606765,7125
	X	1088039,9103	1088039,9104	1088039,9104	1088039,9104
2023	Y	606803,6573	606803,6574	606803,6573	606803,6573
	X	1088123,9148	1088123,9148	1088123,9148	1088123,9148
2024	Y	606796,3047	606796,3047	606796,3047	606796,3047
	X	1088018,7357	1088018,7357	1088018,7357	1088018,7357

Tab. 9: Porovnání vyrovnaných souřadnic bodů mikrosítě č. 222

Vyrovnané souřadnice bodů mikrosítě č. 222 (S-JTSK-M)					
Bod	Y/X [m]	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
35602 (ZVS)	Y	600852,2593	600852,2593	600852,2593	600852,2593
	X	1093691,6893	1093691,6893	1093691,6893	1093691,6893
35603 (ZVS)	Y	600801,8260	600801,8260	600801,8260	600801,8260
	X	1093647,2508	1093647,2508	1093647,2508	1093647,2508
35604 (ZVS)	Y	600640,2817	600640,2817	600640,2817	600640,2817
	X	1093774,5649	1093774,5649	1093774,5649	1093774,5649
4002	Y	600689,4498	600689,4499	600689,4499	600689,4499
	X	1093672,4096	1093672,4096	1093672,4096	1093672,4096
2221	Y	600793,0496	600793,0496	600793,0496	600793,0496
	X	1093728,1722	1093728,1722	1093728,1722	1093728,1722
2222	Y	600700,6072	600700,6072	600700,6073	600700,6073
	X	1093660,6887	1093660,6887	1093660,6887	1093660,6887
2223	Y	600695,4363	600695,4363	600695,4363	600695,4363
	X	1093731,8676	1093731,8676	1093731,8676	1093731,8676
2224	Y	600619,9721	600619,9721	600619,9721	600619,9721
	X	1093683,4150	1093683,4150	1093683,4150	1093683,4150

Tab. 10: Porovnání vyrovnaných souřadnic bodů mikrosítě č. 223

Vyrovnané souřadnice bodů mikrosítě č. 223 (S-JTSK-M)					
Bod	Y/X [m]	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
35615 (ZVS)	Y	600006,9634	600006,9634	600006,9634	600006,9634
	X	1093804,3083	1093804,3083	1093804,3083	1093804,3083
35616 (ZVS)	Y	599926,4163	599926,4163	599926,4163	599926,4163
	X	1093708,1830	1093708,1830	1093708,1830	1093708,1830
35618 (ZVS)	Y	599839,9863	599839,9863	599839,9863	599839,9863
	X	1093821,8967	1093821,8967	1093821,8967	1093821,8967
4001	Y	599983,0706	599983,0706	599983,0706	599983,0706
	X	1093835,2173	1093835,2173	1093835,2173	1093835,2173
2231	Y	599960,9576	599960,9576	599960,9576	599960,9576
	X	1093873,8583	1093873,8583	1093873,8583	1093873,8583
2232	Y	599949,2978	599949,2979	599949,2978	599949,2978
	X	1093814,9921	1093814,9920	1093814,9921	1093814,9921
2233	Y	600040,1636	600040,1636	600040,1636	600040,1636
	X	1093803,6837	1093803,6837	1093803,6837	1093803,6837

Z tab. 7 až 10 vyplývá, že vyrovnané souřadnice bodů se mezi jednotlivými výpočetními programy neliší vůbec anebo jen minimálně, tedy v jedné desetinné milimetru (hodnoty lišící se od referenčního výpočtu v Matlabu jsou zvýrazněny). Takové rozdíly jsou vzhledem k zadané směrodatné odchylce souřadnicové 1,5 mm zcela zanedbatelné. Obecně by se těžko hledal běžný případ měření, kde by byly natolik přísné požadavky na přesnost, aby se vzájemné rozdíly vyrovnaných souřadnic z programů nedaly zanedbat.

4.2 Porovnání charakteristik přesnosti

Pro každou síť byly v jednotlivých programech vypočteny charakteristiky přesnosti vyrovnaných bodů, od sm. odch. jednotlivých souřadnic až po prvky středních elips chyb. Následují tabulky srovnání výsledků v jednotlivých sítích a mezi výpočetními programy.

Tab. 11: Porovnání jednotkových směrodatných odchylek mikrosítí

Jednotkové směrodatné odchylky apriorní a aposteriorní					
Síť	Apriorní/ Aposteriorní/ Poměr	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
201	Apriorní	1,00	1,00	4,00	1,00
	Aposteriorní	1,05	1,05	4,19	1,05
	Apos./Apri.	1,05	1,05	1,05	1,05
202	Apriorní	1,00	1,00	4,00	1,00
	Aposteriorní	0,67	0,66	2,64	0,67
	Apos./Apri.	0,67	0,66	0,66	0,67
222	Apriorní	1,00	1,00	4,00	1,00
	Aposteriorní	0,48	0,47	1,95	0,47
	Apos./Apri.	0,48	0,47	0,49	0,47
223	Apriorní	1,00	1,00	4,00	1,00
	Aposteriorní	0,47	0,46	1,88	0,47
	Apos./Apri.	0,47	0,46	0,47	0,47

Program KNET odhaduje (volí) jednotkovou směrodatnou odchylku aposteriorní sám, určuje ji výpočtem před samotným vyrovnaním. Z toho důvodu nelze porovnávat apriorní a aposteriorní odchylku z KNETu s ostatními programy, nicméně lze porovnávat

jejich poměr. Jednotlivé odchylky a poměry se navzájem neliší anebo jsou jen minimálně rozdílné (tab. 11). Aposteriorní sm. odch. v sítích 201 a 202 lze považovat za apriorní sm. odchylku, tedy nepřekračuje meze určené rozdělením chí-kvadrát (54) na 95% hladině významnosti, v sítích 222 a 223 je překročena spodní mez (z toho vyplývá že přesnost měření je lepší než přesnost odhadnutá před vyrovnáním, výsledky ovšem vyhovují zadané směrodatné odchylce souřadnicové 1,5 mm, tedy není potřeba měnit odhad přesností). Rozdíly mezi programy jsou tedy zcela zanedbatelné. Pro účely porovnání bylo při výpočtech charakteristik přesnosti počítáno s jednotkovou směrodatnou odchylkou aposteriorní.

4.2.1 Směrodatné odchylky vyrovnaných souřadnic

Následuje porovnání směrodatných odchylek jednotlivých souřadnic bodů všech sítí v jednotlivých výpočetních programech.

Tab. 12: Porovnání směrodatných odchylek vyrovnaných souřadnic mikrosítě č. 201

Směrodatné odchylky vyrovnaných souřadnic mikrosítě č. 201					
Bod	σ_Y/σ_X [mm]	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
35508 (ZVS)	σ_Y	0,6	0,6	0,6	0,6
	σ_X	0,7	0,7	0,7	0,7
35509 (ZVS)	σ_Y	0,6	0,6	0,6	0,6
	σ_X	0,6	0,6	0,6	0,6
35510 (ZVS)	σ_Y	0,5	0,5	0,5	0,5
	σ_X	0,7	0,7	0,7	0,7
4001	σ_Y	0,6	0,6	0,6	0,6
	σ_X	0,6	0,6	0,6	0,6
4002	σ_Y	0,5	0,5	0,5	0,5
	σ_X	0,6	0,6	0,6	0,6
2011	σ_Y	0,9	0,9	0,9	0,9
	σ_X	0,8	0,8	0,8	0,8
2012	σ_Y	0,7	0,7	0,7	0,7
	σ_X	0,9	0,9	0,9	0,9
2013	σ_Y	0,6	0,7	0,6	0,6
	σ_X	0,6	0,6	0,6	0,6
2014	σ_Y	0,7	0,7	0,7	0,7
	σ_X	0,8	0,8	0,8	0,8

Tab. 13: Porovnání směrodatných odchylek vyrovnaných souřadnic mikrosítě č. 202

Směrodatné odchylky vyrovnaných souřadnic mikrosítě č. 202					
Bod	σ_Y/σ_X [mm]	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
35514 (ZVS)	σ_Y	0,4	0,4	0,4	0,4
	σ_X	0,6	0,6	0,6	0,6
35515 (ZVS)	σ_Y	0,7	0,7	0,7	0,7
	σ_X	0,6	0,6	0,6	0,6
35517 (ZVS)	σ_Y	0,6	0,6	0,6	0,6
	σ_X	0,5	0,5	0,5	0,5
4003	σ_Y	0,6	0,6	0,5	0,6
	σ_X	0,5	0,5	0,5	0,5
2021	σ_Y	0,6	0,6	0,6	0,6
	σ_X	0,5	0,5	0,5	0,5
2022	σ_Y	0,6	0,6	0,6	0,6
	σ_X	0,6	0,6	0,6	0,6
2023	σ_Y	0,7	0,7	0,7	0,7
	σ_X	0,6	0,6	0,6	0,6
2024	σ_Y	0,6	0,6	0,6	0,6
	σ_X	0,6	0,6	0,6	0,6

Tab. 14: Porovnání směrodatných odchylek vyrovnaných souřadnic mikrosítě č. 222

Směrodatné odchylky vyrovnaných souřadnic mikrosítě č. 222					
Bod	σ_Y/σ_X [mm]	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
35602 (ZVS)	σ_Y	0,4	0,4	0,4	0,4
	σ_X	0,4	0,4	0,4	0,4
35603 (ZVS)	σ_Y	0,4	0,4	0,4	0,4
	σ_X	0,5	0,5	0,5	0,5
35604 (ZVS)	σ_Y	0,4	0,4	0,4	0,4
	σ_X	0,2	0,2	0,2	0,2
4002	σ_Y	0,3	0,3	0,3	0,3
	σ_X	0,4	0,4	0,4	0,4
2221	σ_Y	0,4	0,4	0,4	0,4
	σ_X	0,5	0,5	0,5	0,5
2222	σ_Y	0,4	0,4	0,4	0,4
	σ_X	0,4	0,4	0,4	0,4
2223	σ_Y	0,4	0,4	0,4	0,4
	σ_X	0,4	0,4	0,4	0,4
2224	σ_Y	0,4	0,4	0,4	0,4
	σ_X	0,6	0,6	0,6	0,6

Tab. 15: Porovnání směrodatných odchylek vyrovnaných souřadnic mikrosítě č. 223

Směrodatné odchylky vyrovnaných souřadnic mikrosítě č. 223					
Bod	σ_Y/σ_X [mm]	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
35615 (ZVS)	σ_Y	0,3	0,3	0,3	0,3
	σ_X	0,3	0,2	0,3	0,3
35616 (ZVS)	σ_Y	0,3	0,3	0,3	0,3
	σ_X	0,4	0,4	0,4	0,4
35618 (ZVS)	σ_Y	0,4	0,4	0,4	0,4
	σ_X	0,3	0,3	0,3	0,3
4001	σ_Y	0,3	0,3	0,3	0,3
	σ_X	0,3	0,3	0,3	0,3
2231	σ_Y	0,5	0,5	0,5	0,5
	σ_X	0,4	0,4	0,4	0,4
2232	σ_Y	0,4	0,4	0,4	0,4
	σ_X	0,3	0,3	0,3	0,3
2233	σ_Y	0,4	0,4	0,4	0,4
	σ_X	0,5	0,5	0,5	0,5

Směrodatné odchylky souřadnic byly pro porovnání zaokrouhleny na desetiny milimetru (programy KNET a GNU Gama poskytují tyto sm. odch. takto zaokrouhleny, byly jim tedy přizpůsobeny ostatní výsledky). Mezi jednotlivými programy nejsou téměř žádné rozdíly, jak je vidět z tab. 13 až 15.

4.2.2 Souřadnicové směrodatné odchylky

Dále se porovnávají souřadnicové směrodatné odchylky bodů v mikrosítích podle jednotlivých výpočetních programů. Výsledky jsou i zde zaokrouhleny na desetiny milimetru kvůli výsledkům z programů KNET a GNU Gama.

Tab. 16: Porovnání souřadnicových směrodatných odchylek bodů mikrosítě č. 201

Souřadnicové směrodatné odchylky bodů mikrosítě č. 201				
Bod	σ_{XY} [mm]			
	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
35508 (ZVS)	0,6	0,6	0,6	0,6
35509 (ZVS)	0,6	0,6	0,6	0,6
35510 (ZVS)	0,6	0,6	0,6	0,6
4001	0,6	0,6	0,6	0,6
4002	0,6	0,6	0,6	0,6
2011	0,8	0,8	0,8	0,8
2012	0,8	0,8	0,8	0,8
2013	0,6	0,6	0,6	0,6
2014	0,7	0,7	0,7	0,7

Tab. 17: Porovnání souřadnicových směrodatných odchylek bodů mikrosítě č. 202

Souřadnicové směrodatné odchylky bodů mikrosítě č. 202				
Bod	σ_{XY} [mm]			
	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
35514 (ZVS)	0,5	0,5	0,5	0,5
35515 (ZVS)	0,7	0,7	0,7	0,7
35517 (ZVS)	0,5	0,5	0,5	0,5
4003	0,5	0,5	0,5	0,5
2021	0,6	0,6	0,6	0,6
2022	0,6	0,6	0,6	0,6
2023	0,7	0,6	0,6	0,7
2024	0,6	0,6	0,6	0,6

Tab. 18: Porovnání souřadnicových směrodatných odchylek bodů mikrosítě č. 222

Souřadnicové směrodatné odchylky bodů mikrosítě č. 222				
Bod	σ_{XY} [mm]			
	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
35602 (ZVS)	0,4	0,4	0,4	0,4
35603 (ZVS)	0,4	0,4	0,4	0,4
35604 (ZVS)	0,3	0,3	0,3	0,3
4002	0,3	0,3	0,3	0,3
2221	0,5	0,5	0,5	0,5
2222	0,4	0,4	0,4	0,4
2223	0,4	0,4	0,4	0,4
2224	0,5	0,5	0,5	0,5

Tab. 19: Porovnání souřadnicových směrodatných odchylek bodů mikrosítě č. 223

Souřadnicové směrodatné odchylky bodů mikrosítě č. 223				
Bod	σ_{XY} [mm]			
	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
35615 (ZVS)	0,3	0,3	0,3	0,3
35616 (ZVS)	0,4	0,4	0,4	0,4
35618 (ZVS)	0,4	0,3	0,4	0,4
4001	0,3	0,3	0,3	0,3
2231	0,4	0,4	0,4	0,4
2232	0,4	0,4	0,4	0,4
2233	0,5	0,5	0,5	0,5

Mezi směrodatnými odchylkami souřadnicovými opět nejsou téměř žádné rozdíly (max. rozdíl je 1 desetina milimetru, viz tab. 16 až 19), odlišnosti výsledků mezi programy jsou tedy při daných požadavcích na přesnost zanedbatelné.

4.2.3 Střední elipsy chyb

Jako poslední byly v rámci charakteristik přesnosti porovnávány parametry středních elips chyb, tedy hlavní poloosa a , vedlejší poloosa b a úhel otočení (směrník osy a) ω .

Tab. 20: Porovnání parametrů středních elips chyb bodů mikrosítě č. 201

Střední elipsy chyb bodů mikrosítě č. 201					
Bod	Parametry a, b [mm]; ω [gon]	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
35508 (ZVS)	a	0,8	0,8	0,8	0,8
	b	0,4	0,4	0,4	0,4
	ω	152,6	152,6	152,6	152,6
35509 (ZVS)	a	0,7	0,8	0,7	0,7
	b	0,4	0,4	0,4	0,4
	ω	152,6	152,6	152,6	152,6
35510 (ZVS)	a	0,7	0,7	0,7	0,7
	b	0,5	0,5	0,5	0,5
	ω	21,4	21,4	21,4	21,4
4001	a	0,6	0,6	0,6	0,6
	b	0,6	0,6	0,6	0,6
	ω	117,4	117,4	117,5	117,5
4002	a	0,6	0,6	0,6	0,6
	b	0,5	0,5	0,5	0,5
	ω	42,9	42,9	42,9	42,9
2011	a	0,9	0,9	0,9	0,9
	b	0,7	0,7	0,7	0,7
	ω	133,5	133,5	133,5	133,5
2012	a	0,9	0,9	0,9	0,9
	b	0,7	0,7	0,7	0,7
	ω	15,2	15,2	15,2	15,2
2013	a	0,6	0,7	0,6	0,6
	b	0,6	0,6	0,6	0,6
	ω	92,8	92,8	92,8	92,8
2014	a	0,8	0,8	0,8	0,8
	b	0,6	0,6	0,6	0,6
	ω	30,1	30,1	30,1	30,1

Tab. 21: Porovnání parametrů středních elips chyb bodů mikrosítě č. 202

Střední elipsy chyb bodů mikrosítě č. 202					
Bod	Parametry a, b [mm]; ω [gon]	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
35514 (ZVS)	a	0,6	0,6	0,6	0,6
	b	0,4	0,4	0,4	0,4
	ω	190,5	190,5	190,5	190,5
35515 (ZVS)	a	0,7	0,7	0,7	0,7
	b	0,6	0,6	0,6	0,6
	ω	104,4	104,4	104,4	104,4
35517 (ZVS)	a	0,6	0,6	0,6	0,6
	b	0,4	0,4	0,4	0,4
	ω	132,7	132,7	132,7	132,7
4003	a	0,6	0,6	0,6	0,6
	b	0,5	0,5	0,5	0,5
	ω	70,6	70,6	70,6	70,6
2021	a	0,7	0,7	0,7	0,7
	b	0,5	0,5	0,5	0,5
	ω	69,3	69,3	69,3	69,3
2022	a	0,7	0,7	0,6	0,7
	b	0,6	0,6	0,6	0,6
	ω	67,4	67,4	67,4	67,4
2023	a	0,7	0,7	0,7	0,7
	b	0,6	0,6	0,5	0,6
	ω	70,6	70,6	70,6	70,6
2024	a	0,6	0,6	0,6	0,6
	b	0,6	0,6	0,6	0,6
	ω	72,7	72,7	72,7	72,7

Tab. 22: Porovnání parametrů středních elips chyb bodů mikrosítě č. 222

Střední elipsy chyb bodů mikrosítě č. 222					
Bod	Parametry a, b [mm]; ω [gon]	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
35602 (ZVS)	a	0,4	0,4	0,4	0,4
	b	0,4	0,4	0,4	0,4
	ω	157,4	157,4	157,4	157,4
35603 (ZVS)	a	0,5	0,5	0,5	0,5
	b	0,4	0,4	0,4	0,4
	ω	1,3	1,3	1,2	1,2
35604 (ZVS)	a	0,4	0,4	0,4	0,4
	b	0,1	0,1	0,1	0,1
	ω	130,0	130,0	130,0	130,0
4002	a	0,4	0,4	0,4	0,4
	b	0,3	0,3	0,3	0,3
	ω	184,5	184,5	184,5	184,5
2221	a	0,5	0,5	0,5	0,5
	b	0,4	0,4	0,4	0,4
	ω	175,2	175,2	175,2	175,2
2222	a	0,4	0,4	0,4	0,4
	b	0,3	0,3	0,3	0,3
	ω	159,8	159,8	159,8	159,8
2223	a	0,4	0,4	0,4	0,4
	b	0,4	0,4	0,4	0,4
	ω	11,9	11,9	11,9	11,9
2224	a	0,6	0,6	0,6	0,6
	b	0,4	0,4	0,4	0,4
	ω	188,4	188,4	188,4	188,4

Tab. 23: Porovnání parametrů středních elips chyb bodů mikrosítě č. 223

Střední elipsy chyb bodů mikrosítě č. 223					
Bod	Parametry a, b [mm]; ω [gon]	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
35615 (ZVS)	a	0,3	0,3	0,3	0,3
	b	0,2	0,2	0,2	0,2
	ω	112,1	112,1	112,1	112,1
35616 (ZVS)	a	0,4	0,4	0,4	0,4
	b	0,3	0,3	0,3	0,3
	ω	166,3	166,3	166,3	166,3
35618 (ZVS)	a	0,4	0,4	0,4	0,4
	b	0,2	0,2	0,2	0,2
	ω	146,2	146,3	146,2	146,2
4001	a	0,4	0,4	0,4	0,4
	b	0,3	0,2	0,3	0,3
	ω	144,6	144,6	144,6	144,6
2231	a	0,5	0,5	0,5	0,5
	b	0,4	0,3	0,4	0,4
	ω	126,8	126,8	126,8	126,8
2232	a	0,4	0,4	0,4	0,4
	b	0,3	0,3	0,3	0,3
	ω	101,5	101,5	101,5	101,5
2233	a	0,5	0,5	0,5	0,5
	b	0,4	0,4	0,4	0,4
	ω	179,0	179,0	179,0	179,0

Z výsledků uvedených v tab. 20 až 23 je jasné vidět, že ani mezi jednotlivými výpočty parametrů středních elips chyb nejsou žádné podstatné rozdíly, hodnoty se opět liší maximálně o desetinu milimetru, příp. o desetinu gonu, a to navíc jen výjimečně.

4.3 Porovnání vyrovnaných měření

Jako další byly vypočteny a formou tabulek porovnána vyrovnaná měření a jejich směrodatné odchylky. S ohledem na rozsah těchto dat se v bakalářské práci uvádí pouze výsledky pro mikrosít' číslo 201.

4.3.1 Vyrovnaná měření

Následuje tabulkové porovnání vypočtených vyrovnaných měření mezi jednotlivými programy.

Tab. 24: Porovnání vyrovnaných délek mikrosítě č. 201

Vyrovnané délky mikrosítě č. 201				
Délka mezi body	Délky [m]			
	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
4001 – 35509	128,5037	128,5037	128,5037	128,5037
4001 – 35510	37,5071	37,5071	37,5071	37,5071
4001 – 2011	72,1306	72,1306	72,1306	72,1306
4001 – 2012	81,1001	81,1001	81,1001	81,1001
4001 – 2013	37,2309	37,2309	37,2309	37,2309
4001 – 2014	50,8032	50,8032	50,8032	50,8032
4002 – 35508	141,9280	141,9280	141,9280	141,9280
4002 – 35509	147,2443	147,2443	147,2443	147,2443
4002 – 35510	60,8883	60,8883	60,8883	60,8883
4002 – 2011	128,7670	128,7670	128,7670	128,7670
4002 – 2012	116,1499	116,1499	116,1499	116,1499
4002 – 2013	43,4262	43,4262	43,4262	43,4262
4002 – 2014	51,8725	51,8725	51,8725	51,8725
2011 – 2012	125,8681	125,8681	125,8681	125,8681
2011 – 2013	109,2640	109,2640	109,2640	109,2640
2011 – 2014	88,8155	88,8155	88,8155	88,8155
2012 – 2014	129,7850	129,7850	129,7850	129,7850
2013 – 2012	73,2850	73,2850	73,2850	73,2850
2013 - 2014	65,1924	65,1924	65,1924	65,1924

Tab. 25: Porovnání vyrovnaných směrů mikrosítě č. 201

Vyrovnané směry mikrosítě č. 201				
Směr z bodu na bod	Směry [gon]			
	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
4001 – 33509	291,00455	291,00455	291,00455	291,00455
4001 – 33510	110,18799	110,18799	110,18799	110,18799
4001 – 2011	27,21797	27,21797	27,21797	27,21797
4001 – 2012	304,64084	304,64084	304,64084	304,64084
4001 – 2013	232,89102	232,89102	232,89102	232,89102
4001 – 2014	128,12484	128,12484	128,12484	128,12484
4002 – 35508	172,72300	172,72300	172,72300	172,72300
4002 – 33509	319,30529	319,30529	319,30529	319,30529
4002 – 35510	25,48190	25,48190	25,48190	25,48190
4002 – 2011	8,23617	8,23617	8,23617	8,23617
4002 – 2012	339,79614	339,79614	339,79614	339,79614
4002 – 2013	347,91682	347,91682	347,91682	347,91682
4002 – 2014	43,29858	43,29858	43,29858	43,29858
2011 – 2012	0,00013	0,00013	0,00013	0,00013
2011 – 2013	360,62703	360,62703	360,62703	360,62703
2011 – 2014	319,93364	319,93364	319,93364	319,93364
2012 – 2011	399,99958	399,99958	399,99958	399,99958
2012 – 2013	66,46442	66,46442	66,46442	66,46442
2012 – 2014	45,13420	45,13420	45,13420	45,13420
2013 – 2011	399,99981	399,99981	399,99981	399,99981
2013 – 2012	305,83774	305,83774	305,83775	305,83775
2013 – 2014	60,40385	60,40385	60,40385	60,40385
2014 – 2011	0,00012	0,00012	0,00013	0,00013
2014 – 2012	325,20123	325,20123	325,20123	325,20123
2014 - 2013	301,09755	301,09755	301,09755	301,09755

Vyrovnaná měření si mezi jednotlivými výpočetními programy téměř naprosto odpovídají, pouze ve dvou směrech se programy liší 1 desetinu gonové vteřiny, což je zcela zanedbatelné.

4.3.2 Směrodatné odchytky vyrovnaných měření

Dále jsou uvedeny tabulky porovnávající výsledné směrodatné odchytky vyrovnaných měření.

Tab. 26: Porovnání směrodatných odchylek vyrovnaných délek mikrosítě č. 201

Sm. odch. vyrovnaných délek mikrosítě č. 201				
Délka mezi body	Směrodatné odchylky [mm]			
	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
4001 – 35509	0,8	0,8	0,8	0,8
4001 – 35510	0,6	0,6	0,6	0,6
4001 – 2011	0,5	0,5	0,5	0,5
4001 – 2012	0,5	0,5	0,5	0,5
4001 – 2013	0,4	0,5	0,4	0,4
4001 – 2014	0,5	0,5	0,5	0,5
4002 – 35508	1,0	1,1	1,0	1,0
4002 – 35509	0,8	0,8	0,8	0,8
4002 – 35510	0,6	0,6	0,6	0,6
4002 – 2011	0,6	0,6	0,6	0,6
4002 – 2012	0,6	0,6	0,6	0,6
4002 – 2013	0,5	0,5	0,5	0,5
4002 – 2014	0,6	0,6	0,6	0,6
2011 – 2012	0,6	0,6	0,6	0,6
2011 – 2013	0,5	0,5	0,5	0,5
2011 – 2014	0,5	0,5	0,5	0,5
2012 – 2014	0,5	0,5	0,5	0,5
2013 – 2012	0,5	0,5	0,5	0,5
2013 - 2014	0,5	0,5	0,5	0,5

Tab. 27: Porovnání směrodatných odchylek vyrovnaných směrů mikrosítě č. 201

Sm. odch. vyrovnaných směrů mikrosítě č. 201				
Směr z bodu na bod	Směrodatné odchylky [cc]			
	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
4001 – 33509	5,3	5,3	5,3	5,3
4001 – 33510	6,0	6,0	6,0	6,0
4001 – 2011	5,1	5,1	5,1	5,1
4001 – 2012	4,8	4,8	4,8	4,8
4001 – 2013	5,6	5,6	5,6	5,6
4001 – 2014	5,4	5,4	5,4	5,4
4002 – 35508	6,3	6,3	6,3	6,3
4002 – 33509	4,8	4,8	4,8	4,8
4002 – 35510	5,6	5,6	5,6	5,6
4002 – 2011	3,6	3,6	3,6	3,6
4002 – 2012	3,9	3,9	3,9	3,9
4002 – 2013	5,3	5,3	5,3	5,3
4002 – 2014	5,1	5,1	5,1	5,1
2011 – 2012	4,2	4,2	4,2	4,2
2011 – 2013	4,0	4,0	4,0	4,0
2011 – 2014	4,3	4,3	4,3	4,3
2012 – 2011	4,2	4,2	4,2	4,2
2012 – 2013	4,2	4,3	4,2	4,2
2012 – 2014	3,9	3,9	3,9	3,9
2013 – 2011	4,2	4,2	4,2	4,2
2013 – 2012	4,8	4,8	4,8	4,8
2013 – 2014	4,7	4,7	4,7	4,7
2014 – 2011	4,6	4,6	4,6	4,6
2014 – 2012	4,0	4,0	4,0	4,0
2014 - 2013	4,4	4,4	4,4	4,4

Ani mezi směrodatnými odchylkami vyrovnaných měření se nevyskytují skoro žádné rozdíly mezi programy, občasné rozdíly dosahují max. 1 desetiny milimetru či 1 desetiny gonové vteřiny (výsledné hodnoty jsou při porovnání výsledků v tab. 27 uvedeny v gonových vteřinách, neboť je tak uvádějí výpočetní programy, správnější by ovšem bylo uvádět tyto hodnoty v miligonech).

4.4 Porovnání oprav

Posledními ověřovanými výsledky vyrovnání jsou opravy měření. Byly zpracovány jak standartní opravy z vyrovnání, tak normované opravy. Navíc byly pro každou síť vypočteny (v programu Matlab) nekorelované opravy, které sice nejdou přiřadit žádným konkrétním měřením, nicméně poskytují další informace o celkové přesnosti měření v sítích. Z důvodu rozsahu souborů oprav zde budou uvedeny pouze opravy mikrosítě č. 201.

4.4.1 Opravy měření

Následují tabulky porovnávající standartní opravy měřených hodnot (délek a směrů) mikrosítě č. 201.

Tab. 28: Porovnání oprav měřených délek mikrosítě č. 201

Opravy měřených délek mikrosítě č. 201				
Délka mezi body	Opravy [mm]			
	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
4001 – 35509	0,69	0,69	0,69	0,69
4001 – 35510	0,05	0,05	0,05	0,05
4001 – 2011	-0,39	-0,39	-0,39	-0,39
4001 – 2012	0,12	0,12	0,13	0,13
4001 – 2013	0,88	0,88	0,88	0,88
4001 – 2014	1,19	1,19	1,19	1,19
4002 – 35508	0,00	0,00	0,00	0,00
4002 – 35509	-0,71	-0,71	-0,71	-0,71
4002 – 35510	-3,74	-3,74	-3,74	-3,74
4002 – 2011	0,03	0,03	0,03	0,03
4002 – 2012	-0,14	-0,14	-0,14	-0,14
4002 – 2013	0,18	0,18	0,18	0,18
4002 – 2014	1,51	1,51	1,51	1,51
2011 – 2012	0,12	0,12	0,12	0,12
2011 – 2013	0,02	0,02	0,02	0,02
2011 – 2014	0,46	0,46	0,46	0,46
2012 – 2014	0,04	0,04	0,04	0,04
2013 – 2012	0,02	0,02	0,02	0,02
2013 - 2014	0,42	0,42	0,42	0,42

Tab. 29: Porovnání oprav měřených směrů mikrosítě č. 201

Opravy měřených směrů mikrosítě č. 201				
Směr z bodu na bod	Opravy [cc]			
	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
4001 – 33509	1,48	1,47	1,49	1,49
4001 – 33510	-8,13	-8,12	-8,13	-8,13
4001 – 2011	2,70	2,70	2,70	2,70
4001 – 2012	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62
4001 – 2013	0,20	0,20	0,20	0,20
4001 – 2014	5,36	5,36	5,37	5,37
4002 – 35508	0,00	0,01	0,00	0,00
4002 – 33509	0,93	0,92	0,92	0,92
4002 – 35510	2,96	2,96	2,96	2,96
4002 – 2011	-3,29	-3,29	-3,28	-3,28
4002 – 2012	2,39	2,39	2,39	2,39
4002 – 2013	3,21	3,21	3,21	3,21
4002 – 2014	-6,20	-6,20	-6,20	-6,20
2011 – 2012	1,27	1,27	1,27	1,27
2011 – 2013	-0,70	-0,70	-0,71	-0,71
2011 – 2014	-0,56	-0,56	-0,56	-0,56
2012 – 2011	-0,19	-0,19	-0,20	-0,20
2012 – 2013	0,19	0,19	0,19	0,19
2012 – 2014	0,00	0,00	0,00	0,00
2013 – 2011	-0,91	-0,91	-0,91	-0,91
2013 – 2012	0,44	0,45	0,45	0,45
2013 – 2014	0,47	0,47	0,47	0,47
2014 – 2011	1,25	1,25	1,25	1,25
2014 – 2012	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73
2014 - 2013	-0,52	-0,52	-0,52	-0,52

Opravy měřených délek se mezi programy zcela shodují, a to na setiny milimetru. U oprav měřených směrů jsou pak mírné odlišnosti, nicméně o maximální velikosti setiny gonové vteřiny, což je zcela zanedbatelná hodnota.

4.4.2 Normované opravy

Následují tabulky porovnávající vypočítané normované opravy (střední hodnota 0, rozptyl 1) délek a směrů mikrosítě č. 201 mezi výpočetními programy.

Tab. 30: Porovnání normovaných oprav měřených délek mikrosítě č. 201

Normované opravy měřených délek mikrosítě č. 201				
Délka mezi body	Normované opravy			
	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
4001 – 35509	1,0	1,0	1,0	1,0
4001 – 35510	0,1	0,1	0,1	0,1
4001 – 2011	0,4	0,4	0,4	0,4
4001 – 2012	0,1	0,1	0,1	0,1
4001 – 2013	0,9	0,9	0,9	0,9
4001 – 2014	1,3	1,3	1,3	1,3
4002 – 35508	0,0	0,0	0,0	0,0
4002 – 35509	1,1	1,1	1,1	1,1
4002 – 35510	4,4	4,4	4,4	4,4
4002 – 2011	0,0	0,0	0,0	0,0
4002 – 2012	0,2	0,2	0,2	0,2
4002 – 2013	0,2	0,2	0,2	0,2
4002 – 2014	1,7	1,7	1,7	1,7
2011 – 2012	0,1	0,1	0,1	0,1
2011 – 2013	0,0	0,0	0,0	0,0
2011 – 2014	0,5	0,5	0,5	0,5
2012 – 2014	0,0	0,0	0,0	0,0
2013 – 2012	0,0	0,0	0,0	0,0
2013 - 2014	0,5	0,5	0,5	0,5

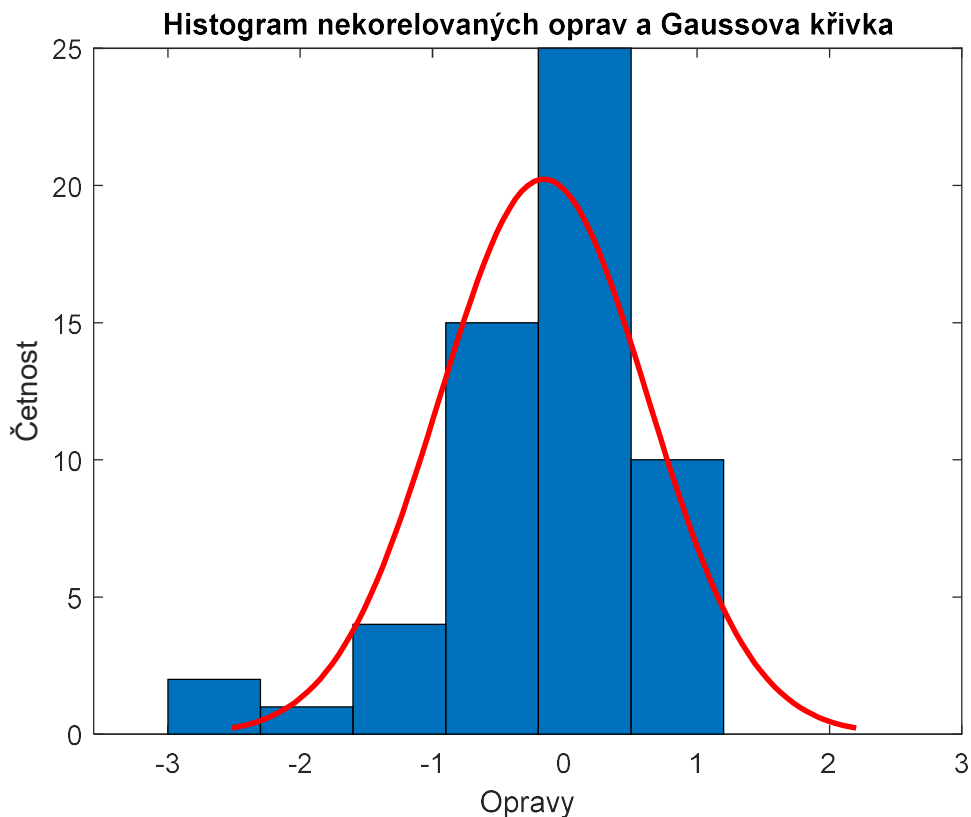
Tab. 31: Porovnání normovaných oprav měřených směrů mikrosítě č. 201

Normované opravy měřených směrů mikrosítě č. 201				
Směr mezi body	Normované opravy			
	Matlab	Groma	KNET	GNU Gama
4001 – 33509	0,4	0,4	0,4	0,4
4001 – 33510	4,4	4,4	4,4	4,4
4001 – 2011	0,7	0,7	0,7	0,7
4001 – 2012	0,4	0,4	0,4	0,4
4001 – 2013	0,1	0,1	0,1	0,1
4001 – 2014	1,7	1,7	1,7	1,7
4002 – 35508	0,0	0,0	0,0	0,0
4002 – 33509	0,2	0,2	0,2	0,2
4002 – 35510	1,0	1,0	1,0	1,0
4002 – 2011	0,6	0,6	0,6	0,6
4002 – 2012	0,5	0,5	0,5	0,5
4002 – 2013	0,9	1,0	0,9	0,9
4002 – 2014	1,7	1,7	1,7	1,7
2011 – 2012	0,3	0,3	0,3	0,3
2011 – 2013	0,1	0,2	0,1	0,1
2011 – 2014	0,1	0,1	0,1	0,1
2012 – 2011	0,0	0,0	0,0	0,0
2012 – 2013	0,0	0,0	0,0	0,0
2012 – 2014	0,0	0,0	0,0	0,0
2013 – 2011	0,2	0,2	0,2	0,2
2013 – 2012	0,1	0,1	0,1	0,1
2013 – 2014	0,1	0,1	0,1	0,1
2014 – 2011	0,3	0,3	0,3	0,3
2014 – 2012	0,2	0,2	0,2	0,2
2014 - 2013	0,1	0,1	0,1	0,1

Mezi vypočtenými normovanými opravami z programů opět nejsou téměř žádné rozdíly, opravy se liší maximálně o jednu desetinu a pouze zcela výjimečně, tyto rozdíly jsou tedy úplně zanedbatelné. Normované opravy jsou z důvodu porovnání uváděny v absolutní hodnotě (výpočetní programy je jinak neuvádějí, a ačkoli z hlediska jejich vyhodnocení to nijak nevadí, zcela správně by měly být uvedeny včetně svého znaménka).

4.4.3 Nekorelované opravy

Z výsledků vyrovnání v Matlabu byly navíc vypočteny nekorelované opravy (51) pro každou síť. Jelikož byly všechny sítě měřeny stejným přístrojem a postupem, a tedy se stejnou přesností, je díky vlastnostem nekorelovaných oprav možné sloučit tyto opravy ze všech měřených sítí dohromady a vyhotovit histogram (obr. 10).



Obr. 10: Histogram nekorelovaných oprav (Matlab)

Výsledné nekorelované opravy zhruba odpovídají normálnímu rozdělení, kterým byly proloženy, lepší by ale bylo proložení souboru o více datech. Nekorelovaných oprav bylo ze sítí vypočteno 57. Dále byla vypočtena střední hodnota $-0,16$ a rozptyl $0,79$. Při vyšším počtu oprav by mělo platit, že střední hodnota se více blíží 0 a rozptyl 1.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zpracování měření mikrosítí pro mostní objekty na dálnici D35 vyrovnáním volné sítě (pomocí MNČ) a následné porovnání výsledků mezi vlastním referenčním výpočtem v programu Matlab a výpočty ve vybraných komerčních výpočetních programech, konkrétně v programech Groma, KNET a GNU Gama.

Celkem byly zpracovány 4 mikrosítě (č. 201, 202, 222 a 223). Měření bylo provedeno totální stanicí Leica TS16 v.č.: 3872489, do výpočtu vyrovnání tedy vstupovaly jako výchozí přesnosti měřených délek a směrů hodnoty uváděné výrobcem (tab. 2), přesnost délek byla vzhledem ke krátkým záměrům počítána bez ppm. Odhad přesnosti z měření nebyl možný, neboť TS16 je velmi přesný přístroj vybavený navíc automatickým cílením a rozdíly mezi skupinami měření tím pádem nejsou buď žádné, anebo jsou naprosto minimální, nedá se z nich tedy rozumně odvozovat přesnost.

Požadavkem na polohovou přesnost určení bodů mikrosítě byla směrodatná odchylka souřadnicová $\sigma_{xy} = 1,5$ mm. Tato odchylka nebyla na žádném bodě v kterékoli mikrosíti překročena, požadavek přesnosti byl tedy splněn. Referenční výpočet v programu Matlab byl kontrolně proveden dvěma metodami (pododdíl 3.2.1 a 3.2.2), zároveň byl kontrolován výpočet inverze matic v Matlabu podle [6] (Greville), všechny kontroly dodaly identické výsledky. Před výpočtem bylo potřeba zajistit co nejvyšší homogenitu dat při výpočtu zápisníků, zpracovaná data totiž dále vstupují do vyrovnání v jednotlivých výpočetních programech (zpracovaná data z jednotlivých programů by se jinak mohla mírně lišit, kvůli zaokrouhlování atd.). Podstatné nesrovnalosti vstupních dat by mohly způsobit mírné rozdíly ve výsledcích vyrovnání, které by nesouvisely s výpočetním postupem a měly by tedy negativní vliv na objektivnost při porovnávání výsledků.

Výsledky vyrovnání všech sítí z jednotlivých programů jsou uvedeny v tabulkách 7 až 31, byly porovnávány vyrovnané souřadnice, jejich směrodatné odchylky, parametry středních elips chyb bodů, vyrovnaná měření (včetně jejich směrodatných odchylek) a opravy měření včetně normovaných oprav. Z výsledků porovnání je jasně patrné, že rozdíly mezi jednotlivými výpočetními programy jsou ve všech sítích a ve všech porovnávaných hodnotách při požadované přesnosti buď vůbec

žádné, anebo naprosto minimální a zcela zanedbatelné (rozdíly mezi vyrovnanými souřadnicemi a směrodatnými odchylkami max. 1 desetina milimetru, a navíc jen výjimečně, v ostatních charakteristikách přesnosti srovnatelně nepatrné). Tyto rozdíly nejsou ani tak způsobeny rozdíly mezi vyrovnáním ve výpočetních programech, jako spíš zaokrouhlováním v rámci programů a zpracováním vstupních hodnot, které je mezi programy nepatrně odlišné. Nelze tedy prokázat jakýkoli rozdíl výsledků vyrovnání, který by nebyl zanedbatelný, a to ani při takto přísných požadavcích na přesnost.

Je nutné uvést, že všechny počítané sítě byly měřeny velmi přesným přístrojem a postupem, byly prostorově dobře navrženy a měřili je odborníci v oboru. Při hůře navržených sítích, obsahujících případné větší chyby a se špatnou konfigurací není vyloučeno, že by rozdíly z vyrovnání mezi programy byly vyšší. Při měření sítí je dobré držet se zásad z [8], tedy měření provedeme co nejpresněji (nespoléháme se jen na vyrovnání), budeme měřit za dobrých a náhodně promíšených podmínek, dále budeme měřit pokud možno přímé veličiny, budeme kontrolovat správné fungování přístroje a minimalizovat vliv systematických chyb, provedeme statistické testy a rozborů výsledků vyrovnání, přiřadíme výsledkům správné váhy a budeme volit pokud možno pravidelný tvar sítě.

Ačkoli jednotlivé programy udávají stejné či téměř naprosto stejné výsledky, každý z nich má svůj specifický přístup k vyrovnání.

Program Groma se od ostatních odlišuje hlavně tím, že neprovádí vyrovnání při protisměrně měřených délkách. Před vyrovnáním se tyto délky musí zprůměrovat. To by se dalo považovat i za výhodu, neboť při větším počtu protisměrně měřených délek by došlo k umělému navýšení váhy dané spojnice, ačkoli přesnost dané spojnice by nebyla odpovídajícím způsobem lepší než přesnosti ostatních měření. To by negativně ovlivnilo výsledek vyrovnání. Nicméně by nejspíš bylo dobré zachovat i variantu protisměrně měřených délek (např. pro případ měření délek s různou přesností atd.). Groma také při výpočtu charakteristik přesnosti počítá vždy s jednotkovou směrodatnou odchylkou aposteriorní (ačkoli lze provést analýzu sítě, kde se počítá s apriorní sm. odch.). Součástí programu je i kontrolní kresba schopná vytvořit jednoduché schéma sítě včetně elips chyb (obr. 6 až 9).

Program KNET do svého fungování v podstatě integruje volně šířený program GNU Gama, nicméně mu přidává vlastní grafické rozhraní, které Gama sama o sobě

postrádá. KNET v základu počítá ve vyrovnání s protisměrně měřenými délkami a je schopen vyhotovit i jednoduché schéma sítě, také nabízí jistá speciální řešení vyrovnání (např. vyrovnání pro řídké matice atd.). KNET se též odlišuje tím, že sám volí (počítá) jednotkovou směrodatnou odchylku apriorní, která pak vstupuje do vyrovnání.

GNU Gama je volně šířený program (je tedy zdarma) a poskytuje detailní výsledky vyrovnání včetně charakteristik přesnosti (parametry elips chyb, normované opravy atd.) a statistických testů. Sama o sobě ale Gama nemá grafické rozhraní (ačkoli existují zvlášť zpracovaná rozšíření, která grafické rozhraní pro Gamu poskytují), v základu se tedy musí ovládat přes příkazovou řádku a uživatel musí být obeznámen s formátem vstupního souboru (*xml*), který musí ručně napsat. Při velkém počtu měření je toto pak problematické.

Osobně si myslím, že nelze jednoznačně říci, který program je nejlepší, každý má své silnější a slabší stránky a záleží více na problému, který právě řešíte, aby se dal vybrat ideální program. Správných a totožných výsledků lze však dosáhnout s každým z nich.

Seznam zdrojů

- [1] Geoprohlížeč ČUZK. Online. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/>. [cit. 2024-04-28].
- [2] ČERNÝ, Aleš. *Geodézie Východní Čechy: Projekt mikrosítí mostních objektů na D35 Janov - Opatovec*. 2023.
- [3] LEICA GEOSYSTEMS AG. *Leica TS16: Robotic total station*. Online. Leica Geosystems. C2024. Dostupné z: <https://leica-geosystems.com/products/total-stations/robotic-total-stations/leica-ts16>. [cit. 2024-05-11].
- [4] HAMPACHER, Miroslav a ŠTRONER, Martin. *Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04900-6.
- [5] MATHWORKS. *Matrix inverse*. Online. MathWorks. C1994-2024. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/inv.html>. [cit. 2024-05-11].
- [6] FIEDLER, Miroslav. *Speciální matice a jejich použití v numerické matematice*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1981.
- [7] BRAUNOVÁ, Hana a SKOŘEPA, Zdeněk. Automatické cílení totálních stanic z pohledu analýzy oprav měření. *Geodetický a kartografický obzor*. 2021, roč. 67/109, č. 6.
- [8] BÖHM, Josef; RADOUCH, Vladimír a HAMPACHER, Miroslav. *Teorie chyb a vyrovnávací počet*. 2. upravené vydání. Praha: Geodetický a kartografický podnik Praha, 1990.

Seznam tabulek

Tab. 1: Požadované přesnosti jednotlivých bodů mikrosítí [2].....	14
Tab. 2: Přesnosti totální stanice Leica TS16 [3]	14
Tab. 3: Kritéria přesnosti pro posuzování výškových měření (nivelace) [2].....	14
Tab. 4: Kritéria přesnosti pro ověření výšky dvou nivelačních bodů [2].....	15
Tab. 5: Přehledka bodů zpracovávaných mikrosítí	28
Tab. 6: Přehledka měření a určovaných neznámých v mikrosítích	28
Tab. 7: Porovnání vyrovnaných souřadnic bodů mikrosítě č. 201.....	32
Tab. 8: Porovnání vyrovnaných souřadnic bodů mikrosítě č. 202.....	33
Tab. 9: Porovnání vyrovnaných souřadnic bodů mikrosítě č. 222.....	34
Tab. 10: Porovnání vyrovnaných souřadnic bodů mikrosítě č. 223.....	34
Tab. 11: Porovnání jednotkových směrodatných odchylek mikrosítí.....	35
Tab. 12: Porovnání směrodatných odchylek vyrovnaných souřadnic mikrosítě č. 201..	36
Tab. 13: Porovnání směrodatných odchylek vyrovnaných souřadnic mikrosítě č. 202..	37
Tab. 14: Porovnání směrodatných odchylek vyrovnaných souřadnic mikrosítě č. 222..	38
Tab. 15: Porovnání směrodatných odchylek vyrovnaných souřadnic mikrosítě č. 223..	38
Tab. 16: Porovnání souřadnicových směrodatných odchylek bodů mikrosítě č. 201.....	39
Tab. 17: Porovnání souřadnicových směrodatných odchylek bodů mikrosítě č. 202.....	39
Tab. 18: Porovnání souřadnicových směrodatných odchylek bodů mikrosítě č. 222.....	40
Tab. 19: Porovnání souřadnicových směrodatných odchylek bodů mikrosítě č. 223.....	40
Tab. 20: Porovnání parametrů středních elips chyb bodů mikrosítě č. 201	41
Tab. 21: Porovnání parametrů středních elips chyb bodů mikrosítě č. 202.....	42
Tab. 22: Porovnání parametrů středních elips chyb bodů mikrosítě č. 222.....	43
Tab. 23: Porovnání parametrů středních elips chyb bodů mikrosítě č. 223.....	44
Tab. 24: Porovnání vyrovnaných délek mikrosítě č. 201	45
Tab. 25: Porovnání vyrovnaných směrů mikrosítě č. 201	46
Tab. 26: Porovnání směrodatných odchylek vyrovnaných délek mikrosítě č. 201	47
Tab. 27: Porovnání směrodatných odchylek vyrovnaných směrů mikrosítě č. 201	48
Tab. 28: Porovnání oprav měřených délek mikrosítě č. 201.....	49
Tab. 29: Porovnání oprav měřených směrů mikrosítě č. 201	50
Tab. 30: Porovnání normovaných oprav měřených délek mikrosítě č. 201	51
Tab. 31: Porovnání normovaných oprav měřených směrů mikrosítě č. 201	52

Seznam obrázků

Obr. 1: Úsek Janov – Opatovec [1].....	8
Obr. 2: Stabilizace bodu [2].....	10
Obr. 3: Základnová deska [2].....	11
Obr. 4: Čepová nivelační značka [2].....	12
Obr. 5: Bod mikrosítě s totální stanicí (vlastní foto).....	13
Obr. 6: Schéma rozložení mikrosítě č. 201 (Groma).....	29
Obr. 7: Schéma rozložení mikrosítě č. 202 (Groma).....	30
Obr. 8: Schéma rozložení mikrosítě č. 222 (Groma).....	30
Obr. 9: Schéma rozložení mikrosítě č. 223 (Groma).....	31
Obr. 10: Histogram nekorelovaných oprav (Matlab).....	53

Seznam zkratk

Bpv	Balt po vyrovnání
GNSS	Globální navigační satelitní systémy
MNČ	Metoda nejmenších čtverců
OTZ	Ochranný tyčový znak
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
S-JTSK-M	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální s měřítkem 1
ZVS	Základní vytyčovací síť
ZHSO	Zákon hromadění směrodatných odchylek

Seznam příloh

1. Seznam souřadnic bodů ZVS
2. Zápisník měření mikrosítě 201
3. Zápisník měření mikrosítě 202 (pouze v elektronické podobě jako zap_202.zap)
4. Zápisník měření mikrosítě 222 (pouze v elektronické podobě jako zap_222.zap)
5. Zápisník měření mikrosítě 223 (pouze v elektronické podobě jako zap_223.zap)
6. Protokol vyrovnání mikrosítě 201 v programu Groma
7. Protokol vyrovnání mikrosítě 201 v programu KNET
8. Protokol vyrovnání mikrosítě 201 v programu GNU Gama
9. Protokol vyrovnání mikrosítě 202 v programu Groma (pouze v elektronické podobě jako protokol_202_groma.pro)
10. Protokol vyrovnání mikrosítě 202 v programu KNET (pouze v elektronické podobě jako protokol_202_knet.txt)
11. Protokol vyrovnání mikrosítě 202 v programu GNU Gama (pouze v elektronické podobě jako protokol_202_gnu_gama.txt)
12. Protokol vyrovnání mikrosítě 222 v programu Groma (pouze v elektronické podobě jako protokol_222_groma.pro)
13. Protokol vyrovnání mikrosítě 222 v programu KNET (pouze v elektronické podobě jako protokol_222_knet.txt)
14. Protokol vyrovnání mikrosítě 222 v programu GNU Gama (pouze v elektronické podobě jako protokol_222_gnu_gama.txt)
15. Protokol vyrovnání mikrosítě 223 v programu Groma (pouze v elektronické podobě jako protokol_223_groma.pro)
16. Protokol vyrovnání mikrosítě 223 v programu KNET (pouze v elektronické podobě jako protokol_223_knet.txt)
17. Protokol vyrovnání mikrosítě 223 v programu GNU Gama (pouze v elektronické podobě jako protokol_223_gnu_gama.txt)
18. Výpočetní skript mikrosítě 201 v programu Matlab
19. Výpočetní skript mikrosítě 202 v programu Matlab (pouze v elektronické podobě jako vyrovnani_202_matlab.m)
20. Výpočetní skript mikrosítě 222 v programu Matlab (pouze v elektronické podobě jako vyrovnani_222_matlab.m)

21. Výpočetní skript mikrosítě 223 v programu Matlab (pouze v elektronické podobě jako vyrovnani_223_matlab.m)
22. Funkce pro výpočet směrníku v programu Matlab
23. Skript na vykreslení histogramu v programu Matlab
24. Skript pro kontrolu inverze matic v programu Matlab
25. Projekt mikrosítí (pouze v elektronické podobě jako projekt_D35_MS.pdf)

Příloha 1: Seznam souřadnic bodů ZVS

ZVS - D35 - Janov - Opatovec			
č.bodu	y	x	Bpv
35501	607514.726	1086699.014	440.304
35502	607457.398	1086780.435	440.718
35503	607478.309	1086903.491	437.130
35504	607395.983	1086993.364	439.704
35505	607431.900	1087094.737	436.642
35506	607348.129	1087140.806	441.522
35507	607333.056	1087331.431	441.571
35508	607267.473	1087323.461	445.113
35509	607068.029	1087496.488	452.751
35510	607232.248	1087508.606	443.569
35511	607084.468	1087727.940	452.954
35512	607017.765	1087715.414	455.685
35513	606941.464	1087910.333	458.257
35514	606872.160	1087911.050	460.900
35515	606910.373	1088148.723	458.502
35516	606728.282	1088011.597	467.079
35517	606704.879	1088231.230	467.554
35518	606592.074	1088289.855	472.228
35519	606588.713	1088386.856	472.803
35520	606474.480	1088449.844	476.877
35521	606460.348	1088557.705	478.827
35522	606353.135	1088619.572	482.594
35523	606325.356	1088737.339	484.407
35524	606214.279	1088796.223	487.384
35525	606197.743	1088890.373	489.577
35526	605997.200	1089020.600	496.885
35527	606045.225	1089054.876	496.753
35528	605937.141	1089113.653	500.461
35529	605903.374	1089206.134	503.944
35530	605778.359	1089260.399	508.105
35531	605767.914	1089334.960	508.896
35532	605664.620	1089365.306	511.274
35533	605591.600	1089487.132	509.969
35534	605525.877	1089498.274	510.666
35535	605431.279	1089643.434	509.357
35536	605328.381	1089551.206	514.510
35537	605225.311	1089651.854	516.553
35538	605260.630	1089801.945	515.246
35539	605190.005	1089994.531	514.086
35540	605082.769	1089931.677	512.586
35541	604967.785	1090063.541	508.460
35542	605011.393	1090122.639	508.260
35543	605042.733	1090178.644	508.905
35544	604831.265	1090220.115	508.079
35545	604981.010	1090404.649	504.857
35546	604842.488	1090331.713	505.456
35547	604692.141	1090338.227	510.969
35548	604511.995	1090501.680	505.749
35549	604581.111	1090674.006	499.149
35550	604501.644	1090574.458	502.923
35551	604369.999	1090605.513	501.707
35552	604335.707	1090679.125	498.467
35553	604230.244	1090697.007	497.271
35554	604199.111	1090757.127	493.791
35555	604056.321	1090793.623	491.816
35556	603979.201	1090885.008	484.211
35557	603914.027	1090847.453	487.629
35558	603769.704	1090984.671	487.040
35559	603739.337	1090936.382	480.962
35560	nivelační značka - jen výška		471.721
35561	603582.887	1091090.938	486.482
35562	603544.789	1091066.519	484.841
35563	603419.100	1091195.200	479.565
35564	603337.157	1091150.824	477.394

35565	603281.496	1091213.679	477.036
35566	603254.542	1091319.875	476.606
35567	603100.363	1091373.309	473.514
35568	603128.174	1091427.193	472.699
35569	603168.887	1091582.532	473.172
35570	602906.470	1091577.405	469.617
35571	602867.377	1091530.332	472.114
35572	602756.481	1091662.716	469.890
35573	602688.237	1091644.646	470.608
35574	602603.582	1091743.958	468.380
35575	602511.026	1091730.083	470.214
35576	602432.343	1091839.135	466.883
35577	602328.880	1091824.011	467.118
35578	602297.653	1091934.748	462.661
35579	601976.377	1091976.897	464.913
35580	601942.247	1092135.615	455.721
35581	601830.883	1092253.294	458.287
35582	601864.472	1092321.102	463.424
35583	601737.044	1092416.599	462.432
35584	601764.350	1092472.832	463.716
35585	601608.592	1092527.772	460.140
35586	601701.801	1092629.489	458.805
35587	601584.515	1092658.880	456.096
35588	601653.076	1092774.405	460.846
35589	601535.066	1092867.690	458.688
35590	601604.140	1092961.344	458.677
35591	601542.216	1093138.895	459.476
35592	601459.338	1093111.756	461.904
35593	601475.786	1093256.239	459.667
35594	601411.672	1093226.913	458.415
35595	601408.268	1093331.524	462.973
35596	601299.314	1093368.109	463.221
35597	601247.962	1093494.372	462.110
35598	601190.267	1093450.456	462.312
35599	601067.731	1093606.046	457.540
35600	601026.923	1093573.090	458.842
35601	600910.715	1093534.716	460.836
35602	600852.248	1093691.686	456.894
35603	600801.817	1093647.268	459.684
35604	600640.302	1093774.551	456.550
35605	600548.147	1093701.202	456.962
35606	600465.726	1093895.359	452.373
35607	600404.155	1093784.315	453.216
35608	600380.933	1093741.753	451.925
35609	600217.359	1093820.570	450.556
35610	600178.304	1093770.128	452.477
35611	600290.829	1094298.708	444.296
35612	600115.126	1094095.422	445.677
35613	600029.858	1093896.029	446.817
35614	600020.107	1093970.095	447.346
35615	600006.965	1093804.303	451.783
35616	599926.417	1093708.192	454.299
35617	599875.963	1093893.478	452.127
35618	599839.984	1093821.893	454.384
35619	599568.320	1093833.981	457.066
35620	599533.070	1093953.181	457.600
35621	599438.857	1093912.774	458.840
35622	599360.552	1093592.393	455.382
35623	599319.964	1093792.435	452.216
35624	599347.278	1093435.154	457.992
35625	599253.359	1093747.042	456.008
35626	608065.200	1086031.000	422.403
35627	607892.200	1086188.400	429.626
35628	607776.900	1086338.800	434.954
35629	607580.300	1086550.400	439.242
35630	607332.731	1086864.830	445.201
35631	600215.699	1094031.209	445.776
35632	599424.172	1093639.856	451.601

Příloha 2: Zápisník měření mikrosítě 201

;ZAKÁZKA: 231116S0201 PŘÍSTROJ: TS16 P 2" R500 VÝR.Č.: 3872489 Měřítko: 1

;DATUM: 16.11.2023

;SIKMÉ DÉLKY

;MĚŘIL: Pešek

;=====

1	2311164001	0.000			
35510		37.612	0.700	110.1888	104.7484 *
35509		128.647	0.400	291.0044	96.9926 *
-1					
2011		72.133	0.000	27.2174	99.5184 *
2011		72.133	0.000	227.2177	300.4817 *
2012		81.184	0.000	304.6409	97.1094 *
2012		81.184	0.000	104.6407	302.8911 *
2013		37.283	0.000	232.8911	96.6196 *
2013		37.283	0.000	32.8911	303.3795 *
2014		50.814	0.000	128.1238	101.3915 *
2014		50.814	0.000	328.1246	298.6086 *
2011		72.133	0.000	27.2175	99.5185 *
2011		72.133	0.000	227.2178	300.4815 *
2012		81.184	0.000	304.6412	97.1092 *
2012		81.185	0.000	104.6413	302.8907 *
2013		37.283	0.000	232.8905	96.6197 *
2013		37.283	0.000	32.8913	303.3797 *
2014		50.814	0.000	128.1239	101.3916 *
2014		50.814	0.000	328.1246	298.6086 *
2011		72.133	0.000	27.2178	99.5187 *
2011		72.132	0.000	227.2179	300.4817 *
2012		81.184	0.000	304.6409	97.1097 *
2012		81.184	0.000	104.6408	302.8911 *
2013		37.283	0.000	232.8906	96.6198 *
2013		37.283	0.000	32.8914	303.3795 *
2014		50.814	0.000	128.1240	101.3915 *
2014		50.814	0.000	328.1247	298.6085 *
2011		72.133	0.000	27.2180	99.5188 *
2011		72.133	0.000	227.2176	300.4816 *
2012		81.184	0.000	304.6409	97.1091 *
2012		81.184	0.000	104.6405	302.8919 *
2013		37.283	0.000	232.8906	96.6198 *
2013		37.283	0.000	32.8915	303.3796 *
2014		50.814	0.000	128.1241	101.3916 *
2014		50.814	0.000	328.1248	298.6085 *
2011		72.132	0.000	27.2177	99.5187 *
2011		72.132	0.000	227.2180	300.4818 *
2012		81.184	0.000	304.6414	97.1091 *
2012		81.184	0.000	104.6412	302.8909 *
2013		37.283	0.000	232.8906	96.6202 *
2013		37.283	0.000	32.8913	303.3797 *
2014		50.814	0.000	128.1239	101.3915 *
2014		50.814	0.000	328.1247	298.6087 *
/					
1	2311164002	0.000			
35510		61.105	0.700	25.4816	105.3173 *
35508		141.973	0.700	172.7230	101.5945 *
35509		147.301	0.697	319.3052	98.2369 *
-1					
2011		128.779	0.000	8.2362	100.8650 *
2011		128.779	0.000	208.2364	299.1351 *
2012		116.159	0.000	339.7958	99.2384 *
2012		116.159	0.000	139.7960	300.7623 *
2013		43.427	0.000	347.9163	100.4627 *
2013		43.427	0.000	147.9166	299.5364 *
2014		51.983	0.000	43.2983	104.1732 *
2014		51.983	0.000	243.2998	295.8270 *
2011		128.779	0.000	8.2365	100.8653 *
2011		128.779	0.000	208.2368	299.1353 *
2012		116.159	0.000	339.7953	99.2384 *

2012	116.158	0.000	139.7960	300.7624	*
2013	43.427	0.000	347.9162	100.4629	*
2013	43.427	0.000	147.9170	299.5364	*
2014	51.983	0.000	43.2989	104.1733	*
2014	51.983	0.000	243.2996	295.8270	*
2011	128.779	0.000	8.2361	100.8655	*
2011	128.779	0.000	208.2366	299.1353	*
2012	116.158	0.000	339.7959	99.2382	*
2012	116.158	0.000	139.7961	300.7625	*
2013	43.427	0.000	347.9161	100.4631	*
2013	43.427	0.000	147.9169	299.5363	*
2014	51.983	0.000	43.2988	104.1733	*
2014	51.983	0.000	243.2996	295.8270	*
2011	128.779	0.000	8.2360	100.8655	*
2011	128.779	0.000	208.2367	299.1354	*
2012	116.158	0.000	339.7956	99.2383	*
2012	116.158	0.000	139.7964	300.7624	*
2013	43.427	0.000	347.9163	100.4630	*
2013	43.427	0.000	147.9171	299.5364	*
2014	51.983	0.000	43.2985	104.1736	*
2014	51.983	0.000	243.2998	295.8272	*
2011	128.779	0.000	8.2365	100.8654	*
2011	128.779	0.000	208.2368	299.1354	*
2012	116.158	0.000	339.7954	99.2383	*
2012	116.158	0.000	139.7961	300.7626	*
2013	43.427	0.000	347.9158	100.4630	*
2013	43.427	0.000	147.9171	299.5365	*
2014	51.983	0.000	43.2987	104.1731	*
2014	51.983	0.000	243.2997	295.8269	*
/					
1 2013	0.000				
2011	109.274	0.000	399.9999	100.8373	*
2011	109.273	0.000	200.0000	299.1630	*
2012	73.305	0.000	305.8380	98.5205	*
2012	73.305	0.000	105.8377	301.4791	*
2014	65.265	0.000	60.4030	103.0181	*
2014	65.265	0.000	260.4040	296.9821	*
2011	109.273	0.000	399.9996	100.8376	*
2011	109.274	0.000	200.0001	299.1631	*
2012	73.305	0.000	305.8378	98.5204	*
2012	73.305	0.000	105.8379	301.4793	*
2014	65.265	0.000	60.4036	103.0179	*
2014	65.265	0.000	260.4043	296.9819	*
2011	109.273	0.000	399.9993	100.8376	*
2011	109.273	0.000	200.0003	299.1630	*
2012	73.305	0.000	305.8375	98.5207	*
2012	73.305	0.000	105.8374	301.4795	*
2014	65.264	0.000	60.4034	103.0183	*
2014	65.265	0.000	260.4044	296.9821	*
2011	109.273	0.000	399.9999	100.8376	*
2011	109.273	0.000	199.9999	299.1630	*
2012	73.305	0.000	305.8373	98.5208	*
2012	73.305	0.000	105.8378	301.4794	*
2014	65.264	0.000	60.4037	103.0181	*
2014	65.264	0.000	260.4043	296.9822	*
2011	109.273	0.000	399.9996	100.8378	*
2011	109.273	0.000	200.0005	299.1632	*
2012	73.305	0.000	305.8376	98.5209	*
2012	73.305	0.000	105.8379	301.4793	*
2014	65.264	0.000	60.4034	103.0180	*
2014	65.264	0.000	260.4043	296.9823	*
/					
1 2012	0.000				
2011	125.908	0.000	399.9991	101.5881	*
2011	125.907	0.000	199.9999	298.4123	*
2014	129.873	0.000	45.1340	102.3520	*
2014	129.873	0.000	245.1347	297.6480	*
2013	73.305	0.000	66.4643	101.4823	*
2013	73.305	0.000	266.4647	298.5174	*

2011	125.907	0.000	399.9993	101.5879	*
2011	125.907	0.000	200.0003	298.4123	*
2014	129.873	0.000	45.1339	102.3521	*
2014	129.873	0.000	245.1347	297.6482	*
2013	73.305	0.000	66.4640	101.4825	*
2013	73.305	0.000	266.4648	298.5173	*
2011	125.907	0.000	399.9987	101.5883	*
2011	125.907	0.000	200.0000	298.4123	*
2014	129.873	0.000	45.1334	102.3520	*
2014	129.873	0.000	245.1349	297.6481	*
2013	73.305	0.000	66.4640	101.4825	*
2013	73.305	0.000	266.4647	298.5175	*
2011	125.907	0.000	399.9990	101.5882	*
2011	125.907	0.000	200.0003	298.4121	*
2014	129.873	0.000	45.1334	102.3524	*
2014	129.873	0.000	245.1350	297.6485	*
2013	73.305	0.000	66.4639	101.4826	*
2013	73.305	0.000	266.4650	298.5175	*
2011	125.907	0.000	399.9992	101.5883	*
2011	125.907	0.000	200.0002	298.4124	*
2014	129.873	0.000	45.1338	102.3522	*
2014	129.873	0.000	245.1346	297.6486	*
2013	73.305	0.000	66.4639	101.4830	*
2013	73.305	0.000	266.4647	298.5176	*
/					
1 2011		0.000			
2012	125.908	0.000	399.9994	98.4135	*
2012	125.908	0.000	199.9996	301.5872	*
2013	109.274	0.000	360.6267	99.1667	*
2013	109.274	0.000	160.6270	300.8342	*
2014	88.830	0.000	319.9336	101.1886	*
2014	88.830	0.000	119.9338	298.8123	*
2012	125.908	0.000	399.9996	98.4132	*
2012	125.908	0.000	200.0004	301.5870	*
2013	109.274	0.000	360.6272	99.1664	*
2013	109.274	0.000	160.6276	300.8338	*
2014	88.830	0.000	319.9337	101.1883	*
2014	88.830	0.000	119.9340	298.8121	*
2012	125.908	0.000	399.9998	98.4133	*
2012	125.908	0.000	200.0004	301.5870	*
2013	109.274	0.000	360.6268	99.1663	*
2013	109.274	0.000	160.6275	300.8339	*
2014	88.830	0.000	319.9335	101.1882	*
2014	88.830	0.000	119.9338	298.8121	*
2012	125.908	0.000	399.9994	98.4132	*
2012	125.908	0.000	200.0006	301.5872	*
2013	109.274	0.000	360.6266	99.1662	*
2013	109.274	0.000	160.6272	300.8340	*
2014	88.830	0.000	319.9333	101.1883	*
2014	88.830	0.000	119.9339	298.8123	*
2012	125.908	0.000	0.0001	98.4134	*
2012	125.908	0.000	200.0006	301.5871	*
2013	109.273	0.000	360.6270	99.1667	*
2013	109.274	0.000	160.6270	300.8343	*
2014	88.830	0.000	319.9334	101.1885	*
2014	88.830	0.000	119.9339	298.8121	*
/					
1 2014		0.000			
2011	88.831	0.000	400.0000	98.8134	*
2011	88.831	0.000	200.0001	301.1866	*
2012	129.875	0.000	325.2010	97.6493	*
2012	129.875	0.000	125.2012	302.3509	*
2013	65.266	0.000	301.0976	96.9864	*
2013	65.266	0.000	101.0974	303.0136	*
2011	88.831	0.000	399.9996	98.8129	*
2011	88.831	0.000	199.9999	301.1864	*
2012	129.875	0.000	325.2015	97.6490	*
2012	129.875	0.000	125.2014	302.3511	*
2013	65.266	0.000	301.0981	96.9862	*

2013	65.266	0.000	101.0975	303.0136	*
2011	88.830	0.000	0.0001	98.8133	*
2011	88.831	0.000	200.0003	301.1865	*
2012	129.875	0.000	325.2010	97.6493	*
2012	129.874	0.000	125.2015	302.3510	*
2013	65.266	0.000	301.0975	96.9861	*
2013	65.266	0.000	101.0976	303.0138	*
2011	88.830	0.000	400.0000	98.8131	*
2011	88.830	0.000	200.0001	301.1865	*
2012	129.874	0.000	325.2010	97.6493	*
2012	129.874	0.000	125.2017	302.3510	*
2013	65.266	0.000	301.0978	96.9862	*
2013	65.266	0.000	101.0973	303.0137	*
2011	88.830	0.000	399.9994	98.8132	*
2011	88.830	0.000	200.0003	301.1865	*
2012	129.874	0.000	325.2010	97.6490	*
2012	129.874	0.000	125.2016	302.3509	*
2013	65.265	0.000	301.0978	96.9860	*
2013	65.266	0.000	101.0975	303.0136	*

/

Příloha 6: Protokol vyrovnání mikrosítě 201 v programu Groma

POLOHOVÉ VYROVNÁNÍ SÍŤE

=====

Lokalita:

Datum :

Etapa :

PŘIBLIŽNÉ SOUŘADNICE:

=====

Bod	Y	X	Char	Délka	Směrů
2011	607225.1426	1087580.2236	Volný	1	3
2012	607114.3461	1087520.4990	Volný	2	3
2013	607176.8379	1087482.2172	Volný	3	3
2014	607241.1541	1087492.8631	Volný	0	3
35508	607267.4730	1087323.4610	Helmert	0	0
35509	607068.0290	1087496.4880	Helmert	0	0
35510	607232.2480	1087508.6060	Helmert	0	0
2311164001	607195.2358	1087514.5843	Volný	6	6
2311164002	607208.5272	1087452.5347	Volný	7	7

MĚŘENÉ DÉLKY:

=====

Stanovisko: 2011

Cíl	Délka [m]	m [mm]	váha
2014	88.8150	1.00	1.0000

Stanovisko: 2012

Cíl	Délka [m]	m [mm]	váha
2011	125.8680	1.00	1.0000
2014	129.7850	1.00	1.0000

Stanovisko: 2013

Cíl	Délka [m]	m [mm]	váha
2011	109.2640	1.00	1.0000
2012	73.2850	1.00	1.0000
2014	65.1920	1.00	1.0000

Stanovisko: 2311164001

Cíl	Délka [m]	m [mm]	váha
2011	72.1310	1.00	1.0000
2012	81.1000	1.00	1.0000
2013	37.2300	1.00	1.0000
2014	50.8020	1.00	1.0000
35509	128.5030	1.00	1.0000
35510	37.5070	1.00	1.0000

Stanovisko: 2311164002

Cíl	Délka [m]	m [mm]	váha
2011	128.7670	1.00	1.0000
2012	116.1500	1.00	1.0000
2013	43.4260	1.00	1.0000
2014	51.8710	1.00	1.0000
35508	141.9280	1.00	1.0000

35509	147.2450	1.00	1.0000
35510	60.8920	1.00	1.0000

MĚŘENÉ SMĚRY:

=====

Stanovisko: 2011

Cíl	Směr	m [cc]	váha
2014	319.93370	6.00	0.0278
2013	360.62710	6.00	0.0278
2012	400.00000	6.00	0.0278

Stanovisko: 2012

Cíl	Směr	m [cc]	váha
2014	45.13420	6.00	0.0278
2013	66.46440	6.00	0.0278
2011	399.99960	6.00	0.0278

Stanovisko: 2013

Cíl	Směr	m [cc]	váha
2014	60.40380	6.00	0.0278
2012	305.83770	6.00	0.0278
2011	399.99990	6.00	0.0278

Stanovisko: 2014

Cíl	Směr	m [cc]	váha
2013	301.09760	6.00	0.0278
2012	325.20130	6.00	0.0278
2011	400.00000	6.00	0.0278

Stanovisko: 2311164001

Cíl	Směr	m [cc]	váha
2011	27.21770	6.00	0.0278
35510	110.18880	6.00	0.0278
2014	128.12430	6.00	0.0278
2013	232.89100	6.00	0.0278
35509	291.00440	6.00	0.0278
2012	304.64100	6.00	0.0278

Stanovisko: 2311164002

Cíl	Směr	m [cc]	váha
2011	8.23650	6.00	0.0278
35510	25.48160	6.00	0.0278
2014	43.29920	6.00	0.0278
35508	172.72300	6.00	0.0278
35509	319.30520	6.00	0.0278
2012	339.79590	6.00	0.0278
2013	347.91650	6.00	0.0278

PARAMETRY SÍTĚ:

=====

Testování oprav měření se provádí oboustranným testem k hladině významnosti Alfa = 10.0
 Při překročení kritické hodnoty $t > 1.65$ je vypočten odhad chyby měřené veličiny Eps.
 Současně je vypočtena hodnota mezní chyby k necentrálnímu parametru Delta = 2.49.
 Pravděpodobnost chyby 2. druhu Beta = 20.0 %.

Počet bodů v síti : 9

Počet bodů, na nichž jsou měřeny směry: 6
 Počet neznámých : 18
 Počet měřených délek : 19
 Počet měřených směrů : 25
 Počet měřených veličin : 44
 Počet zprostředkujících úhlů : 19
 Počet zprostředkujících veličin : 38
 Počet podmínek : 3
 Počet podmínkových rovnic : 3
 Způsob připojení sítě : Helmertova transformace

VÝPOČETNÍ KONTROLY:

=====

Norma matice reziduí $A \cdot \text{inv}(A)$: -1.78e-015 (má být 0).
 Norma matice reziduí $\text{inv}(A) \cdot A$: -1.78e-015 (má být 0).
 Kontrola podmínky $Gh = 0$ [1]: 3.29e-014 (má být 0).
 Kontrola podmínky $Gh = 0$ [2]: -3.20e-014 (má být 0).
 Kontrola podmínky $Gh = 0$ [3]: -2.66e-014 (má být 0).
 Norma vektoru $AtPw$: 7.41e-014 (má být 0).

LEGENDA K VYROVNANÝM DÉLKÁM A SMĚRŮM:

=====

l : Vektor pravých stran linearizovaného modelu sítě
 r : Podíl dané veličiny na počtu nadbytečných veličin
 t : Podíl opravy a její střední chyby
 Eps : Odhad chyby geometrické veličiny
 EpsMax: Odhad mezní hodnoty chyby geometrické veličiny pro necentrální parametr Delta
 w : Opravy zprostředkujících geometrických veličin (úhlů)

VYROVNANÉ DÉLKY:

=====

Stanovisko: 2011

Cíl	Délka [m]	v souř [mm]	v r.o. [mm]	ms [mm]	l [mm]	r	t	Eps [mm]	EpsMax [mm]
2014	88.8155	0.46	0.46	0.53	-0.76	0.75	0.51		

Stanovisko: 2012

Cíl	Délka [m]	v souř [mm]	v r.o. [mm]	ms [mm]	l [mm]	r	t	Eps [mm]	EpsMax [mm]
2011	125.8681	0.12	0.12	0.56	-0.56	0.71	0.14		
2014	129.7850	0.04	0.04	0.54	0.50	0.73	0.04		

Stanovisko: 2013

Cíl	Délka [m]	v souř [mm]	v r.o. [mm]	ms [mm]	l [mm]	r	t	Eps [mm]	EpsMax [mm]
2011	109.2640	0.02	0.02	0.50	0.01	0.77	0.02		
2012	73.2850	0.02	0.02	0.53	-0.16	0.74	0.03		
2014	65.1924	0.42	0.42	0.48	0.59	0.79	0.45		

Stanovisko: 2311164001

Cíl	Délka [m]	v souř [mm]	v r.o. [mm]	ms [mm]	l [mm]	r	t	Eps [mm]	EpsMax [mm]
2011	72.1306	-0.39	-0.39	0.54	-0.38	0.73	0.43		
2012	81.1001	0.12	0.12	0.53	-5.61	0.74	0.14		
2013	37.2309	0.88	0.88	0.45	-0.61	0.82	0.93		
2014	50.8032	1.19	1.19	0.46	5.26	0.81	1.26		
35509	128.5037	0.69	0.69	0.80	15.47	0.42	1.01		
35510	37.5071	0.05	0.05	0.64	15.08	0.63	0.06		

Stanovisko: 2311164002

Cíl	Délka [m]	v souř [mm]	v r.o. [mm]	ms [mm]	l [mm]	r	t	Eps [mm]	EpsMax [mm]
2011	128.7670	0.03	0.03	0.56	1.55	0.71	0.04		
2012	116.1499	-0.14	-0.14	0.62	6.87	0.65	0.17		

5.36	35510	110.18799	-8.12	6.01	13.80	0.08	4.43	13.49	13.49	-95.64
3.12	2014	128.12484	5.36	5.44	-92.94	0.25	1.70	-5.16	-5.16	21.37
	2013	232.89102	0.20	5.62	145.28	0.20	0.07	1.28	1.27	
	35509	291.00455	1.47	5.30	-62.49	0.29	0.44	-3.10	-3.09	
	2012	304.64084	-1.62	4.78		0.42	0.40			

Stanovisko: 2311164002

EpsMax	Cíl	Směr	v	m	l	r	t	w r.o.	w souř	Eps
[cc]		[g]	[cc]	[cc]	[cc]			[cc]	[cc]	[cc]

2.65	2011	8.23617	-3.29	3.58	42.96	0.68	0.64	6.25	6.24	
	35510	25.48190	2.96	5.57	-83.04	0.22	1.01	-9.17	-9.16	
	2014	43.29858	-6.20	5.08	8.29	0.35	1.68	6.20	6.21	-17.89
	35508	172.72300	0.01	6.29	76.45	0.00	0.00	0.93	0.91	
	35509	319.30529	0.92	4.84	-24.16	0.41	0.23	1.46	1.47	
	2012	339.79614	2.39	3.88	-33.59	0.62	0.48	0.81	0.82	
	2013	347.91682	3.21	5.29		0.29	0.95			

Průměrná střední chyba vyrovnaného směru [cc]: 4.79

VÝSLEDKY VYROVNÁNÍ:

=====

[pvv]	:	25.2412
[pvv] (1. kontrola)	:	25.2432
[pvv] (2. kontrola)	:	25.2432
Počet nadbytečných měření	:	23
Základní střední chyba m0 apriorní	[cc]:	1.00
Základní střední chyba m0 aposteriorní	[cc]:	1.05
m0 aposteriorní / m0 apriorní	:	1.05
Interval spolehlivosti	:	0.71 - 1.29
Stopa matice L	:	21.0000 (má být 21.0000)
Stopa submatice L - délky	:	6.4863
Stopa submatice L - směry	:	14.5137

VYROVNANÉ SOUŘADNICE:

=====

Bod	Y	X	dy	dx
	[m]	[m]	[mm]	[mm]
2011	607225.1398	1087580.2269	-2.80	3.21
2012	607114.3419	1087520.5057	-4.20	6.74
2013	607176.8322	1087482.2218	-5.67	4.59
2014	607241.1497	1087492.8663	-4.42	3.21
35508	607267.4952	1087323.4377	22.15	-23.32
35509	607068.0015	1087496.5059	-27.52	17.94
35510	607232.2534	1087508.6114	5.37	5.37
2311164001	607195.2261	1087514.5915	-9.67	7.18
2311164002	607208.5273	1087452.5359	0.13	1.24

INFORMACE O STŘEDNÍCH CHYBÁCH:

=====

Bod	my	mx	mye	mxe	mxy	Stoč.
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
2011	0.88	0.77	0.71	0.93	0.83	133.53
2012	0.71	0.85	0.70	0.86	0.78	15.17
2013	0.65	0.61	0.61	0.65	0.63	92.82
2014	0.65	0.76	0.61	0.79	0.71	30.10
35508	0.63	0.66	0.42	0.81	0.64	152.59
35509	0.59	0.61	0.40	0.75	0.60	152.59

35510	0.54	0.69	0.52	0.71	0.62	21.42
2311164001	0.58	0.57	0.57	0.58	0.58	117.43
2311164002	0.54	0.57	0.48	0.62	0.55	42.88

Střední souřadnicová chyba mxy [mm]: 0.67

Stopa kovarianční matice vyrovnaných souřadnic : 7.272805
Stopa kovarianční matice vyrovnaných souřadnic (kont.): 7.272805
Norma kovarianční matice vyrovnaných souřadnic : 3.153001
Maximální vlastní číslo : 2.153550
Minimální vlastní číslo : 0.000062
Rozdíl maximálního a minimálního vlastního čísla : 2.153488

VYROVNANÉ SMĚRNÍKY A DÉLKY:

=====

Stanovisko: 2011

Cíl	Směrník [g]	m [cc]	Délka [m]	m [mm]	mdy [mm]	mdx [mm]	rch [mm/km]
2012	268.52769	5.69	125.8681		0.73	1.03	4.46
2013	229.15459	5.67	109.2640		0.90	0.63	4.60
2014	188.46120	6.21	88.8155	0.53	0.86	0.54	5.92

Stanovisko: 2012

Cíl	Směrník [g]	m [cc]	Délka [m]	m [mm]	mdy [mm]	mdx [mm]	rch [mm/km]
2011	68.52769	5.69	125.8681	0.56	0.73	1.03	4.46
2013	134.99253	6.12	73.2850		0.59	0.65	7.22
2014	113.66231	5.52	129.7850	0.54	0.59	1.10	4.18

Stanovisko: 2013

Cíl	Směrník [g]	m [cc]	Délka [m]	m [mm]	mdy [mm]	mdx [mm]	rch [mm/km]
2011	29.15459	5.67	109.2640	0.50	0.90	0.63	4.60
2012	334.99253	6.12	73.2850	0.53	0.59	0.65	7.22
2014	89.55863	6.24	65.1924	0.48	0.48	0.64	7.35

Stanovisko: 2014

Cíl	Směrník [g]	m [cc]	Délka [m]	m [mm]	mdy [mm]	mdx [mm]	rch [mm/km]
2011	388.46120	6.21	88.8155		0.86	0.54	5.92
2012	313.66231	5.52	129.7850		0.59	1.10	4.18
2013	289.55863	6.24	65.1924		0.48	0.64	7.35

Stanovisko: 2311164001

Cíl	Směrník [g]	m [cc]	Délka [m]	m [mm]	mdy [mm]	mdx [mm]	rch [mm/km]
2011	27.22380	6.50	72.1306	0.54	0.71	0.57	7.48
2012	304.64667	6.38	81.1001	0.53	0.54	0.81	6.59
2013	232.89685	7.36	37.2309	0.45	0.43	0.45	12.08
2014	128.13067	6.88	50.8032	0.46	0.49	0.52	8.98
35509	291.01038	4.79	128.5037	0.80	0.81	0.96	6.19
35510	110.19382	7.60	37.5071	0.64	0.64	0.44	17.06

Stanovisko: 2311164002

Cíl	Směrník [g]	m [cc]	Délka [m]	m [mm]	mdy [mm]	mdx [mm]	rch [mm/km]
2011	8.23611	4.52	128.7670	0.56	0.90	0.58	4.37
2012	339.79608	4.68	116.1499	0.62	0.64	0.84	5.30

2013	347.91676	6.28	43.4262	0.53	0.51	0.45	12.16
2014	43.29852	6.09	51.8725	0.58	0.54	0.55	11.24
35508	172.72294	4.10	141.9280	1.05	0.97	1.00	7.38
35509	319.30523	4.01	147.2443	0.80	0.78	0.95	5.46
35510	25.48184	6.07	60.8883	0.62	0.60	0.60	10.15

Příloha 7: Protokol vyrovnání mikrosítě 201 v programu KNET

Vyrovnání místní geodetické sítě verze: 1.9.06-svd / win32-msvc

<http://www.gnu.org/software/gama/>

Základní parametry vyrovnání *****

Souřadnice	xyz	xy	z
Vyrovnané :	0	9	0
Opěrné * :	0	3	0
Pevné :	0	0	0

Celkem :	0	9	0

Počet směrů	:	25	Počet osnov	:	6
Počet délek	:	19			
Celkem pozorování	:	44			

Počet rovnic oprav	:	44	Počet neznámých	:	24
Počet nadbyt. pozorování	:	23	Defekt sítě	:	3

m0 apriorní : 4.00
 m0' aposteriorní: 4.19 [pvv] : 4.03640e+002

Při statistické analýze se pracuje

- s aposteriorní jednotkovou střední chybou 4.19
- s konfidenční pravděpodobností 95 %

Poměr m0' aposteriorní / m0 apriorní: 1.047
 95 % interval (0.713, 1.287) obsahuje hodnotu m0'/m0
 m0'/m0 (délky): 1.265 m0'/m0 (směry): 0.705

Maximální pokles m0''/m0 při vyloučení jednoho pozorování: 0.407

Maximální studentizovaná oprava 4.44 přesahuje kritickou hodnotu 1.94 na hladině významnosti 5 % pro pozorování #2
 <direction from="2311164001" to="35510" val="110.1888" stdev="6.0" />

Vyrovnané souřadnice *****

i	bod	přibližná hodnota	korekce [m]	vyrovnaná hodnota	stř.ch.	konf.i.
===== [mm] =====						
2011						
8	x	1087580.21900	0.00785	1087580.22685	0.8	1.6
9	y	607225.13600	0.00383	607225.13983	0.9	1.8
2012						
10	x	1087520.49100	0.01475	1087520.50575	0.9	1.8
11	y	607114.34500	-0.00307	607114.34193	0.7	1.5
2013						
12	x	1087482.21200	0.00977	1087482.22177	0.6	1.3
13	y	607176.83600	-0.00382	607176.83218	0.6	1.3
2014						
14	x	1087492.86100	0.00528	1087492.86628	0.8	1.6
15	y	607241.15200	-0.00228	607241.14972	0.7	1.3

35508						
19	X *	1087323.46100	-0.02332	1087323.43768	0.7	1.4
20	Y *	607267.47300	0.02215	607267.49515	0.6	1.3
35509						
6	X *	1087496.48800	0.01794	1087496.50594	0.6	1.3
7	Y *	607068.02900	-0.02752	607068.00148	0.6	1.2
35510						
3	X *	1087508.60600	0.00537	1087508.61137	0.7	1.4
4	Y *	607232.24800	0.00537	607232.25337	0.5	1.1
2311164001						
1	x	1087514.58100	0.01053	1087514.59153	0.6	1.2
2	y	607195.23600	-0.00988	607195.22612	0.6	1.2
2311164002						
16	x	1087452.52800	0.00792	1087452.53592	0.6	1.2
17	y	607208.52100	0.00634	607208.52734	0.5	1.1

Vyrovnané orientační posuny

i	stanovisko	přibližná hodn. [g]	korekce [g]	vyrovnaná hodn. [g]	stř.ch. [cc]	konf.i. [mm]
5	2311164001	0.001544	0.004289	0.005833	5.3	11.0
18	2311164002	0.000569	-0.000629	399.999940	3.6	7.5
21	2013	29.150257	0.004524	29.154781	6.4	13.3
22	2012	68.523649	0.004457	68.528106	6.5	13.5
23	2011	268.522960	0.004600	268.527560	6.6	13.6
24	2014	388.456549	0.004530	388.461080	6.6	13.6

Test chyby z linearizace

Diference výpočtu vyrovnaných měření z oprav a z vyrovnaných souřadnic

i	stanovisko	cíl	merena hodnota	v [mm cc]	diference [cc]	[mm]
2	2311164001	35510 směr	110.188800	-8.125	0.019	0.001
4		35509 směr	291.004400	1.482	0.006	0.001
5		2011 délka	72.13100	-0.386		-0.001
6		2011 směr	27.217700	2.698	0.005	0.001
24	2311164002	2013 směr	347.916500	3.202	-0.016	-0.001
26		2014 směr	43.299200	-6.200	0.009	0.001

***** 2. opakované vyrovnaní *****

Přibližné souřadnice určovaných bodů nahrazeny vyrovnanými

Základní parametry vyrovnaní

Souřadnice	xyz	xy	z	
Vyrovnané	:	0	9	0
Opěrné *	:	0	3	0
Pevné	:	0	0	0

Celkem	:	0	9	0

Počet směrů : 25 Počet osnov : 6
 Počet délek : 19
 Celkem pozorování : 44

Počet rovnic oprav : 44 Počet neznámých : 24
 Počet nadbyt. pozorování : 23 Defekt sítě : 3

m_0 apriorní : 4.00
 m_0' aposteriorní: 4.19 [pvv] : 4.03965e+002

Při statistické analýze se pracuje

- s aposteriorní jednotkovou střední chybou 4.19
- s konfidenční pravděpodobností 95 %

Poměr m_0' aposteriorní / m_0 apriorní: 1.048
 95 % interval (0.713, 1.287) obsahuje hodnotu m_0'/m_0
 m_0'/m_0 (délky): 1.265 m_0'/m_0 (směry): 0.706

Maximální pokles m_0'/m_0 při vyloučení jednoho pozorování: 0.407

Maximální studentizovaná oprava 4.44 přesahuje kritickou hodnotu 1.94
 na hladině významnosti 5 % pro pozorování #2
 <direction from="2311164001" to="35510" val="110.1888" stdev="6.0" />

Vyrovnané souřadnice

i	bod	přibližná hodnota	korekce [m]	vyrovnaná hodnota	stř.ch. [mm]	konf.i.
2011						
8	x	1087580.21900	0.00785	1087580.22685	0.8	1.6
9	y	607225.13600	0.00383	607225.13983	0.9	1.8
2012						
10	x	1087520.49100	0.01475	1087520.50575	0.9	1.8
11	y	607114.34500	-0.00307	607114.34193	0.7	1.5
2013						
12	x	1087482.21200	0.00977	1087482.22177	0.6	1.3
13	y	607176.83600	-0.00382	607176.83218	0.6	1.3
2014						
14	x	1087492.86100	0.00528	1087492.86628	0.8	1.6
15	y	607241.15200	-0.00228	607241.14972	0.7	1.3
35508						
19	X *	1087323.46100	-0.02332	1087323.43768	0.7	1.4
20	Y *	607267.47300	0.02215	607267.49515	0.6	1.3
35509						
6	X *	1087496.48800	0.01794	1087496.50594	0.6	1.3
7	Y *	607068.02900	-0.02752	607068.00148	0.6	1.2
35510						
3	X *	1087508.60600	0.00537	1087508.61137	0.7	1.4
4	Y *	607232.24800	0.00537	607232.25337	0.5	1.1
2311164001						
1	x	1087514.58100	0.01053	1087514.59153	0.6	1.2
2	y	607195.23600	-0.00988	607195.22612	0.6	1.2
2311164002						
16	x	1087452.52800	0.00792	1087452.53592	0.6	1.2
17	y	607208.52100	0.00635	607208.52735	0.5	1.1

Vyrovnané orientační posuny

i	stanovisko	priblizna hodn. [g]	korekce [g]	vyrovnana hodn. [g]	stř.ch. [cc]	konf.i. [mm]
5	2311164001	0.005833	-0.000000	0.005833	5.3	11.0
18	2311164002	399.999940	0.000000	399.999940	3.6	7.5
21	2013	29.154781	0.000000	29.154781	6.4	13.3
22	2012	68.528106	0.000000	68.528107	6.5	13.5
23	2011	268.527560	0.000000	268.527560	6.6	13.6
24	2014	388.461080	0.000000	388.461080	6.6	13.6

Test chyby z linearizace

Diference výpočtu vyrovnaných měření z oprav a z vyrovnaných souřadnic

i	stanovisko	cíl	merena hodnota	v	diference
1	2311164001	35510 délka	37.50700	0.052	-0.001
2		35510 směr	110.188800	-8.130	-0.012
3		35509 délka	128.50300	0.687	-0.002
4		35509 směr	291.004400	1.485	0.021
16	2311164002	35508 směr	172.723000	-0.000	-0.010
18		35509 směr	319.305200	0.924	0.008

***** 3. opakované vyrovnání *****

Přibližné souřadnice určovaných bodů nahrazeny vyrovnanými

Základní parametry vyrovnání

Souřadnice	xyz	xy	z
Vyrovnané :	0	9	0
Opěrné * :	0	3	0
Pevné :	0	0	0

Celkem :	0	9	0

Počet směrů :	25	Počet osnov :	6
Počet délek :	19		
Celkem pozorování :	44		

Počet rovnic oprav :	44	Počet neznámých :	24
Počet nadbyt. pozorování :	23	Defekt sítě :	3

m0 apriorní : 4.00
 m0' aposteriorní: 4.19 [pvv] : 4.03965e+002

Při statistické analýze se pracuje

- s aposteriorní jednotkovou střední chybou 4.19
- s konfidenční pravděpodobností 95 %

Poměr m0' aposteriorní / m0 apriorní: 1.048
 95 % interval (0.713, 1.287) obsahuje hodnotu m0'/m0
 m0'/m0 (délek): 1.265 m0'/m0 (směry): 0.706

Maximální pokles $m\theta''/m\theta$ při vyloučení jednoho pozorování: 0.407

Maximální studentizovaná oprava 4.44 přesahuje kritickou hodnotu 1.94 na hladině významnosti 5 % pro pozorování #2

<direction from="2311164001" to="35510" val="110.1888" stdev="6.0" />

Vyrovnané souřadnice

i	bod	přibližná hodnota	korekce [m]	vyrovnaná hodnota	stř.ch. [mm]	konf.i.
=====		=====	=====	=====	=====	=====
2011						
8	x	1087580.21900	0.00785	1087580.22685	0.8	1.6
9	y	607225.13600	0.00383	607225.13983	0.9	1.8
2012						
10	x	1087520.49100	0.01475	1087520.50575	0.9	1.8
11	y	607114.34500	-0.00307	607114.34193	0.7	1.5
2013						
12	x	1087482.21200	0.00977	1087482.22177	0.6	1.3
13	y	607176.83600	-0.00382	607176.83218	0.6	1.3
2014						
14	x	1087492.86100	0.00528	1087492.86628	0.8	1.6
15	y	607241.15200	-0.00228	607241.14972	0.7	1.3
35508						
19	X *	1087323.46100	-0.02332	1087323.43768	0.7	1.4
20	Y *	607267.47300	0.02215	607267.49515	0.6	1.3
35509						
6	X *	1087496.48800	0.01794	1087496.50594	0.6	1.3
7	Y *	607068.02900	-0.02752	607068.00148	0.6	1.2
35510						
3	X *	1087508.60600	0.00537	1087508.61137	0.7	1.4
4	Y *	607232.24800	0.00537	607232.25337	0.5	1.1
2311164001						
1	x	1087514.58100	0.01053	1087514.59153	0.6	1.2
2	y	607195.23600	-0.00988	607195.22612	0.6	1.2
2311164002						
16	x	1087452.52800	0.00792	1087452.53592	0.6	1.2
17	y	607208.52100	0.00635	607208.52735	0.5	1.1

Vyrovnané orientační posuny

i	stanovisko	přibližná hodn. [g]	korekce [g]	vyrovnaná hodn. [g]	stř.ch. [cc]	konf.i.
=====		=====	=====	=====	=====	=====
5	2311164001	0.005833	-0.000000	0.005833	5.3	11.0
18	2311164002	399.999940	-0.000000	399.999940	3.6	7.5
21	2013	29.154781	-0.000000	29.154781	6.4	13.3
22	2012	68.528107	-0.000000	68.528107	6.5	13.5
23	2011	268.527560	-0.000000	268.527560	6.6	13.6
24	2014	388.461080	-0.000000	388.461080	6.6	13.6

Test chyby z linearizace

Diference výpočtu vyrovnaných měření z oprav a z vyrovnaných souřadnic

i	stanovisko	cíl	merena hodnota	v [mm cc]	diference [cc]	diference [mm]
1	2311164001	35510 délka	37.50700	0.052		-0.001
2		35510 směr	110.188800	-8.130	-0.012	-0.001
3		35509 délka	128.50300	0.687		-0.002
4		35509 směr	291.004400	1.485	0.021	0.004
16	2311164002	35508 směr	172.723000	-0.000	-0.010	-0.002
18		35509 směr	319.305200	0.924	0.008	0.002

Střední chyby a parametry elips chyb

bod	mp [mm]	mxy [mm]	stred. el. chyb a [mm]	stred. el. chyb b [mm]	stred. el. chyb alfa [g]	konfid. el. chyb a' [mm]	konfid. el. chyb b' [mm]	g
2011	1.2	0.8	0.9	0.7	133.5	2.4	1.9	0.0
2012	1.1	0.8	0.9	0.7	15.2	2.3	1.8	0.0
2013	0.9	0.6	0.6	0.6	92.8	1.7	1.6	0.0
2014	1.0	0.7	0.8	0.6	30.1	2.1	1.6	0.0
35508	0.9	0.6	0.8	0.4	152.6	2.1	1.1	15.2
35509	0.8	0.6	0.7	0.4	152.6	1.9	1.1	18.0
35510	0.9	0.6	0.7	0.5	21.4	1.9	1.4	4.4
2311164001	0.8	0.6	0.6	0.6	117.5	1.5	1.5	0.0
2311164002	0.8	0.6	0.6	0.5	42.9	1.6	1.3	0.0

Maximální střední polohová chyba je 1.2 mm na bodě 2011

Průměrná polohová chyba je 0.9 mm

Vyrovnaná pozorování

i	stanovisko	cíl	měřená hodnota	vyrovnaná [m g]	stř.ch. [mm cc]	konf.i. [mm cc]
1	2311164001	35510 délka	37.50700	37.50705	0.6	1.3
2		35510 směr	110.188800	110.187987	6.0	12.4
3		35509 délka	128.50300	128.50369	0.8	1.6
4		35509 směr	291.004400	291.004549	5.3	11.0
5		2011 délka	72.13100	72.13061	0.5	1.1
6		2011 směr	27.217700	27.217970	5.1	10.5
7		2012 délka	81.10000	81.10012	0.5	1.1
8		2012 směr	304.641000	304.640838	4.8	9.9
9		2013 délka	37.23000	37.23088	0.4	0.9
10		2013 směr	232.891000	232.891020	5.6	11.6
11		2014 délka	50.80200	50.80319	0.5	0.9
12		2014 směr	128.124300	128.124837	5.4	11.3
13	2311164002	35510 délka	60.89200	60.88826	0.6	1.3
14		35510 směr	25.481600	25.481896	5.6	11.5
15		35508 délka	141.92800	141.92800	1.0	2.2
16		35508 směr	172.723000	172.723000	6.3	13.0
17		35509 délka	147.24500	147.24429	0.8	1.7
18		35509 směr	319.305200	319.305292	4.8	10.0
19		2011 délka	128.76700	128.76703	0.6	1.2
20		2011 směr	8.236500	8.236172	3.6	7.4
21		2012 délka	116.15000	116.14986	0.6	1.3
22		2012 směr	339.795900	339.796139	3.9	8.0
23		2013 délka	43.42600	43.42618	0.5	1.1
24		2013 směr	347.916500	347.916821	5.3	11.0
25		2014 délka	51.87100	51.87251	0.6	1.2
26		2014 směr	43.299200	43.298580	5.1	10.5
27	2013	2011 délka	109.26400	109.26402	0.5	1.0
28		2011 směr	399.999900	399.999809	4.2	8.8
29		2012 délka	73.28500	73.28502	0.5	1.1
30		2012 směr	305.837700	305.837745	4.8	10.0
31		2014 délka	65.19200	65.19242	0.5	1.0

32		2014	směr	60.403800	60.403847	4.7	9.7
33	2012	2011	délka	125.86800	125.86812	0.6	1.2
34		2011	směr	399.999600	399.999581	4.2	8.7
35		2014	délka	129.78500	129.78504	0.5	1.1
36		2014	směr	45.134200	45.134200	3.9	8.1
37		2013	směr	66.464400	66.464419	4.2	8.8
38	2011	2012	směr	0.000000	0.000127	4.2	8.8
39		2013	směr	360.627100	360.627030	4.0	8.2
40		2014	délka	88.81500	88.81546	0.5	1.1
41		2014	směr	319.933700	319.933644	4.3	9.0
42	2014	2011	směr	0.000000	0.000125	4.6	9.5
43		2012	směr	325.201300	325.201227	4.0	8.3
44		2013	směr	301.097600	301.097548	4.4	9.1

Opravy a analýza pozorování

i	stanovisko	cíl	f[%]	v	v'	e-mer.	e-vyr.
				[mm cc]	=====	[mm cc]	===
1	2311164001	35510	délka	38.9	0.052	0.1	0.1 0.0
2		35510	směr	4.3 s	-8.130	4.4 mk	-95.7 -87.6
3		35509	délka	24.1	0.687	1.0	1.6 0.9
4		35509	směr	15.7	1.485	0.4	5.1 3.6
5		2011	délka	48.5	-0.386	0.4	-0.5 -0.1
6		2011	směr	19.1	2.697	0.7	7.8 5.1
7		2012	délka	49.0	0.125	0.1	0.2 0.0
8		2012	směr	24.0	-1.619	0.4	-3.8 -2.2
9		2013	délka	57.1	0.881	0.9	1.1 0.2
10		2013	směr	10.6	0.202	0.1	1.0 0.8
11		2014	délka	56.5	1.185	1.3	1.5 0.3
12		2014	směr	13.5	5.365	1.7	21.4 16.0
13	2311164002	35510	délka	41.0	-3.736	4.4 k	-5.7 -2.0
14		35510	směr	11.4	2.962	1.0	13.7 10.8
15		35508	délka	0.0 n	-0.000		
16		35508	směr	0.0 n	-0.000		
17		35509	délka	23.2	-0.708	1.1	-1.7 -1.0
18		35509	směr	22.9	0.924	0.2	2.3 1.4
19		2011	délka	46.3	0.032	0.0	0.0 0.0
20		2011	směr	43.1	-3.284	0.6	-4.9 -1.6
21		2012	délka	41.2	-0.141	0.2	-0.2 -0.1
22		2012	směr	38.4	2.393	0.5	3.9 1.5
23		2013	délka	49.6	0.177	0.2	0.2 0.1
24		2013	směr	15.8	3.209	0.9	11.0 7.8
25		2014	délka	44.3	1.511	1.7	2.2 0.7
26		2014	směr	19.2	-6.203	1.7	-17.9 -11.7
27	2013	2011	délka	52.0	0.017	0.0	0.0 0.0
28		2011	směr	32.7	-0.913	0.2	-1.7 -0.8
29		2012	délka	49.5	0.024	0.0	0.0 0.0
30		2012	směr	23.4	0.446	0.1	1.1 0.6
31		2014	délka	54.3	0.421	0.5	0.5 0.1
32		2014	směr	25.2	0.468	0.1	1.1 0.6
33	2012	2011	délka	46.4	0.122	0.1	0.2 0.0
34		2011	směr	32.8	-0.195	0.0	-0.4 -0.2
35		2014	délka	48.2	0.039	0.0	0.1 0.0
36		2014	směr	37.8	0.002	0.0	0.0 0.0
37		2013	směr	32.5	0.192	0.0	0.4 0.2
38	2011	2012	směr	32.6	1.267	0.3	2.3 1.1
39		2013	směr	36.6	-0.705	0.1	-1.2 -0.5
40		2014	délka	49.8	0.463	0.5	0.6 0.2
41		2014	směr	30.9	-0.562	0.1	-1.1 -0.5
42	2014	2011	směr	27.3	1.246	0.3	2.6 1.4
43		2012	směr	35.9	-0.729	0.2	-1.2 -0.5
44		2013	směr	29.7	-0.517	0.1	-1.0 -0.5

Odlehlá pozorování

i	stanovisko	cíl	f[%]	v	v'	e-mer.	e-vyr.
=====				[mm cc]	=====	[mm cc]	===
2	2311164001	35510 směr	4.3 s	-8.130	4.4 mk	-95.7	-87.6
13	2311164002	35510 délka	41.0	-3.736	4.4 k	-5.7	-2.0

Ověření normálního rozdělení homogenizovaných oprav

=====

Test Kolmogorov-Smirnov : 0.6 %

Číslo podmíněnosti : 2.3e+001

Příloha 8: Protokol vyrovnání mikrosítě 201 v programu GNU Gama

Vyrovnání místní geodetické sítě verze: 1.7.09-svd / win32-msvc

<http://www.gnu.org/software/gama/>

Přibližné souřadnice *****

souřadnice	xyz	xy	z
dané	: 0	3	0
vypočtené	: 0	6	0

celkem	: 0	9	0
měření	: 44		

Základní parametry vyrovnání *****

Souřadnice	xyz	xy	z
Vyrovnané	: 0	9	0
Opěrné *	: 0	3	0
Pevné	: 0	0	0

Celkem	: 0	9	0

Počet směrů	: 25	Počet osnov	: 6
Počet délek	: 19		
Celkem pozorování	: 44		

Počet rovnic oprav	: 44	Počet neznámých	: 24
Počet nadbyt. pozorování	: 23	Defekt sítě	: 3

m_0 apriorní : 1.00
 m_0' aposteriorní: 1.05 [pvv] : 2.52287e+001

Při statistické analýze se pracuje

- s aposteriorní jednotkovou střední chybou 1.05
- s konfidenční pravděpodobností 95 %

Poměr m_0' aposteriorní / m_0 apriorní: 1.047
95 % interval (0.713, 1.287) obsahuje hodnotu m_0'/m_0
 m_0'/m_0 (délky): 1.265 m_0'/m_0 (směry): 0.705

Maximální pokles m_0''/m_0 při vyloučení jednoho pozorování: 0.407

Maximální studentizovaná oprava 4.44 přesahuje kritickou hodnotu 1.94
na hladině významnosti 5 % pro pozorování #2
<direction from="4001" to="35510" val="110.1888" stdev="6.0" />

Vyrovnané souřadnice *****

i	bod	přibližná	korekce	vyrovnaná	stř.ch.	konf.i.			
		hodnota	====	[m]	====	hodnota	====	[mm]	====

2011									
8	x	1087580.21853	0.00832	1087580.22685	0.8	1.6			

9	y	607225.13593	0.00390	607225.13983	0.9	1.8
2012						
10	x	1087520.49064	0.01511	1087520.50575	0.9	1.8
11	y	607114.34460	-0.00267	607114.34193	0.7	1.5
2013						
12	x	1087482.21219	0.00958	1087482.22177	0.6	1.3
13	y	607176.83615	-0.00397	607176.83218	0.6	1.3
2014						
14	x	1087492.86108	0.00520	1087492.86628	0.8	1.6
15	y	607241.15246	-0.00274	607241.14972	0.7	1.3
4001						
2	x	1087514.58126	0.01026	1087514.59153	0.6	1.2
3	y	607195.23616	-0.01004	607195.22612	0.6	1.2
4002						
17	x	1087452.52781	0.00811	1087452.53592	0.6	1.2
18	y	607208.52146	0.00589	607208.52734	0.5	1.1
35508						
19	X *	1087323.46100	-0.02332	1087323.43768	0.7	1.4
20	Y *	607267.47300	0.02215	607267.49515	0.6	1.3
35509						
4	X *	1087496.48800	0.01794	1087496.50594	0.6	1.3
5	Y *	607068.02900	-0.02752	607068.00148	0.6	1.2
35510						
6	X *	1087508.60600	0.00537	1087508.61137	0.7	1.4
7	Y *	607232.24800	0.00537	607232.25337	0.5	1.1

Vyrovnané orientační posuny

i	stanovisko	přibližná hodn. [g]	korekce [g]	vyrovnaná hodn. [g]	stř.ch. [cc]	konf.i. [cc]
1	4001	0.000994	0.004839	0.005833	5.3	11.0
16	4002	0.000289	-0.000349	399.999940	3.6	7.5
21	2011	268.523086	0.004475	268.527560	6.6	13.6
22	2012	68.523486	0.004621	68.528106	6.5	13.5
23	2013	29.150194	0.004587	29.154781	6.4	13.3
24	2014	388.456247	0.004833	388.461080	6.6	13.6

Test chyby z linearizace

Diference výpočtu vyrovnaných měření z oprav a z vyrovnaných souřadnic

i	stanovisko	cíl	měřena hodnota	v [mm cc]	diference [cc]	[mm] =
1	4001	35509 směr	291.004400	1.482	0.006	0.001
2		35510 směr	110.188800	-8.125	0.017	0.001
3		2011 směr	27.217700	2.699	0.007	0.001
9		2011 délka	72.13100	-0.386		-0.001
18	4002	2013 směr	347.916500	3.202	-0.016	-0.001
19		2014 směr	43.299200	-6.200	0.009	0.001

***** 2. opakované vyrovnaní *****

Přibližné souřadnice určených bodů nahrazeny vyrovnanými

Základní parametry vyrovnání

Souřadnice		xyz	xy	z
Vyrovnané	:	0	9	0
Opěrné *	:	0	3	0
Pevné	:	0	0	0

Celkem	:	0	9	0

Počet směrů	:	25	Počet osnov	:	6
Počet dělek	:	19			
Celkem pozorování	:	44			

Počet rovnic oprav	:	44	Počet neznámých	:	24
Počet nadbyt. pozorování	:	23	Defekt sítě	:	3

m0 apriorní : 1.00
 m0' aposteriorní: 1.05 [pvv] : 2.52478e+001

Při statistické analýze se pracuje

- s aposteriorní jednotkovou střední chybou 1.05
- s konfidenční pravděpodobností 95 %

Poměr m0' aposteriorní / m0 apriorní: 1.048
 95 % interval (0.713, 1.287) obsahuje hodnotu m0'/m0
 m0'/m0 (délky): 1.265 m0'/m0 (směry): 0.706

Maximální pokles m0''/m0 při vyloučení jednoho pozorování: 0.407

Maximální studentizovaná oprava 4.44 přesahuje kritickou hodnotu 1.94
 na hladině významnosti 5 % pro pozorování #2
 <direction from="4001" to="35510" val="110.1888" stdev="6.0" />

Vyrovnané souřadnice

i	bod	přibližná hodnota	korekce [m]	vyrovnaná hodnota	stř.ch. [mm]	konf.i.
2011						
8	x	1087580.21853	0.00832	1087580.22685	0.8	1.6
9	y	607225.13593	0.00390	607225.13983	0.9	1.8
2012						
10	x	1087520.49064	0.01512	1087520.50575	0.9	1.8
11	y	607114.34460	-0.00267	607114.34193	0.7	1.5
2013						
12	x	1087482.21219	0.00958	1087482.22177	0.6	1.3
13	y	607176.83615	-0.00397	607176.83218	0.6	1.3
2014						
14	x	1087492.86108	0.00520	1087492.86628	0.8	1.6
15	y	607241.15246	-0.00274	607241.14972	0.7	1.3
4001						
2	x	1087514.58126	0.01027	1087514.59153	0.6	1.2
3	y	607195.23616	-0.01004	607195.22612	0.6	1.2
4002						
17	x	1087452.52781	0.00811	1087452.53592	0.6	1.2

18	y	607208.52146	0.00589	607208.52735	0.5	1.1
35508						
19	X *	1087323.46100	-0.02332	1087323.43768	0.7	1.4
20	Y *	607267.47300	0.02215	607267.49515	0.6	1.3
35509						
4	X *	1087496.48800	0.01794	1087496.50594	0.6	1.3
5	Y *	607068.02900	-0.02752	607068.00148	0.6	1.2
35510						
6	X *	1087508.60600	0.00537	1087508.61137	0.7	1.4
7	Y *	607232.24800	0.00537	607232.25337	0.5	1.1

Vyrovnané orientační posuny

i	stanovisko	přibližná hodn. [g]	korekce [g]	vyrovnaná hodn. [g]	stř.ch. [cc]	konf.i. [mm]
1	4001	0.005833	-0.000000	0.005833	5.3	11.0
16	4002	399.999940	0.000000	399.999940	3.6	7.5
21	2011	268.527560	0.000000	268.527560	6.6	13.6
22	2012	68.528106	0.000000	68.528107	6.5	13.5
23	2013	29.154781	0.000000	29.154781	6.4	13.3
24	2014	388.461080	0.000000	388.461080	6.6	13.6

Test chyby z linearizace

Diference výpočtu vyrovnaných měření z oprav a z vyrovnaných souřadnic

i	stanovisko	cíl	merena hodnota	v [mm cc]	diference [cc]	[mm]
1	4001	35509 směr	291.004400	1.485	0.021	0.004
2		35510 směr	110.188800	-8.130	-0.012	-0.001
7		35509 délka	128.50300	0.687		-0.002
8		35510 délka	37.50700	0.052		-0.001
14	4002	35508 směr	172.723000	0.000	-0.010	-0.002
15		35509 směr	319.305200	0.924	0.008	0.002

***** 3. opakované vyrovnání *****

Přibližné souřadnice určovaných bodů nahrazeny vyrovnanými

Základní parametry vyrovnání

Souřadnice	xyz	xy	z	
Vyrovnané	:	0	9	0
Opěrné *	:	0	3	0
Pevné	:	0	0	0

Celkem	:	0	9	0

Počet směrů	:	25	Počet osnov	:	6
Počet délek	:	19			
Celkem pozorování	:	44			
Počet rovnic oprav	:	44	Počet neznámých	:	24

Počet nadbyt. pozorování : 23 Defekt sítě : 3

m0 apriorní : 1.00
m0' aposteriorní: 1.05 [pvv] : 2.52478e+001

Při statistické analýze se pracuje

- s aposteriorní jednotkovou střední chybou 1.05
- s konfidenční pravděpodobností 95 %

Poměr m0' aposteriorní / m0 apriorní: 1.048
95 % interval (0.713, 1.287) obsahuje hodnotu m0'/m0
m0'/m0 (délky): 1.265 m0'/m0 (směry): 0.706

Maximální pokles m0''/m0 při vyloučení jednoho pozorování: 0.407

Maximální studentizovaná oprava 4.44 přesahuje kritickou hodnotu 1.94
na hladině významnosti 5 % pro pozorování #2
<direction from="4001" to="35510" val="110.1888" stdev="6.0" />

Vyrovnané souřadnice

i	bod	přibližná hodnota	korekce [m]	vyrovnaná hodnota	stř.ch. [mm]	konf.i.
2011						
8	x	1087580.21853	0.00832	1087580.22685	0.8	1.6
9	y	607225.13593	0.00390	607225.13983	0.9	1.8
2012						
10	x	1087520.49064	0.01512	1087520.50575	0.9	1.8
11	y	607114.34460	-0.00267	607114.34193	0.7	1.5
2013						
12	x	1087482.21219	0.00958	1087482.22177	0.6	1.3
13	y	607176.83615	-0.00397	607176.83218	0.6	1.3
2014						
14	x	1087492.86108	0.00520	1087492.86628	0.8	1.6
15	y	607241.15246	-0.00274	607241.14972	0.7	1.3
4001						
2	x	1087514.58126	0.01027	1087514.59153	0.6	1.2
3	y	607195.23616	-0.01004	607195.22612	0.6	1.2
4002						
17	x	1087452.52781	0.00811	1087452.53592	0.6	1.2
18	y	607208.52146	0.00589	607208.52735	0.5	1.1
35508						
19	X *	1087323.46100	-0.02332	1087323.43768	0.7	1.4
20	Y *	607267.47300	0.02215	607267.49515	0.6	1.3
35509						
4	X *	1087496.48800	0.01794	1087496.50594	0.6	1.3
5	Y *	607068.02900	-0.02752	607068.00148	0.6	1.2
35510						
6	X *	1087508.60600	0.00537	1087508.61137	0.7	1.4
7	Y *	607232.24800	0.00537	607232.25337	0.5	1.1

Vyrovnané orientační posuny

i	stanovisko	přibližná hodn. [g]	korekce [g]	vyrovnána hodn. [g]	stř.ch. [cc]	konf.i.
---	------------	---------------------	-------------	---------------------	--------------	---------

1	4001	0.005833	-0.000000	0.005833	5.3	11.0
16	4002	399.999940	-0.000000	399.999940	3.6	7.5
21	2011	268.527560	-0.000000	268.527560	6.6	13.6
22	2012	68.528107	-0.000000	68.528107	6.5	13.5
23	2013	29.154781	-0.000000	29.154781	6.4	13.3
24	2014	388.461080	-0.000000	388.461080	6.6	13.6

Test chyby z linearizace

Diference výpočtu vyrovnaných měření z oprav a z vyrovnaných souřadnic

i	stanovisko	cíl	merena	v	diference			
			hodnota = [mm cc] == [cc] == [mm] =					
1	4001	35509 směr	291.004400	1.485	0.021	0.004		
2		35510 směr	110.188800	-8.130	-0.012	-0.001		
7		35509 délka	128.50300	0.687		-0.002		
8		35510 délka	37.50700	0.052		-0.001		
14	4002	35508 směr	172.723000	-0.000	-0.010	-0.002		
15		35509 směr	319.305200	0.924	0.008	0.002		

Střední chyby a parametry elips chyb

bod	mp	mxy	stred. el. chyb			konfid. el. chyb		g
[mm] ==		[mm] ==	a [mm] b			a' [mm] b'		=====
2011	1.2	0.8	0.9	0.7	133.5	2.4	1.9	0.0
2012	1.1	0.8	0.9	0.7	15.2	2.3	1.8	0.0
2013	0.9	0.6	0.6	0.6	92.8	1.7	1.6	0.0
2014	1.0	0.7	0.8	0.6	30.1	2.1	1.6	0.0
4001	0.8	0.6	0.6	0.6	117.5	1.5	1.5	0.0
4002	0.8	0.6	0.6	0.5	42.9	1.6	1.3	0.0
35508	0.9	0.6	0.8	0.4	152.6	2.1	1.1	15.2
35509	0.8	0.6	0.7	0.4	152.6	1.9	1.1	18.0
35510	0.9	0.6	0.7	0.5	21.4	1.9	1.4	4.4

Maximální střední polohová chyba je 1.2 mm na bodě 2011

Průměrná polohová chyba je 0.9 mm

Vyrovnaná pozorování

i	stanovisko	cíl	měřená	vyrovnaná	stř.ch.	konf.i.
			hodnota == [m g] == [mm cc] ==			
1	4001	35509 směr	291.004400	291.004549	5.3	11.0
2		35510 směr	110.188800	110.187987	6.0	12.4
3		2011 směr	27.217700	27.217970	5.1	10.5
4		2012 směr	304.641000	304.640838	4.8	9.9
5		2013 směr	232.891000	232.891020	5.6	11.6
6		2014 směr	128.124300	128.124837	5.4	11.3
7		35509 délka	128.50300	128.50369	0.8	1.6
8		35510 délka	37.50700	37.50705	0.6	1.3
9		2011 délka	72.13100	72.13061	0.5	1.1
10		2012 délka	81.10000	81.10012	0.5	1.1
11		2013 délka	37.23000	37.23088	0.4	0.9
12		2014 délka	50.80200	50.80319	0.5	0.9
13	4002	35510 směr	25.481600	25.481896	5.6	11.5
14		35508 směr	172.723000	172.723000	6.3	13.0
15		35509 směr	319.305200	319.305292	4.8	10.0
16		2011 směr	8.236500	8.236172	3.6	7.4
17		2012 směr	339.795900	339.796139	3.9	8.0

18		2013 směr	347.916500	347.916821	5.3	11.0
19		2014 směr	43.299200	43.298580	5.1	10.5
20		35510 délka	60.89200	60.88826	0.6	1.3
21		35508 délka	141.92800	141.92800	1.0	2.2
22		35509 délka	147.24500	147.24429	0.8	1.7
23		2011 délka	128.76700	128.76703	0.6	1.2
24		2012 délka	116.15000	116.14986	0.6	1.3
25		2013 délka	43.42600	43.42618	0.5	1.1
26		2014 délka	51.87100	51.87251	0.6	1.2
27	2011	2012 směr	0.000000	0.000127	4.2	8.8
28		2013 směr	360.627100	360.627030	4.0	8.2
29		2014 směr	319.933700	319.933644	4.3	9.0
30		2014 délka	88.81500	88.81546	0.5	1.1
31	2012	2011 směr	399.999600	399.999581	4.2	8.7
32		2014 směr	45.134200	45.134200	3.9	8.1
33		2013 směr	66.464400	66.464419	4.2	8.8
34		2011 délka	125.86800	125.86812	0.6	1.2
35		2014 délka	129.78500	129.78504	0.5	1.1
36	2013	2011 směr	399.999900	399.999809	4.2	8.8
37		2012 směr	305.837700	305.837745	4.8	10.0
38		2014 směr	60.403800	60.403847	4.7	9.7
39		2011 délka	109.26400	109.26402	0.5	1.0
40		2012 délka	73.28500	73.28502	0.5	1.1
41		2014 délka	65.19200	65.19242	0.5	1.0
42	2014	2011 směr	0.000000	0.000125	4.6	9.5
43		2012 směr	325.201300	325.201227	4.0	8.3
44		2013 směr	301.097600	301.097548	4.4	9.1

Opravy a analýza pozorování

i	stanovisko	cíl	f[%]	v	v'	e-mer.	e-vyr.
				[mm cc]	=====	[mm cc]	===
1	4001	35509 směr	15.7	1.485	0.4	5.1	3.6
2		35510 směr	4.3 s	-8.130	4.4 mk	-95.7	-87.6
3		2011 směr	19.1	2.697	0.7	7.8	5.1
4		2012 směr	24.0	-1.619	0.4	-3.8	-2.2
5		2013 směr	10.6	0.202	0.1	1.0	0.8
6		2014 směr	13.5	5.365	1.7	21.4	16.0
7		35509 délka	24.1	0.687	1.0	1.6	0.9
8		35510 délka	38.9	0.052	0.1	0.1	0.0
9		2011 délka	48.5	-0.386	0.4	-0.5	-0.1
10		2012 délka	49.0	0.125	0.1	0.2	0.0
11		2013 délka	57.1	0.881	0.9	1.1	0.2
12		2014 délka	56.5	1.185	1.3	1.5	0.3
13	4002	35510 směr	11.4	2.962	1.0	13.7	10.8
14		35508 směr	0.0 n	-0.000			
15		35509 směr	22.9	0.924	0.2	2.3	1.4
16		2011 směr	43.1	-3.284	0.6	-4.9	-1.6
17		2012 směr	38.4	2.393	0.5	3.9	1.5
18		2013 směr	15.8	3.209	0.9	11.0	7.8
19		2014 směr	19.2	-6.203	1.7	-17.9	-11.7
20		35510 délka	41.0	-3.736	4.4 k	-5.7	-2.0
21		35508 délka	0.0 n	-0.000			
22		35509 délka	23.2	-0.708	1.1	-1.7	-1.0
23		2011 délka	46.3	0.032	0.0	0.0	0.0
24		2012 délka	41.2	-0.141	0.2	-0.2	-0.1
25		2013 délka	49.6	0.177	0.2	0.2	0.1
26		2014 délka	44.3	1.511	1.7	2.2	0.7
27	2011	2012 směr	32.6	1.267	0.3	2.3	1.1
28		2013 směr	36.6	-0.705	0.1	-1.2	-0.5
29		2014 směr	30.9	-0.562	0.1	-1.1	-0.5
30		2014 délka	49.8	0.463	0.5	0.6	0.2
31	2012	2011 směr	32.8	-0.195	0.0	-0.4	-0.2
32		2014 směr	37.8	0.002	0.0	0.0	0.0
33		2013 směr	32.5	0.192	0.0	0.4	0.2
34		2011 délka	46.4	0.122	0.1	0.2	0.0

35		2014 délka	48.2	0.039	0.0	0.1	0.0
36	2013	2011 směr	32.7	-0.913	0.2	-1.7	-0.8
37		2012 směr	23.4	0.446	0.1	1.1	0.6
38		2014 směr	25.2	0.468	0.1	1.1	0.6
39		2011 délka	52.0	0.017	0.0	0.0	0.0
40		2012 délka	49.5	0.024	0.0	0.0	0.0
41		2014 délka	54.3	0.421	0.5	0.5	0.1
42	2014	2011 směr	27.3	1.246	0.3	2.6	1.4
43		2012 směr	35.9	-0.729	0.2	-1.2	-0.5
44		2013 směr	29.7	-0.517	0.1	-1.0	-0.5

Odlehlá pozorování

i	stanovisko	cíl	f[%]	v	v'	e-mer.	e-vyr.
=====				[mm cc]	=====	[mm cc]	==
2	4001	35510 směr	4.3 s	-8.130	4.4 mk	-95.7	-87.6
20	4002	35510 délka	41.0	-3.736	4.4 k	-5.7	-2.0

Ověření normálního rozdělení homogenizovaných oprav
=====

Test Kolmogorov-Smirnov : 0.6 %

Číslo podmíněnosti : 2.3e+001

Příloha 18: Výpočetní skript mikrosítě 201 v programu Matlab

```
clc; clear all; close all; format long g;

%Bakalarska prace - vyrovnani volne site (c. 201)

%Autor: Kryštof Sedlák

%%%%Vypocet

rad = pi/200;

%%%%Zadani

%%Cislovani bodu
% 35508 = 1 opr
% 35509 = 2 opr
% 35510 = 3 opr
% 4001 = 4
% 4002 = 5
% 2011 = 6
% 2012 = 7
% 2013 = 8
% 2014 = 9

Md = [4, 2, 128.503;
      4, 3, 37.507;
      4, 6, 72.131;
      4, 7, 81.100;
      4, 8, 37.230;
      4, 9, 50.802;
      5, 1, 141.928;
      5, 2, 147.245;
      5, 3, 60.892;
      5, 6, 128.767;
      5, 7, 116.150;
      5, 8, 43.426;
      5, 9, 51.871;
      6, 7, 125.868;
      6, 8, 109.264;
      6, 9, 88.815;
      7, 9, 129.785;
      8, 7, 73.285;
      8, 9, 65.192];

% ZB NB Smer [gon];
Ms = [4, 2, 291.0044;
      4, 3, 110.1888;
      4, 6, 27.2177;
      4, 7, 304.6410;
      4, 8, 232.8910;
      4, 9, 128.1243;
      5, 1, 172.7230;
      5, 2, 319.3052;
      5, 3, 25.4816;
      5, 6, 8.2365;
      5, 7, 339.7959;
      5, 8, 347.9165;
      5, 9, 43.2992;
      6, 7, 400;
      6, 8, 360.6271;
      6, 9, 319.9337;
      7, 6, 399.9996;
      7, 8, 66.4644;
      7, 9, 45.1342;
      8, 6, 399.9999;
      8, 7, 305.8377;
      8, 9, 60.4038;
      9, 6, 400;
      9, 7, 325.2013;
      9, 8, 301.0976];
```

```

%Presnosti
PresS = 0.0006; %gon
PresD = 0.001; %m

PresSr = PresS*rad;

%Presnost pouzita pro charakteristiky presnosti
PCP = 0; %0 --> aposteriorni, 1 --> apriorni

%%Vypocet
n = length(Md(:, 3)) + length(Ms(:, 3)); %Pocet mereni
nd = length(Md(:, 3));
ns = length(Ms(:, 3));
r = 3; %Pocet podminek

%Vypocet pribliznych orientacnich posunu
POP4 = (smernik(607195.236, 1087514.584, 607068.029, 1087496.488) - 291.0044)*rad;
POP5 = (smernik(607208.527, 1087452.535, 607068.029, 1087496.488) - 319.3052)*rad;
POP6 = (smernik(607225.143, 1087580.224, 607114.346, 1087520.499) - 400.0000)*rad;
POP7 = (smernik(607114.346, 1087520.499, 607225.143, 1087580.224) - 399.9996)*rad;
POP8 = (smernik(607176.838, 1087482.217, 607114.346, 1087520.499) - 305.8377)*rad;
POP9 = (smernik(607241.154, 1087492.863, 607114.346, 1087520.499) - 325.2013)*rad;

%Priblizne souradnice
x0 = [1087323.461; %PS Bod 1
      607267.473;
      1087496.488; %PS Bod 2
      607068.029;
      1087508.606; %PS Bod 3
      607232.248;
      1087514.584; %S Bod 4
      607195.236;
      POP4; %POP Bod 4
      1087452.535; %S Bod 5
      607208.527;
      POP5; %POP Bod 5
      1087580.224; %PS Bod 6
      607225.143;
      POP6; %POP Bod 6
      1087520.499; %PS Bod 7
      607114.346;
      POP7; %POP Bod 7
      1087482.217; %PS Bod 8
      607176.838;
      POP8; %POP Bod 8
      1087492.863; %PS Bod 9
      607241.154;
      POP9]; %POP Bod 9

x02 = x0;

k = length(x0); %Pocet neznamych

%Derivace
syms X1 Y1 X2 Y2 OP

fd = sqrt((X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2);
fs = atan((Y2 - Y1)/(X2 - X1)) + OP;

fdX1 = diff(fd, X1);
fdY1 = diff(fd, Y1);
fdX2 = diff(fd, X2);
fdY2 = diff(fd, Y2);
fdOP = diff(fd, OP);

fsX1 = diff(fs, X1);
fsY1 = diff(fs, Y1);
fsX2 = diff(fs, X2);
fsY2 = diff(fs, Y2);
fsOP = diff(fs, OP);

sp = [X1; Y1; X2; Y2; OP];

```

```

%%Cyklus
pod = 1;
poc = 0;

while pod == 1

%Kvadranty
while x0(9, 1) < 0
    x0(9, 1) = x0(9, 1) + 2*pi;
end
while x0(9, 1) > 2*pi
    x0(9, 1) = x0(9, 1) - 2*pi;
end

while x0(12, 1) < 0
    x0(12, 1) = x0(12, 1) + 2*pi;
end
while x0(12, 1) > 2*pi
    x0(12, 1) = x0(12, 1) - 2*pi;
end

while x0(15, 1) < 0
    x0(15, 1) = x0(15, 1) + 2*pi;
end
while x0(15, 1) > 2*pi
    x0(15, 1) = x0(15, 1) - 2*pi;
end

while x0(18, 1) < 0
    x0(18, 1) = x0(18, 1) + 2*pi;
end
while x0(18, 1) > 2*pi
    x0(18, 1) = x0(18, 1) - 2*pi;
end

while x0(21, 1) < 0
    x0(21, 1) = x0(21, 1) + 2*pi;
end
while x0(21, 1) > 2*pi
    x0(21, 1) = x0(21, 1) - 2*pi;
end

while x0(24, 1) < 0
    x0(24, 1) = x0(24, 1) + 2*pi;
end
while x0(24, 1) > 2*pi
    x0(24, 1) = x0(24, 1) - 2*pi;
end

%Pocet iteraci
poc = poc + 1;

%Matice vah (P)
for i = 1:(nd)
    P(i, i) = 1/(PresD^2); %Delky
end

for i = (nd + 1):n
    P(i, i) = 1/(PresSr^2); %Smery
end

%Matice mereni (l)
for i = 1:(nd)
    l(i, 1) = Md(i, 3); %Delky
end

for i = (nd + 1):n
    l(i, 1) = Ms(i - nd, 3)*rad; %Smery
end

%Pomocna matice (MP)
MP = [x0(1, 1), x0(2, 1), 1, 2, 3, NaN;
      x0(3, 1), x0(4, 1), 4, 5, 6, NaN;
      x0(5, 1), x0(6, 1), 7, 8, 9, NaN;

```

```

x0(7, 1), x0(8, 1), l0, 11, 12, x0(9, 1);
x0(10, 1), x0(11, 1), 13, 14, 15, x0(12, 1);
x0(13, 1), x0(14, 1), 16, 17, 18, x0(15, 1);
x0(16, 1), x0(17, 1), 19, 20, 21, x0(18, 1);
x0(19, 1), x0(20, 1), 22, 23, 24, x0(21, 1);
x0(22, 1), x0(23, 1), 25, 26, 27, x0(24, 1)];

%Matice pribliznych mereni (l0)
for i = 1:nd
    l0(i, 1) = sqrt(((MP(Md(i, 2), 1) - MP(Md(i, 1), 1))^2) + ((MP(Md(i, 2), 2) - MP(Md(i, 1), 2))^2));
end

for i = (nd + 1):n
    l0(i, 1) = (smernik(MP(Ms(i - nd, 1), 2), MP(Ms(i - nd, 1), 1), MP(Ms(i - nd, 2), 2), MP(Ms(i - nd, 2), 1))*rad) - MP(Ms(i - nd, 1), 6));
end

for i = (nd + 1):n
    while l0(i, 1) < 0
        l0(i, 1) = l0(i, 1) + (2*pi);
    end
    while l0(i, 1) > (2*pi)
        l0(i, 1) = l0(i, 1) - (2*pi);
    end
end

%Matice redukovanych mereni (lc)
lc = l0 - l;

for i = (nd + 1):n
    if l(i, 1) > 397*rad && l0(i, 1) < 3*rad
        lc(i, 1) = l0(i, 1) - (l(i, 1) - 400*rad);
    elseif l0(i, 1) > 397*rad && l(i, 1) < 3*rad
        lc(i, 1) = (l0(i, 1) - 400*rad) - l(i, 1);
    end
end

%Matice derivaci (A)
for i = 1:nd;
    %X1; Y1; X2; Y2; OP
    dp = [MP(Md(i, 1), 1); MP(Md(i, 1), 2); MP(Md(i, 2), 1); MP(Md(i, 2), 2); MP(Md(i, 1), 6)];
    A(i, MP(Md(i, 1), 3)) = eval(vpa(subs(fdX1, sp, dp))); %X1
    A(i, MP(Md(i, 1), 4)) = eval(vpa(subs(fdY1, sp, dp))); %Y1
    A(i, MP(Md(i, 1), 5)) = 0;
    A(i, MP(Md(i, 2), 3)) = eval(vpa(subs(fdX2, sp, dp))); %X2
    A(i, MP(Md(i, 2), 4)) = eval(vpa(subs(fdY2, sp, dp))); %Y2
    A(i, MP(Md(i, 2), 5)) = 0;
end

for i = (nd + 1):n;
    %X1; Y1; X2; Y2; OP
    dp = [MP(Ms(i - nd, 1), 1); MP(Ms(i - nd, 1), 2); MP(Ms(i - nd, 2), 1); MP(Ms(i - nd, 2), 2); MP(Ms(i - nd, 1), 6)];
    A(i, MP(Ms(i - nd, 1), 3)) = eval(vpa(subs(fsX1, sp, dp))); %X1
    A(i, MP(Ms(i - nd, 1), 4)) = eval(vpa(subs(fsY1, sp, dp))); %Y1
    A(i, MP(Ms(i - nd, 1), 5)) = -1; %OP
    A(i, MP(Ms(i - nd, 2), 3)) = eval(vpa(subs(fsX2, sp, dp))); %X2
    A(i, MP(Ms(i - nd, 2), 4)) = eval(vpa(subs(fsY2, sp, dp))); %Y2
    A(i, MP(Ms(i - nd, 2), 5)) = 0;
end

%Smazani neexistujicich orientacnich posunu
A(:, 3) = [];
A(:, 5) = [];
A(:, 7) = [];

%Matice linearizovanych podminek (B')
Xt = (MP(1, 1) + MP(2, 1) + MP(3, 1))/3;
Yt = (MP(1, 2) + MP(2, 2) + MP(3, 2))/3;

Bt = zeros(3, 24);
Bt(1, 1) = MP(1, 2) - Yt;
Bt(1, 2) = -(MP(1, 1) - Xt);

```

```

Bt(1, 3) = MP(2, 2) - Yt;
Bt(1, 4) = -(MP(2, 1) - Xt);
Bt(1, 5) = MP(3, 2) - Yt;
Bt(1, 6) = -(MP(3, 1) - Xt);
Bt(2, 1) = 1;
Bt(2, 3) = 1;
Bt(2, 5) = 1;
Bt(3, 2) = 1;
Bt(3, 4) = 1;
Bt(3, 6) = 1;

%Matice "B"
B = Bt';

%Matice "b"
b = zeros(3, 1);

%Matice A' P A / B'
ATPA = A' * P * A;
ATPABT = [ATPA' Bt']';

%Matice B 0
nul = zeros(3, 3);
B0 = [Bt nul']';

%Matice ATPAB
ATPAB = [ATPABT B0];
ATPAB = 0.5*(ATPAB + ATPAB');

%Matice ATPL' / b
ATPLc = A' * P * lc;
ATPLcb = [ATPLc' b']';

%Matice C1
ATPABinv = ATPAB^(-1);
C1 = ATPABinv(1:k, 1:k);

%Matice prirustku a korelatu (dxk)
dxk = -ATPAB^(-1) * ATPLcb;

%Matice prirustku (dx)
dx = dxk(1:24, 1);

%Nove priblizne souradnice (x0)
x0 = x0 + dx;
for i = 3:8;
    if x0(i*3, 1) > 2*pi
        x0(i*3, 1) = x0(i*3, 1) - 2*pi;
    elseif x0(i*3, 1) < 0
        x0(i*3, 1) = x0(i*3, 1) + 2*pi;
    end
end

%Opravy (v)
v = A*dx + lc;

%Vyrovnaná merení
lvyr = 1 + v;
lvyr = lvyr;
lvyr((nd + 1):end, 1) = lvyr((nd + 1):end, 1)/rad;
for i = 1:length(lvyr)
    if lvyr(i, 1) > 400
        while lvyr(i, 1) > 400
            lvyr(i, 1) = lvyr(i, 1) - 400;
        end
    elseif lvyr(i, 1) < 0
        lvyr(i, 1) = lvyr(i, 1) + 400;
    end
end

%Konec cyklu
Mdx = [dx(1, 1), dx(2, 1), NaN;
        dx(3, 1), dx(4, 1), NaN;
        dx(5, 1), dx(6, 1), NaN;

```



```

dx(7, 1), dx(8, 1), dx(9, 1);
dx(10, 1), dx(11, 1), dx(12, 1);
dx(13, 1), dx(14, 1), dx(15, 1);
dx(16, 1), dx(17, 1), dx(18, 1);
dx(19, 1), dx(20, 1), dx(21, 1);
dx(22, 1), dx(23, 1), dx(24, 1)];

for i = 1:length(Md)
    delY = MP(Md(i, 1), 2) - MP(Md(i, 2), 2);
    delX = MP(Md(i, 1), 1) - MP(Md(i, 2), 1);
    dx1 = Mdx(Md(i, 1), 1);
    dx2 = Mdx(Md(i, 2), 1);
    dy1 = Mdx(Md(i, 1), 2);
    dy2 = Mdx(Md(i, 2), 2);
    delk12 = sqrt(delY^2 + delX^2);
    dfd2(i, 1) = (1/(delk12^3))*((delY^2)*(dx1^2 + dx2^2) + (delX^2)*(dy1^2 + dy2^2) -
2*delY*delX*dx1*dy1 - 2*delY*delX*dx2*dy2 + 2*delY*delX*dx1*dy2 + 2*delY*delX*dx2*dy1 -
2*(delY^2)*dx1*dx2 - 2*(delX^2)*dy1*dy2);
end

for i = 1:length(Ms)
    delY = MP(Ms(i, 1), 2) - MP(Ms(i, 2), 2);
    delX = MP(Ms(i, 1), 1) - MP(Ms(i, 2), 1);
    dx1 = Mdx(Ms(i, 1), 1);
    dx2 = Mdx(Ms(i, 2), 1);
    dy1 = Mdx(Ms(i, 1), 2);
    dy2 = Mdx(Ms(i, 2), 2);
    delk12 = sqrt(delY^2 + delX^2);
    dfs2(i, 1) = (2/(delk12^4))*(delY*delX*(dx1^2 + dx2^2) - delY*delX*(dy1^2 + dy2^2) -
2*delY*delX*dx1*dx2 - (delX^2 - delY^2)*(dx1*dy1 - dx2*dy1 - dx1*dy2 + dx2*dy2) +
2*delY*delX*dy1*dy2);
end

if all(abs(dfd2) < 10^(-5)) && all(abs(dfs2) < (10^(-5))*rad)
    pod = 0;
end

end

%Postup 2
C = (A'*P*1c);
N = (A'*P*A);
N = (1/2)*(N + N');
[U, S] = eig(N);
U2 = U;
U2(:, 1:3) = [];
S2 = S;
S2(:, 1:3) = [];
S2(1:3, :) = [];
X0 = -U2*S2^-1*U2'*C;
H = null(A);
t = -(B'*H)^-1*B'*X0;
X = X0 + H*t;

XV = x02 + X;

E = eye(n);

Red = (E - A*U2*S2^-1*U2'*A'*P); %Redundantni matice

v2 = Red*1c;
SigV = Red*inv(P); %Kovariancni matice
SigV = 0.5*(SigV + SigV');
[V, D] = eig(SigV);
V2 = V;
V2(:, 1:21) = [];
D2 = D(22:44, 22:44);

vh = sqrt(inv(D2))*V2*v2; %Nekorelovane opravy (str. hod. = 0; rozptyl = 1)

%Vyrovnane nezname (x)
x = x0;
xg = x;
for i=3:8;

```

```

    xg(i*3, 1) = x(i*3, 1)/rad;
    if xg(i*3, 1) > 400
        xg(i*3, 1) = xg(i*3, 1) - 400;
    elseif xg(i*3, 1) < 0
        xg(i*3, 1) = xg(i*3, 1) + 400;
    end
end

%Posteriorni smerodatna odchylnka jednotkova (s0)
s0 = sqrt((v'*P*v)/(n + r - k));

alp_025 = chi2inv(0.975, (n + r - k));
alp_975 = chi2inv(0.025, (n + r - k));

hm = sqrt(alp_025/(n + r - k));
dm = sqrt(alp_975/(n + r - k));

if s0 >= dm && s0 <= hm
    int = 1; %s0 odpovida apriorni hodnote (1)
else
    int = 0; %s0 neodpovida apriorni hodnote (1)
end

%Smerodatne odchylnky vyrovnanych neznamych
if PCP == 0
    Mx = (s0^2)*(ATPAB^(-1));
elseif PCP == 1
    Mx = ATPAB^(-1);
end

for i=1:(length(Mx)-3);
    Mxo(i, 1) = sqrt(Mx(i, i));
end

Mxog = Mxo;

for i=3:8;
    Mxog(i*3, 1) = Mxo(i*3, 1)/rad;
end

%Smerodatne odchylnky vyrovnanych mereni
if PCP == 0
    Mlv = (s0^2)*A*C1*A';
elseif PCP == 1
    Mlv = A*C1*A';
end

for i = 1:length(Mlv)
    mlv(i, 1) = sqrt(Mlv(i, i));
end

%Normovane opravy
if PCP == 0
    for i = 1:length(SigV)
        vn(i, 1) = v2(i)/(s0*sqrt(SigV(i, i))); %Stredni hodnota = 0, rozptyl = 1
    end
elseif PCP == 1
    for i = 1:length(SigV)
        vn(i, 1) = v2(i)/(1*sqrt(SigV(i, i))); %Stredni hodnota = 0, rozptyl = 1
    end
end

%mxv
mxy(1, 1) = sqrt((Mxog(1, 1)^2 + Mxog(2, 1)^2)/2); %[m]
mxy(2, 1) = sqrt((Mxog(3, 1)^2 + Mxog(4, 1)^2)/2); %[m]
mxy(3, 1) = sqrt((Mxog(5, 1)^2 + Mxog(6, 1)^2)/2); %[m]
mxy(4, 1) = sqrt((Mxog(7, 1)^2 + Mxog(8, 1)^2)/2); %[m]
mxy(5, 1) = sqrt((Mxog(10, 1)^2 + Mxog(11, 1)^2)/2); %[m]
mxy(6, 1) = sqrt((Mxog(13, 1)^2 + Mxog(14, 1)^2)/2); %[m]
mxy(7, 1) = sqrt((Mxog(16, 1)^2 + Mxog(17, 1)^2)/2); %[m]
mxy(8, 1) = sqrt((Mxog(19, 1)^2 + Mxog(20, 1)^2)/2); %[m]
mxy(9, 1) = sqrt((Mxog(22, 1)^2 + Mxog(23, 1)^2)/2); %[m]

%mp

```

```

mp(1, 1) = sqrt(Mxog(1, 1)^2 + Mxog(2, 1)^2); %[m]
mp(2, 1) = sqrt(Mxog(3, 1)^2 + Mxog(4, 1)^2); %[m]
mp(3, 1) = sqrt(Mxog(5, 1)^2 + Mxog(6, 1)^2); %[m]
mp(4, 1) = sqrt(Mxog(7, 1)^2 + Mxog(8, 1)^2); %[m]
mp(5, 1) = sqrt(Mxog(10, 1)^2 + Mxog(11, 1)^2); %[m]
mp(6, 1) = sqrt(Mxog(13, 1)^2 + Mxog(14, 1)^2); %[m]
mp(7, 1) = sqrt(Mxog(16, 1)^2 + Mxog(17, 1)^2); %[m]
mp(8, 1) = sqrt(Mxog(19, 1)^2 + Mxog(20, 1)^2); %[m]
mp(9, 1) = sqrt(Mxog(22, 1)^2 + Mxog(23, 1)^2); %[m]

%%Elipsy chyb

%35508
c_35508 = sqrt((Mx(1, 1) - Mx(2, 2))^2 + 4*Mx(1, 2)^2);
a_35508 = sqrt((Mx(1, 1) + Mx(2, 2) + c_35508)/2);
b_35508 = sqrt((Mx(1, 1) + Mx(2, 2) - c_35508)/2);
alp_35508 = atan2(2*Mx(1, 2), Mx(1, 1) - Mx(2, 2))/2;
while alp_35508 > 2*pi
    alp_35508 = alp_35508 - 2*pi;
end
while alp_35508 < 0
    alp_35508 = alp_35508 + 2*pi;
end
alp_35508g = alp_35508/rad;
if alp_35508g > 200
    alp_35508g = alp_35508g - 200;
end

%35509
c_35509 = sqrt((Mx(3, 3) - Mx(4, 4))^2 + 4*Mx(3, 4)^2);
a_35509 = sqrt((Mx(3, 3) + Mx(4, 4) + c_35509)/2);
b_35509 = sqrt((Mx(3, 3) + Mx(4, 4) - c_35509)/2);
alp_35509 = atan2(2*Mx(3, 4), Mx(3, 3) - Mx(4, 4))/2;
while alp_35509 > 2*pi
    alp_35509 = alp_35509 - 2*pi;
end
while alp_35509 < 0
    alp_35509 = alp_35509 + 2*pi;
end
alp_35509g = alp_35509/rad;
if alp_35509g > 200
    alp_35509g = alp_35509g - 200;
end

%35510
c_35510 = sqrt((Mx(5, 5) - Mx(6, 6))^2 + 4*Mx(5, 6)^2);
a_35510 = sqrt((Mx(5, 5) + Mx(6, 6) + c_35510)/2);
b_35510 = sqrt((Mx(5, 5) + Mx(6, 6) - c_35510)/2);
alp_35510 = atan2(2*Mx(5, 6), Mx(5, 5) - Mx(6, 6))/2;
while alp_35510 > 2*pi
    alp_35510 = alp_35510 - 2*pi;
end
while alp_35510 < 0
    alp_35510 = alp_35510 + 2*pi;
end
alp_35510g = alp_35510/rad;
if alp_35510g > 200
    alp_35510g = alp_35510g - 200;
end

%4001
c_4001 = sqrt((Mx(7, 7) - Mx(8, 8))^2 + 4*Mx(7, 8)^2);
a_4001 = sqrt((Mx(7, 7) + Mx(8, 8) + c_4001)/2);
b_4001 = sqrt((Mx(7, 7) + Mx(8, 8) - c_4001)/2);
alp_4001 = atan2(2*Mx(7, 8), Mx(7, 7) - Mx(8, 8))/2;
while alp_4001 > 2*pi
    alp_4001 = alp_4001 - 2*pi;
end
while alp_4001 < 0
    alp_4001 = alp_4001 + 2*pi;
end
alp_4001g = alp_4001/rad;
if alp_4001g > 200
    alp_4001g = alp_4001g - 200;
end

```

```

end

%4002
c_4002 = sqrt((Mx(10, 10) - Mx(11, 11))^2 + 4*Mx(10, 11)^2);
a_4002 = sqrt((Mx(10, 10) + Mx(11, 11) + c_4002)/2);
b_4002 = sqrt((Mx(10, 10) + Mx(11, 11) - c_4002)/2);
alp_4002 = atan2(2*Mx(10, 11), Mx(10, 10) - Mx(11, 11))/2;
while alp_4002 > 2*pi
    alp_4002 = alp_4002 - 2*pi;
end
while alp_4002 < 0
    alp_4002 = alp_4002 + 2*pi;
end
alp_4002g = alp_4002/rad;
if alp_4002g > 200
    alp_4002g = alp_4002g - 200;
end

%2011
c_2011 = sqrt((Mx(13, 13) - Mx(14, 14))^2 + 4*Mx(13, 14)^2);
a_2011 = sqrt((Mx(13, 13) + Mx(14, 14) + c_2011)/2);
b_2011 = sqrt((Mx(13, 13) + Mx(14, 14) - c_2011)/2);
alp_2011 = atan2(2*Mx(13, 14), Mx(13, 13) - Mx(14, 14))/2;
while alp_2011 > 2*pi
    alp_2011 = alp_2011 - 2*pi;
end
while alp_2011 < 0
    alp_2011 = alp_2011 + 2*pi;
end
alp_2011g = alp_2011/rad;
if alp_2011g > 200
    alp_2011g = alp_2011g - 200;
end

%2012
c_2012 = sqrt((Mx(16, 16) - Mx(17, 17))^2 + 4*Mx(16, 17)^2);
a_2012 = sqrt((Mx(16, 16) + Mx(17, 17) + c_2012)/2);
b_2012 = sqrt((Mx(16, 16) + Mx(17, 17) - c_2012)/2);
alp_2012 = atan2(2*Mx(16, 17), Mx(16, 16) - Mx(17, 17))/2;
while alp_2012 > 2*pi
    alp_2012 = alp_2012 - 2*pi;
end
while alp_2012 < 0
    alp_2012 = alp_2012 + 2*pi;
end
alp_2012g = alp_2012/rad;
if alp_2012g > 200
    alp_2012g = alp_2012g - 200;
end

%2013
c_2013 = sqrt((Mx(19, 19) - Mx(20, 20))^2 + 4*Mx(19, 20)^2);
a_2013 = sqrt((Mx(19, 19) + Mx(20, 20) + c_2013)/2);
b_2013 = sqrt((Mx(19, 19) + Mx(20, 20) - c_2013)/2);
alp_2013 = atan2(2*Mx(19, 20), Mx(19, 19) - Mx(20, 20))/2;
while alp_2013 > 2*pi
    alp_2013 = alp_2013 - 2*pi;
end
while alp_2013 < 0
    alp_2013 = alp_2013 + 2*pi;
end
alp_2013g = alp_2013/rad;
if alp_2013g > 200
    alp_2013g = alp_2013g - 200;
end

%2014
c_2014 = sqrt((Mx(22, 22) - Mx(23, 23))^2 + 4*Mx(22, 23)^2);
a_2014 = sqrt((Mx(22, 22) + Mx(23, 23) + c_2014)/2);
b_2014 = sqrt((Mx(22, 22) + Mx(23, 23) - c_2014)/2);
alp_2014 = atan2(2*Mx(22, 23), Mx(22, 22) - Mx(23, 23))/2;
while alp_2014 > 2*pi
    alp_2014 = alp_2014 - 2*pi;
end

```

```
while alp_2014 < 0
    alp_2014 = alp_2014 + 2*pi;
end
alp_2014g = alp_2014/rad;
if alp_2014g > 200
    alp_2014g = alp_2014g - 200;
end
```

Příloha 22: Funkce pro výpočet směrníku v programu Matlab

```
function [Smernik] = smernik (YP, XP, YK, XK)
```

```
%Funkce pro výpočet směrníku
```

```
%Autor: Kryštof Sedlák
```

```
%Y a X
```

```
P = [YP, XP];
```

```
K = [YK, XK];
```

```
%Rozdily Y a X
```

```
rY = K(1)-P(1);
```

```
rX = K(2)-P(2);
```

```
%Fi
```

```
fi = (atan(abs(rY)/abs(rX)))*(200/pi);
```

```
%Smernik
```

```
if rY>0 && rX>0
```

```
    Smernik = fi;
```

```
end
```

```
if rY>0 && rX<0
```

```
    Smernik = 200-fi;
```

```
end
```

```
if rY<0 && rX<0
```

```
    Smernik = 200+fi;
```

```
end
```

```
if rY<0 && rX>0
```

```
    Smernik = 400-fi;
```

```
end
```

```
if rY==0 && rX<0
```

```
    Smernik = 200;
```

```
end
```

```
if rY==0 && rX>0
```

```
    Smernik = 0;
```

```
end
```

```
if rY<0 && rX==0
```

```
    Smernik = 300;
```

```
end
```

```
if rY>0 && rX==0
```

```
    Smernik = 100;
```

```
end
```

```
end
```

Příloha 23: Skript na vykreslení histogramu v programu Matlab

```
clc; clear all; close all; format long g;

%Bakalarska prace - histogram homogenizovanych oprav

%Autor: Kryštof Sedlák

%Vypocet

vh = [-0.0117236678952929
      0.357601115699565
      -0.0241896383674567
      0.0397662950984461
      0.250940429144417
      -0.287092578495842
      0.15072687965282
      0.478983776311536
      -0.536865602151323
      0.970841088295924
      -2.81706951429439
      -1.10813953238535
      -0.257384017483917
      0.113614466926933
      -2.29066333552094
      0.528367957218714
      -0.621576843260749
      -2.66998722438023
      0.00715119605158908
      -0.589988522130734
      -0.0613041924909199
      -0.907085986357771
      0.156239931860455
      0.15840119630013
      -0.808006932948176
      0.629799370740589
      -0.744212955778774
      -0.703531890297853
      -0.513059750079982
      0.224442066477489
      0.870290241443238
      -0.465095157084453
      0.212878532715838
      -1.20793680914121
      0.955843323098565
      -0.297288868935196
      -0.667566508124412
      0.443574034739134
      -0.0492601640311395
      0.601801380825539
      0.497394589283507
      -0.387657261961442
      0.969116179300357
      -0.405860912465471
      0.248884100189562
      0.0593858865529179
      0.0790370183911144
      -1.00321863124364
      0.0089656865589494
      0.0995324892656427
      -0.0422334320643213
      0.544331053928147
      0.32414377267685
      -0.150020421583325
      -0.53294794893547
      0.585308146200899
      0.529595037143103];

figure(1)
hold on
title('Histogram nekorelovaných oprav a Gaussova křivka')
```

```
set(gcf,'Color','w');
set(gca,'Box','on');
histfit(vh, 6, 'normal')
xlabel('Opravy')
ylabel('Četnost')
hold off

[mu, sigma] = normfit(vh);
```


Příloha 24: Skript pro kontrolu inverze matic v programu Matlab

```
clc; clear all; close all; format long g;

%%%Bakalarska prace - kontrola inverze matic

%%%Autor: Kryštof Sedlák

%%%Generovani matice
M = randn(20);

MS = 0.5*(M'*M);

for i = 1:20
    for j = 1:20
        MH(i, j) = 1/(i + j - 1);
    end
end

%%%Vypocet inverze

if MS(:, 1) == 0
    AS = 0
else
    AS = ((MS(:, 1)'*MS(:, 1))^-1)*MS(:, 1)';
end

for k = 2:length(MS)
    ak = MS(:, k);
    dk = AS*ak;
    ck = ak - MS(:, 1:(k - 1))*dk;
    if ck == 0
        bk = ((1 + dk'*dk)^-1)*dk'*AS';
    else
        bk = ((ck'*ck)^-1)*ck';
    end
    AS = [AS - dk*bk; bk];
end

ASP = 2*AS - AS*MS*AS;

%%%Kontrola vypoctu inverze
kV = MS*ASP;

%%%Prvni kontrola inverze Matlabu
kS = ASP - inv(MS);

%%%Druha kontrola inverze Matlabu
kS2 = ASP - MS^-1;
```