



Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta aplikovaných věd

Katedra matematiky

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

# **Porovnání vybraných geodetických programů pro vyrovnání geodetických sítí**

Plzeň, 2006

Zuzana Viletová



## Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr bakalářského studia na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, jejichž úplný seznam je její součástí.

V Plzni dne 7. 6. 2006

.....

#### Poděkování:

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Kadlecovi za metodické vedení, věcné připomínky a zapůjčení odborné literatury pro zpracování bakalářské práce. Zvláště mu děkuji za převedení měřičského zápisníku, který jsem použila pro praktickou část této práce, do souboru GKF.

Dále bych velmi ráda poděkovala Janu Sehnalovi za obratnou pomoc při porovnání etap v programu Groma a ujasnění nejasností spojených s touto problematikou. Dále pak Janu Pytlovi za poskytnuté rady k programu GNU GaMa a jeho uživatelskému prostředí Rocinante. Velké poděkování patří i mé kolegyni Hance Kutákové za věcné připomínky k algoritmům pro výpočet soustav rovnic, která se této problematice věnuje ve své bakalářské práci.

Zároveň děkuji Ing. Martinovi Grotzovi za jeho volný čas, velice cenné rady pro práci v programu Groma a za zapůjčení odborné literatury.

## **Klíčová slova:**

Vyrovnaní zprostředkujících veličin, zpracování zápisníku, SVD, XML, GNU GaMa, Groma, Rocinante, Kokeš

## **Abstrakt:**

Při výběru programu na vyrovnaní sítí má budoucí uživatel mnoho možností, ze kterých si vybrat. Cílem této práce je proto porovnat dva programy pro vyrovnaní geodetických sítí jednak z pohledu použitého matematického aparátu, ale také z pohledu uživatele. Pro porovnání byl vybrán freeware GNU GaMa a komerční software Groma. Každý z těchto programů je v této práci čtenáři přiblížen, testován na plošné síti zaměřené během pěti let v okolí Hradu Nečtiny a v závěru práce zhodnocen. Oba programy mají své výrazné klady, ale také zápory, je už pouze na uživateli, aby si určil, jaké vlastnosti jsou pro něj přednější. Tato práce by měla přinést zájemci zásadní stanoviska, podle kterých si vybrat správný program na vyrovnaní sítí.

## **Keywords:**

Observed equations adjustment, field book processing, SVD, XML, GNU GaMa, Groma, Rocinante, Kokeš

## **Abstract:**

When selecting a program for survey adjustment, the future user has many options to choose from. The aim of this thesis is therefore to compare two programs for survey adjustment; in the used mathematical apparatus aspect as well as from the user's point of view. For the comparison freeware GNU GaMa and commercially available software Groma were selected. Each program is presented, tested on a plain network surveyed in a five year period around Hrad Nečtiny and finally evaluated. Both programs have their distinct strengths but also weaknesses. It is completely up to the user to choose which characteristics he prefers more. This work should bring fundamental facets for the proper program for survey adjustment selection.

# Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>POUŽITÁ SYMBOLIKA</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>TEORETICKÉ ZÁKLADY VYROVNÁNÍ GEODETICKÝCH SÍTÍ METODOU NEJMENŠÍCH ČTVERCŮ</b> .....	<b>10</b>
3.1	VYROVNÁNÍ GEODETICKÝCH MĚŘENÍ.....	10
3.2	VARIANTY VYROVNÁNÍ A PŘIPOJENÍ SÍTĚ.....	11
3.2.1	<i>Vázané sítě</i> .....	11
3.2.2	<i>Volné sítě</i> .....	11
3.3	KLASICKÉ VYROVNÁNÍ ZPROSTŘEDKUJÍCÍCH VELIČIN.....	12
3.3.1	<i>Volba zprostředkujících veličin</i> .....	14
3.3.2	<i>Zprostředkující parametr – délka</i> .....	15
3.3.3	<i>Zprostředkující parametr – úhel</i> .....	16
3.3.4	<i>Zprostředkující parametr – směr</i> .....	17
3.4	MATEMATICKÝ MODEL VYROVNÁNÍ PROGRAMU GNU GAMA.....	18
3.5	MATEMATICKÝ MODEL VYROVNÁNÍ PROGRAMU GROMA.....	19
<b>4</b>	<b>ŘEŠENÍ SOUSTAVY ROVNIC</b> .....	<b>20</b>
4.1	INVERZNÍ METODA PROGRAMU GROMA.....	20
4.1.1	<i>Moderní metody programu GNU GaMa</i> .....	21
4.1.2	<i>SVD</i> .....	21
4.1.3	<i>Gramm-Schmidtova ortogonalizace</i> .....	22
<b>5</b>	<b>UŽIVATELSKÉ ROZHRANÍ</b> .....	<b>23</b>
5.1	PROSTŘEDÍ PROGRAMU GROMA.....	23
5.1.1	<i>Požadavky programu Groma</i> .....	24
5.1.2	<i>Seznamy</i> .....	24
5.1.3	<i>Výpočetní úlohy</i> .....	24
5.1.4	<i>Porovnání seznamů souřadnic</i> .....	25
5.1.5	<i>Nápověda</i> .....	25
5.1.6	<i>Vyrovnání sítě</i> .....	25
5.1.6.1	<i>Vstupní data</i> .....	26
5.1.6.2	<i>Charakteristiky bodů</i> .....	26
5.1.6.3	<i>Metody vyrovnání</i> .....	27
5.1.6.4	<i>Parametry sítě</i> .....	29
5.1.6.5	<i>Porovnání etap</i> .....	30
5.2	PROSTŘEDÍ PROGRAMU GNU GAMA.....	31
5.2.1	<i>Rocinante</i> .....	31
5.2.1.1	<i>Seznamy</i> .....	31
5.2.1.2	<i>Parametry sítě</i> .....	33
5.2.1.3	<i>Vyrovnání sítě</i> .....	33
5.2.1.4	<i>Nápověda</i> .....	33
5.2.2	<i>Knet</i> .....	34
5.2.2.1	<i>Seznamy</i> .....	35
5.2.2.2	<i>Parametry sítě</i> .....	35
5.2.2.3	<i>Vyrovnání sítě</i> .....	35
5.2.2.4	<i>Nápověda</i> .....	36
<b>6</b>	<b>PŘÍPRAVA VSTUPNÍCH DAT</b> .....	<b>37</b>
6.1	KLASICKÉ ZPRACOVÁNÍ ZÁPISNÍKU.....	37
6.2	ZPRACOVÁNÍ ZÁPISNÍKU V PROGRAMU GROMA.....	38
6.3	ZPRACOVÁNÍ ZÁPISNÍKU V PROGRAMU GNU GAMA.....	41
<b>7</b>	<b>PRAKTICKÉ POROVNÁNÍ</b> .....	<b>42</b>
7.1	VYROVNÁNÍ SÍTĚ V OKOLÍ LOKALITY HRAD NEČTINY.....	42
7.2	VYROVNÁNÍ MODELOVÉ SÍTĚ.....	44
<b>8</b>	<b>ZHODNOCENÍ PROGRAMŮ</b> .....	<b>45</b>

8.1	Hlavní rysy programu GNU GAMA .....	45
8.2	Hlavní rysy programu GROMA .....	46
8.3	Vlastní zhodnocení .....	47
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>48</b>
<b>10</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA:.....</b>	<b>49</b>
<b>11</b>	<b>PŘÍLOHA 1 – VÝTAH Z PROTOKOLŮ VÝPOČTU VYROVNÁNÍ SÍTĚ HRAD NEČTINY 51</b>	
11.1	GNU GAMA: VYROVNÁNÍ MÍSTNÍ GEODETICKÉ SÍTĚ – ZE VŠECH NAMĚŘENÝCH DAT .....	51
11.2	GROMA: VYROVNÁNÍ MÍSTNÍ GEODETICKÉ SÍTĚ – ZE VŠECH NAMĚŘENÝCH DAT.....	52
11.3	GNU GAMA: VYROVNÁNÍ MÍSTNÍ GEODETICKÉ SÍTĚ – Z REDUKOVANÝCH DAT.....	54
11.4	GROMA: VYROVNÁNÍ MÍSTNÍ GEODETICKÉ SÍTĚ – Z REDUKOVANÝCH DAT .....	56
<b>12</b>	<b>PŘÍLOHA 2 – POROVNÁNÍ SEZNAMŮ SOUŘADNIC.....</b>	<b>58</b>
12.1	Porovnání seznamů z vyrovnání všech naměřených dat .....	58
12.2	Porovnání seznamů z vyrovnání z redukováných dat .....	60
<b>13</b>	<b>PŘÍLOHA 3 - MODELOVÁ SÍŤ.....</b>	<b>62</b>
13.1	GROMA - BEZCHYBNĚ .....	62
13.2	GNU GAMA - BEZCHYBNĚ.....	63
13.3	GROMA - PO ÚPRAVĚ.....	64
13.4	GNU GAMA - PO ÚPRAVĚ .....	65
13.5	Grafické znázornění modelové sítě .....	66
<b>14</b>	<b>PŘÍLOHA 4 – POROVNÁNÍ ETAP .....</b>	<b>66</b>
<b>15</b>	<b>PŘÍLOHA 5 – GRAFICKÝ VÝSTUP Z POROVNÁNÍ SOUŘADNIC .....</b>	<b>67</b>
15.1	Porovnání souřadnic ze všech měření.....	67
15.2	Porovnání souřadnic z redukováného měření .....	68
<b>16</b>	<b>PŘÍLOHA 6 – KONTROLNÍ KRESBA TESTOVANÉ SÍTĚ HRAD NEČTINY.....</b>	<b>69</b>
<b>17</b>	<b>PŘÍLOHA 7 – OBSAH PŘILOŽENÉHO CD.....</b>	<b>70</b>

# 1 Úvod

Vyrovnaní geodetických sítí je v současné době možné provést pomocí velkého množství programů, které si lze zakoupit. Zakoupené programy jsou chráněny proti neoprávněnému užití, většinou pomocí hardwarových klíčů. Mezi takovéto softwary patří Geus, Groma nabízená firmou Geoline spol. s r.o., Kokeš společnosti Gepro spol. s r.o. a další. Tyto softwary pracují v prostředí Microsoft Windows a jsou určeny k základním geodetickým výpočtům. K systémům je ovšem možno dokoupit velké množství rozšiřujících modulů, které jsou určeny mimo jiné i pro vyrovnávání geodetických sítí.

Roku 1984 byl založen projekt GNU Richardem Matthew Stallmanem, který je dnes široce rozšířen po celém světě. Jeho smyslem je tvorba svobodného operačního systému s jádrem Linux a sdílení informací v rámci komunity uživatelů a vývojářů. Rokem 1998 se datují začátky projektu GNU GaMa, kdy u vzniku stál Aleš Čepek z Katedry mapování a kartografie FSV ČVUT. Projekt GNU GaMa je věnován vyrovnávání geodetických sítí, jde o GNU projekt a je proto volně šiřitelný, včetně zdrojových kódů, pod licencí GNU General Public Licence.

Cílem této práce je porovnání dvou softwarů pro vyrovnání geodetických sítí. Pro porovnání byl vybrán komerční software Groma, který byl nainstalován na všech katastrálních úřadech v ČR jako standardní nástroj pro geodetické výpočty. Druhým geodetickým programem byl zvolen freeware GNU GaMa, který je volně šiřitelný včetně zdrojových kódů. Programy by měly být porovnány jednak z hlediska použitého matematického modelu a algoritmu při řešení vyrovnání sítí, ale také z hlediska uživatelského.

Pro praktické porovnání vyrovnaných hodnot (souřadnic) vázané sítě z programů GNU GaMa a Groma byla vybrána geodetická síť v okolí lokality Hrad Nečtiny, která byla během let 2000, 2001, 2002, 2003 a 2005 zaměřena a postupně doplňována body PBPP v rámci terénní výuky předmětu KMA/GEN3.



## 2 Použitá symbolika

Zvolená symbolika vychází z běžně doposud užívaného označování veličin v geodetických předmětech. V celé práci je snaha o maticové a vektorové vyjádření, které je vyznačeno tučnou kurzívou. Jednotlivé prvky jsou značeny prostou kurzívou.

Symbolika nejdůležitějších pojmů:

$n$ .....počet neznámých bodů

$2n$ .....počet neznámých veličin ( $x, y$ )

$m$ .....počet měřených veličin,  $m \geq n$

$F$ .....skutečná hodnota určité měřené veličiny

$l$ .....vektor přímo měřených veličin,  $l = (l_1, l_2, \dots, l_m)^T$

$\varepsilon$ .....vektor skutečných chyb,  $\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_m)^T$

$x$ .....vektor hledaných neznámých,  $x = (x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n)$

$\bar{l}$ .....vektor vyrovnaných naměřených hodnot,  $\bar{l} = (\bar{l}_1, \bar{l}_2, \dots, \bar{l}_m)^T$

$v$ .....vektor oprav měřených veličin,  $v = (v_1, v_2, \dots, v_m)^T$

$\bar{x}$ .....vektor vyrovnaných neznámých (odhad hledaných neznámých  $x$ ),

$\bar{x} = (x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n)$

$u_{ij}$ .....prvek matice  $U$

### 3 Teoretické základy vyrovnání geodetických sítí metodou nejmenších čtverců

Obsahem následujícího textu je stručný úvod do problematiky vyrovnání geodetických sítí. Jelikož pro vyrovnání sítí se používá algoritmus vyrovnání zprostředkujících veličin, hlavní část této kapitoly je věnována tomuto algoritmu s následným uvedením matematických modelů použitých při vyrovnání v programech GNU GaMa a Groma.

#### 3.1 Vyrovnání geodetických měření

Jak je známo, každé měření je zatíženo velkým množstvím nevyhnutelných chyb způsobenými nedokonalostí našich smyslů a přístrojů, vnějšími vlivy ale i naší nezkušeností. Takovéto chyby dělíme na náhodné a systematické. Chyby náhodné (chyba v cílení, čtení, urovnání libely apod.) nemají žádné zákonitosti, jsou nepředvídatelné a vzájemně nezávislé. Zkušenost však ukazuje, že při větším množství měření stejné veličiny mají náhodné chyby normální rozdělení podléhající Gaussovým zákonům. V dnešní době se díky novým konstrukcím přístrojů vliv náhodných chyb natolik zmenšil, že se nápadněji projevují nevyhnutelné systematické chyby. Původ systematických chyb (kolimační, indexová, refrakční chyba apod.) je zpravidla v některém faktoru, který při stejných podmínkách ovlivňuje měření ve stejném smyslu. Systematické chyby jsou do určité míry závislé a některé z nich lze vyloučit postupem měření nebo početní korekcí. Vlivy nevyhnutelných chyb bohužel nelze zcela odstranit, můžeme je pouze snižovat a tím zvýšit přesnost měření. Výsledkem měření je proto veličina zatížená chybami náhodnými a systematickými. Ke zvýšení přesnosti konečného výsledku měření a k vyloučení hrubých chyb se měření neznámé veličiny opakuje.

Opakováním měření nad nutný počet dostáváme nadbytečná měření, pro která chceme najít nejlepší odhad měřené veličiny. Odhad veličin lze provést pomocí různých metod, které jsou ve své podstatě jen tzv. ekvivalentními úpravami matic. Výpočet odhadu se může realizovat pomocí metody nejmenších čtverců (MNČ), metody odlehlých pozorování (MNAS) a metody MINIMAX. V současné době je nejenom v softwarovém zabezpečení upřednostňována metoda MNČ, která dává odhady hodnot neznámých v optimálním přiblížení k absolutně přesnému řešení. Před samotným vyrovnáním je nutné kontrolovat vstupní soubor na výskyt hrubých chyb a případná chybná měření předem vyloučit. Jinak měření svou chybou ovlivní velikost oprav ostatních měření, čímž se jejich vyrovnaná hodnota znehodnotí.

Výpočet všech hledaných hodnot lze provést dvěma způsoby, které v podstatě závisí na požadované přesnosti. Pro práce v rámci katastru nemovitostí nejspíše postačí postupný výpočet jednotlivých stanovisek klasickými geodetickými metodami (polygon, protínání, polární metoda). Pro přesnější práce je pak nutno chápat měření jako celek a provést obecnou metodu vyrovnání sítě.

## 3.2 Varianty vyrovnání a připojení sítě

Geodetická síť je tvořena množinou bodů (stanoviska, pozorované body), které jsou propojeny geometrickými parametry (směry, úhly, délky). V geodézii se setkáváme s několika způsoby připojení vyrovnané sítě do referenčního systému.

### 3.2.1 Vázané sítě

Vázané sítě jsou takové, které pracují se souřadnicemi daných bodů jako s bezchybnými. Tyto souřadnice vstupují do vyrovnání jako pevné a vyrovnáním nejsou změněny. Vázané sítě proto používáme, pracujeme-li se stávajícím bodovým polem, jehož souřadnice jsou pro nás závazné.

Úloha je umístěna do prostoru za platnosti počtu podmínek daným počtem pevných souřadnic bodů. Měření mezi pevnými body nemají vliv na výsledky vyrovnání, ovlivní pouze charakteristiky přesnosti. Úloha vázané geodetické sítě se řeší pomocí vyrovnání zprostředkujících veličin, na které se v práci především zaměříme.

### 3.2.2 Volné sítě

Principem řešení volné sítě je, že všechny body sítě považujeme za neznámé; všechny vstupují do vyrovnání a dostávají opravy. Poloha sítě tak není jednoznačně určena v rovině, a proto s volnými sítěmi pracujeme jako s místními. Volné sítě používáme, aby nám méně přesná stávající síť svým tvarem a rozměrem nenarušovala naše nové přesnější měření.

Úloha volné geodetické sítě není jednoznačně řešitelná, lze ji řešit více způsoby. Jednou z možností je použití klasické minimalizační podmínky, ke které přistupuje zvláštní podmínka mezi přírůstky neznámých, viz [1, kap. 9]. Jinou častěji užívanou možností je vyrovnání zprostředkujících veličin s podmínkami.

### 3.3 Klasické vyrovnání zprostředkujících veličin

Pokud hledané neznámé veličiny nejsou přímo měřeny, ale jsou určeny prostřednictvím jiných měřených veličin, které jsou s neznámými  $x$  ve známém vztahu, používáme způsob vyrovnání zprostředkujících měření. Vyrovnáním se hledají nejspolehlivější hodnoty neznámých a jejich střední chyby. K vyrovnání dojde, jestliže máme nadbytečná měření, pomocí nichž můžeme sestavit vzájemně nezávislé rovnice, kterých je víc než neznámých.

Podle [1] každá opakovaně naměřená hodnota  $l_i$  obsahuje ve výsledném čísle chybu  $\varepsilon_i$ , která buď zmenší, nebo zvětší výsledek měření proti skutečné (pravé) hodnotě  $F_i$  určité měřené veličiny.

$$l_1 = F_1 - \varepsilon_1, l_2 = F_2 - \varepsilon_2, \dots, l_m = F_m - \varepsilon_m$$

Pro každé provedené zprostředkující měření lze sestavit vztah typu:

$$F = l + \varepsilon = f(x^T)$$

Skutečné chyby  $\varepsilon$  není možné určit, a tak skutečná neznámá zprostředkující hodnota  $F$  nelze nikdy zjistit. Proto se hledá aproximace skutečné hodnoty  $F$ , kterou je tzv. vyrovnaná hodnota  $\bar{l}$ . Vyrovnané zprostředkující měření  $\bar{l}$  lze vyjádřit jednak pomocí přímo měřených veličin  $l$  a jejich oprav  $v$ , a jednak pomocí odhadů neznámých  $\bar{x}$ . Dostaneme tak vztah:

$$\bar{l} = l + v = f(\bar{x}^T), \quad (1)$$

z něhož přímo vyplývá nelineární tzv. rovnice oprav

$$v = f(\bar{x}^T) - l, \quad (2)$$

pro kterou požadujeme splnění podmínky metody nejmenších čtverců (MNČ)

$$v^T P v = \min, \quad (3)$$

kde  $P$  je váhová matice typu  $(m \times m)$ .

Předpokladem pro získání jednoduchých rovnic k výpočtu hledaných neznámých je lineární tvar rovnic oprav. Linearizace se provede rozvojem funkčního vztahu (2) v Taylorovu řadu s omezením na členy prvního řádu. Proto musíme zavést dostatečně přibližné hodnoty neznámých  $x_0$ , které vypočteme z naměřených veličin libovolným, co nejjednodušším, způsobem. Neznámé hodnoty vyjádříme jako:

$$\bar{x} = x_0 + dx,$$

dosadíme do rovnice oprav a provedeme rozvoj s omezením na členy prvního řádu a druhý člen Taylorova rozvoje označíme maticí  $A$ , kde  $A \in \mathbb{R}^{m \times 2n}$ .

$$\mathbf{v} = f(x_o^T) + \underbrace{\frac{\partial f(x^T)}{\partial x^T}}_A \Big|_{x=x_o} \cdot dx - l \quad (4)$$

Dále zavedeme redukované měření (vektor absolutních členů)  $\mathbf{L}$

$$\mathbf{L} = f(x_o^T) - l \quad (5)$$

A dosazením do rov. (4) dostaneme:

$$\mathbf{v} = \mathbf{A} \cdot dx + \mathbf{L} \quad (6)$$

Předpokládáme, že každé měření bylo provedeno s různou přesností a tudíž každé z nich má různou váhu  $p_i$ . Splníme podmínku MNC (3), tedy

$$\frac{\partial v^T P v}{\partial dx} = \left( \frac{\partial v}{\partial dx^T} \right)^T P v = A^T P v = 0 .$$

Po dosazení za  $\mathbf{v}$  z rovnice (6) a krácení dvěma získáme *normální rovnice*, ve které často literatura označuje symetrickou matici  $A^T P A$  jako matici  $\mathbf{N}$ .

$$\underbrace{A^T P A}_{\mathbf{N}} dx + A^T P L = 0 \quad (7)$$

Řešení normálních rovnic lze zapsat ve tvaru:

$$dx = -N^{-1} A^T P L . \quad (8)$$

Z vyrovnaných přírůstků  $dx$  určíme hledané neznámé:

$$\bar{x} = x_o + dx$$

a podle (6) vypočteme opravy  $\mathbf{v}$  a z nich hodnoty vyrovnaných veličin:

$$\bar{l} = l + v .$$

### 3.3.1 Volba zprostředkujících veličin

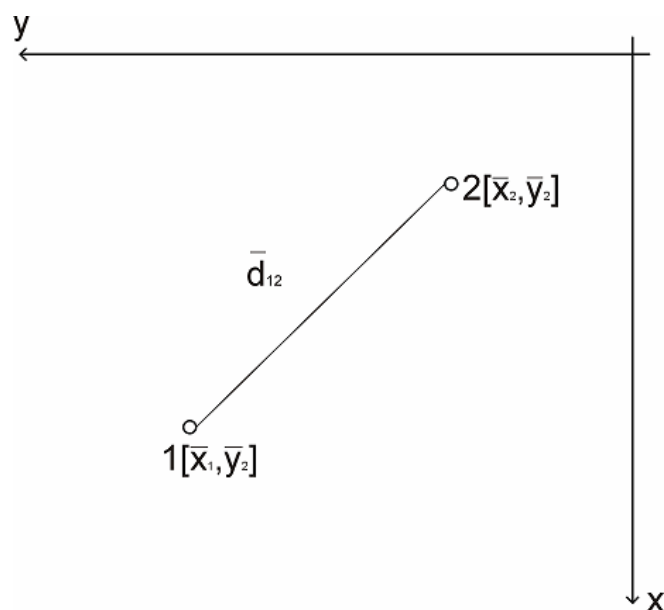
V prostorové síti jsou měřenými veličinami nejčastěji šikmé délky, vodorovné směry a zenitové úhly. Místo vodorovných úhlů se mohou používat také prostorové úhly. Zprostředkujících veličin musí být více nebo rovno počtu hledaných veličin. Volí se tak, aby byly navzájem mezi sebou nezávislé a v maximálním možném počtu.

V některých případech se měřené veličiny před vstupem do vyrovnání upraví. Např. tak, že měřené šikmé délky a zenitové úhly se převedou od spojnice středu točné osy přístroje ke středu cíle na spojnici středů stabilizačních značek bodů. Dále můžeme počet měřených veličin redukovat tak, že za měřenou veličinu považujeme její průměr ze všech měření, která byla provedena (z měřené osnovy směru bereme jako výsledný měřený směr průměr z příslušného počtu skupin, opakované měření šikmé délky z jednoho bodu na druhý nahradíme průměrnou hodnotou). Počet měřených veličin můžeme zredukovat i tím, že oboustranně měřené šikmé délky a zenitové úhly vstoupí do vyrovnání jen jako jednostranně měřené. Všechny tyto redukce počtu měření by se měly kompenzovat vhodnou volbou vah měřených veličin. Dále se měřené šikmé délky opravují o fyzikální a matematické redukce (z nadmořské výšky, ze zobrazení).

V našem příkladě z kap. 5 pracujeme se šikmými délkami a vodorovnými úhly jako zprostředkujícími veličinami.

### 3.3.2 Zprostředkující parametr – délka

Délku  $d$  lze vyjádřit pomocí neznámých  $\bar{x}$ .



Obr. 1: Schéma naměřené délky mezi bodem 1 a 2

Podle Obr. 1 platí:

$$\bar{d}_{12} = f_{12}(\bar{x}_1, \bar{y}_1, \bar{x}_2, \bar{y}_2) + v_1 = \sqrt{(\bar{x}_2 - \bar{x}_1)^2 + (\bar{y}_2 - \bar{y}_1)^2} + v_1,$$

Linearizací uvedeného vztahu podle rovnice (4) a zobecněním pro všechny naměřené délky dostaneme:

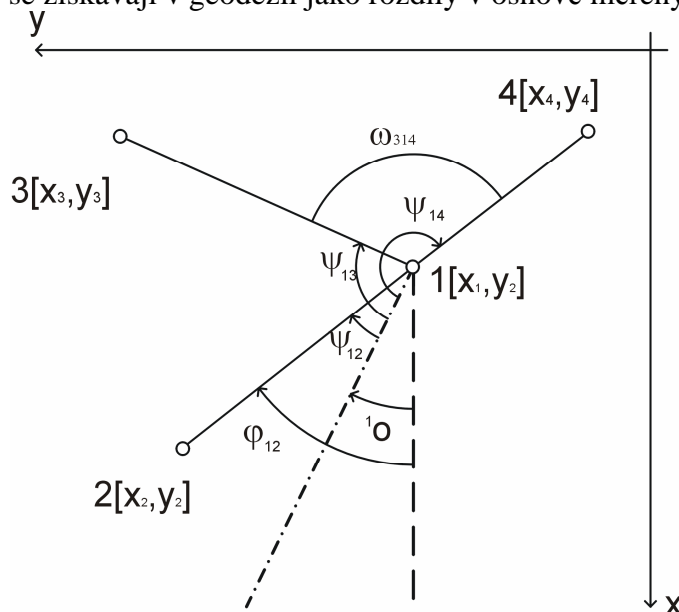
$$v_D = \underbrace{f(x_{oi}, y_{oi}, x_{oj}, y_{oj})}_{d^o} - d + A_D \cdot dx = L_D + A_D \cdot dx,$$

kde  $i, j = 1 \dots m, i \neq j$ .  $A_D$  je submatice délek, kterou tvoří členy  $ax$ ,  $ay$ , které se vkládají vždy do příslušného sloupce hledané neznámé veličiny a náležícího řádku měřené délky, zbytek matice tvoří nuly. Pro členy  $ax$ ,  $ay$  platí:

$$ax = \frac{x_{oj} - x_{oi}}{d_{ij}^o}, ay = \frac{y_{oj} - y_{oi}}{d_{ij}^o}.$$

### 3.3.3 Zprostředkující parametr – úhel

Úhly ( $\omega$ ) se získávají v geodézii jako rozdíly v osnově měřených směrů ( $\psi$ ).



Obr. 2: Zobrazení vztahu mezi naměřenými směry a výsledným úhlem či směrnicem

Podle Obr. 2 platí:

$$\omega_{314} = \psi_{14} - \psi_{13}$$

Z osnovy je možné počítat velké množství úhlů různých kombinací. Pro vyrovnání zprostředkujících veličin je nutné vybrat takové zprostředkující veličiny, které nejsou vzájemně lineárně závislé, ostatní veličiny by nepřinesly žádnou novou informaci.

Úhel lze vyjádřit pomocí neznámých  $\bar{x}$ :

$$\omega_{jik} = f_{jik}(\bar{x}_i, \bar{y}_i, \bar{x}_j, \bar{y}_j, \bar{x}_k, \bar{y}_k) + v_i,$$

kde  $i, j, k = 1, 2, \dots, n, i \neq j \neq k$ . Funkci neznámých je možné určit pomocí směrnic  $\varphi$ :

$$f_{jik} = (\varphi_{ik} - \varphi_{ij}) = \arctg \frac{\bar{y}_k - \bar{y}_i}{\bar{x}_k - \bar{x}_i} - \arctg \frac{\bar{y}_j - \bar{y}_i}{\bar{x}_j - \bar{x}_i}.$$

Linearizací této funkce pomocí Taylorova rozvoje (4) a zobecněním pro všechny úhly obdržíme:

$$v_U = \underbrace{f(x_{oi}, y_{oi}, x_{oj}, y_{oj}, x_{ok}, y_{ok})}_{f^o} - \omega + A_U \cdot dx = L_U + A_U \cdot dx.$$



Matice  $A_U$  je tvořena nulami a na příslušných místech (obdobně jako u  $A_D$ ) těmito členy:

$$\begin{aligned} ax_i &= \frac{(y_k - y_i)}{d_{ik}^{\circ 2}} - \frac{(y_j - y_i)}{d_{ij}^{\circ 2}}, ay_i = \frac{-(x_k - x_i)}{d_{ik}^{\circ 2}} - \frac{-(x_j - x_i)}{d_{ij}^{\circ 2}} \\ ax_j &= \frac{(y_j - y_i)}{d_{ij}^{\circ 2}}, ay_j = \frac{-(x_j - x_i)}{d_{ij}^{\circ 2}} \\ ax_k &= \frac{-(y_k - y_i)}{d_{ik}^{\circ 2}}, ay_k = \frac{(x_k - x_i)}{d_{ik}^{\circ 2}} \end{aligned}$$

### 3.3.4 Zprostředkující parametr – směr

Naměřený směr  $\psi$  je vyjádřen pomocí neznámých  $\bar{x}$ , které tvoří neznámé souřadnice a orientační posun  ${}^1o$ . Podle Obr. 2 platí:

$$\psi_{12} = f_{12}(\bar{x}_1, \bar{y}_1, \bar{x}_2, \bar{y}_2, {}^1o) + v_1,$$

kde funkci s neznámými hodnotami lze určit směrníkem  $\varphi$  a orientačním posunem:

$$f_{12} = \varphi_{12} - {}^1o = \operatorname{arctg} \frac{\bar{y}_2 - \bar{y}_1}{\bar{x}_2 - \bar{x}_1} - {}^1o,$$

linearizací a zobecněním uvedeného funkčního vztahu dostaneme:

$$v_s = \underbrace{f(x_{oi}, y_{oi}, x_{oj}, y_{oj}, {}^1o)}_{f^o} - \psi + A_s \cdot dx = L_s + A_s \cdot dx$$

Submatici směrů  $A_s$  tvoří nulové hodnoty a příslušně umístěné členy  $ax_i, ay_i, ax_j, ay_j$ :

$$\begin{aligned} ax_i &= \frac{(y_j - y_i)}{s_{ij}^2}, ay_i = \frac{-(x_j - x_i)}{s_{ij}^2} \\ ax_j &= \frac{-(y_j - y_i)}{s_{ij}^2}, ay_j = \frac{(x_k - x_i)}{s_{ij}^2} \end{aligned}$$

### 3.4 Matematický model vyrovnání programu GNU GaMa

GNU GaMa vyrovnává metodou MNČ, jejímž předpokladem je lineární tvar rovnic oprav. Každé měření (délky, směry) je nutno nejprve linearizovat vzhledem k neznámým (neznámé souřadnice  $x$ ,  $y$ ,  $z$  a orientační posuny). Z uživatelské příručky [6] GNU GaMa je patrné, že matematický postup pro vyrovnání sítě je totožný s klasickým vyrovnáním, uvedeném výše. Linearizovaným modelem vyrovnání je:

$$\mathbf{v} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{dx} + \mathbf{L}, \mathbf{v}^T \mathbf{Pv} = \min, \quad (9)$$

Koeficienty rovnice jsou:

$$\begin{aligned} \mathbf{A} &= (\mathbf{A}_D, \mathbf{A}_S)^T \\ \mathbf{dx} &= (dx_1, \dots, dy_n, {}^1o, \dots, {}^no)^T, \\ \mathbf{L} &= (\mathbf{L}_D, \mathbf{L}_S)^T \end{aligned}$$

$\mathbf{A}$  vyjadřuje vztah mezi hodnotami měřeními a neznámými,  $\mathbf{dx}$  je vektor hledaných neznámých,  $\mathbf{L}$  vektor absolutních členů (rozdíl hodnot přibližně vypočtených od naměřených),  $\mathbf{v}$  je vektor oprav,  $\mathbf{P}$  matice vah.

Model (9) se pro lepší práci homogenizuje na systém rovnic s podmínkou:

$$\tilde{\mathbf{v}} = \tilde{\mathbf{A}} \cdot \mathbf{dx} + \tilde{\mathbf{L}}, \tilde{\mathbf{v}}^T \mathbf{v} = \min, \quad (10)$$

kde  $\tilde{\mathbf{A}} = \mathbf{P}^{1/2} \mathbf{A}$ ,  $\tilde{\mathbf{L}} = \mathbf{P}^{1/2} \mathbf{L}$ . Symbol  $\mathbf{P}^{1/2}$  značí diagonální matici druhých odmocnin odpovídajících vah.

Pro počítání koeficientů systému (9) je nezbytné určit odhad přibližných souřadnic bodů a přibližných hodnot měřených směrů. Tyto odhady je většinou třeba vypočítat z dostupných pozorování (směry, úhly, délky). Ze všech kombinací těchto elementů program GaMa iteračně vypočte odhady přibližných souřadnic, jako střední hodnotu všech dostupných řešení. Řešení přibližných souřadnic může selhat v přítomnosti hrubých chyb.

### 3.5 Matematický model vyrovnání programu Groma

Sít' je vyrovnávána metodou vyrovnání měření zprostředkujících veličin, vycházející z teoretického základu Miroslava Ingedulda a Lud'ka Jokla. Vychází z teorie lineárních operátorů ve vektorových prostorech a z definice zprostředkující veličiny, kterou se rozumí veličina vypočtená jak z měřených geometrických veličin, tak i ze souřadnic. Zprostředkujícími veličinami v polohové síti jsou upravené vodorovné délky a vodorovné úhly, měřenými hodnotami jsou délky a směry, hledané neznámé tvoří souřadnice neznámých bodů. Linearizovaný model vyrovnání je podle dokumentace [11] dán vztahem

$$\mathbf{D} \mathbf{v} = \mathbf{w} = \mathbf{A} \mathbf{d} \mathbf{x} - \mathbf{L},$$

za podmínky

$$\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} = \min,$$

kde  $\mathbf{D}$  je matice transformace měřených veličin na veličiny zprostředkující (upravené),  $\mathbf{A}$  je matice transformace mezi prostorem neznámých a zprostředkujících parametrů, kterou tvoří submatice délek  $\mathbf{A}_S$  a úhlů  $\mathbf{A}_U$ ,  $\mathbf{d} \mathbf{x}$  je vektor hledaných neznámých,  $\mathbf{L}$  vektor absolutních členů,  $\mathbf{v}$  je vektor oprav měřených veličin,  $\mathbf{w}$  vektor oprav zprostředkujících veličin,  $\mathbf{P}$  matice vah měřených veličin.

## 4 Řešení soustavy rovnic

Při výpočtu vyrovnaných veličin je podle [10] cílem nejprve určit matici  $A$  typu  $(m \times n)$ , kterou tvoří submatice zprostředkujících veličin. Pomocí matice  $A$  lze již sestavit soustavu rovnic oprav:

$$v = A \cdot dx + L.$$

Výše uvedenou soustavu lze řešit přímo nebo nepřímo sestavením normálních rovnic. V obou případech (při shodném vstupu) vede řešení ke stejným výsledkům. Metody řešení soustav v programech GNU GaMa a Groma jsou uvedeny v následujícím textu.

### 4.1 Inverzní metoda programu Groma

Program Groma řeší soustavu rovnic pomocí sestavení normálních rovnic:

$$\underbrace{A^T P A}_N \cdot dx = \underbrace{A^T P L}_b$$
$$N \cdot dx = b, \quad (11)$$

ze kterých získá hledané koeficienty  $dx$  pomocí inverzní metody. Matice  $N \in \mathbb{R}^{n \times n}$  je symetrická, řídká a pozitivně definitní. Pomocí čísla podmíněnosti matice  $N$  lze vyjádřit míru stability a citlivost matice vzhledem k numerickým operacím.

Podle věty o inverzní matici z [14] platí, že pro každou čtvercovou regulární matici  $N \in \mathbb{R}^{n \times n}$ , existuje právě jedna inverzní matice  $N^{-1} \in \mathbb{R}^{n \times n}$  s vlastností:

$$N \cdot N^{-1} = I,$$

kde  $I$  je matice jednotková. Přenásobením rovnice (11) zleva inverzní maticí dostáváme řešení soustavy rovnic:

$$dx = N^{-1} \cdot b = N^{-1} A^T P L.$$

Inverzní metoda je často považována za nestabilní. Při inverzi může dojít při malých změnách ve vstupních datech k velkým změnám ve výsledku.

Podle [11] není jednoznačně poznat, jakým způsobem je výpočet inverze realizován v programu Groma. Pouze je naznačeno, že matice  $N$  je nejprve převedena na horní trojúhelníkovou matici a poté se teprve invertuje. Inverze je v programu Groma kontrolována výpočtem normy vektoru oprav.

Výpočetní náročnost inverzní metody je podle [13]  $O(n^3)$ .

### 4.1.1 Moderní metody programu GNU GaMa

Vyrovnání sítě řeší projekt GNU GaMa přímým řešením homogenizované soustavy rovnic oprav:

$$\begin{aligned}\tilde{A} \cdot dx &= \underbrace{\tilde{v} - \tilde{L}}_{\tilde{b}}, \\ \tilde{A} \cdot dx &= \tilde{b}\end{aligned}$$

tj. bez nutnosti sestavování normálních rovnic. Matice  $\tilde{A} \in \mathbb{R}^{m \times n}$  je pozitivně definitní, pomocí čísla podmíněnosti matice  $\tilde{A}$  lze vyjádřit míru stability a citlivost matice vzhledem k numerickým operacím.

Jako základní numerické metody pro řešení soustavy rovnic oprav se využívají algoritmy singulárního rozkladu (SVD), k dispozici je i Gramm-Schmidtova ortogonalizace. Tyto metody jsou díky užití ortogonálních matic velmi stabilní.

### 4.1.2 SVD

Pro singulární rozklad pozitivně definitní matice  $\tilde{A} \in \mathbb{R}^{m \times n}$  platí podle [14]:

$$\tilde{A} = U \cdot W \cdot V^T,$$

kde  $U \in \mathbb{R}^{m \times m}$  a  $V \in \mathbb{R}^{n \times n}$  jsou ortogonální matice a  $W = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_n) \in \mathbb{R}^{m \times n}$ , kde  $\lambda_1, \dots, \lambda_n$  jsou singulární čísla matice  $\tilde{A}$  a platí, že  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_n > 0$ .

Soustava rovnic v GNU GaMa je dána vztahem:

$$U \cdot W \cdot V^T \cdot dx = \tilde{b}. \quad (12)$$

V momentě, kdy je znám vztah (12), je již výpočet jednoduchý. Problémem je nalezení matic  $U$ ,  $W$  a  $V$ . Jeden z velmi propracovaných způsobů realizace SVD rozkladu je popsán např. v [13].

Hlavní důvod, proč mají ortogonální matice rozsáhlé použití ve výpočetních softwarech, je jejich vlastnost  $|u_{ij}| \leq 1$  (pro každé  $i, j$ ), která zaručuje stabilitu výpočtu tím, že prvky inverzní matice nemohou během výpočtu nekontrolovatelně narůstat.

Výpočetní náročnost metody singulárního rozkladu je podle [13]  $O(4m^2n + 8mn^2 + 9n^3)$ .

### 4.1.3 Gramm-Schmidtova ortogonalizace

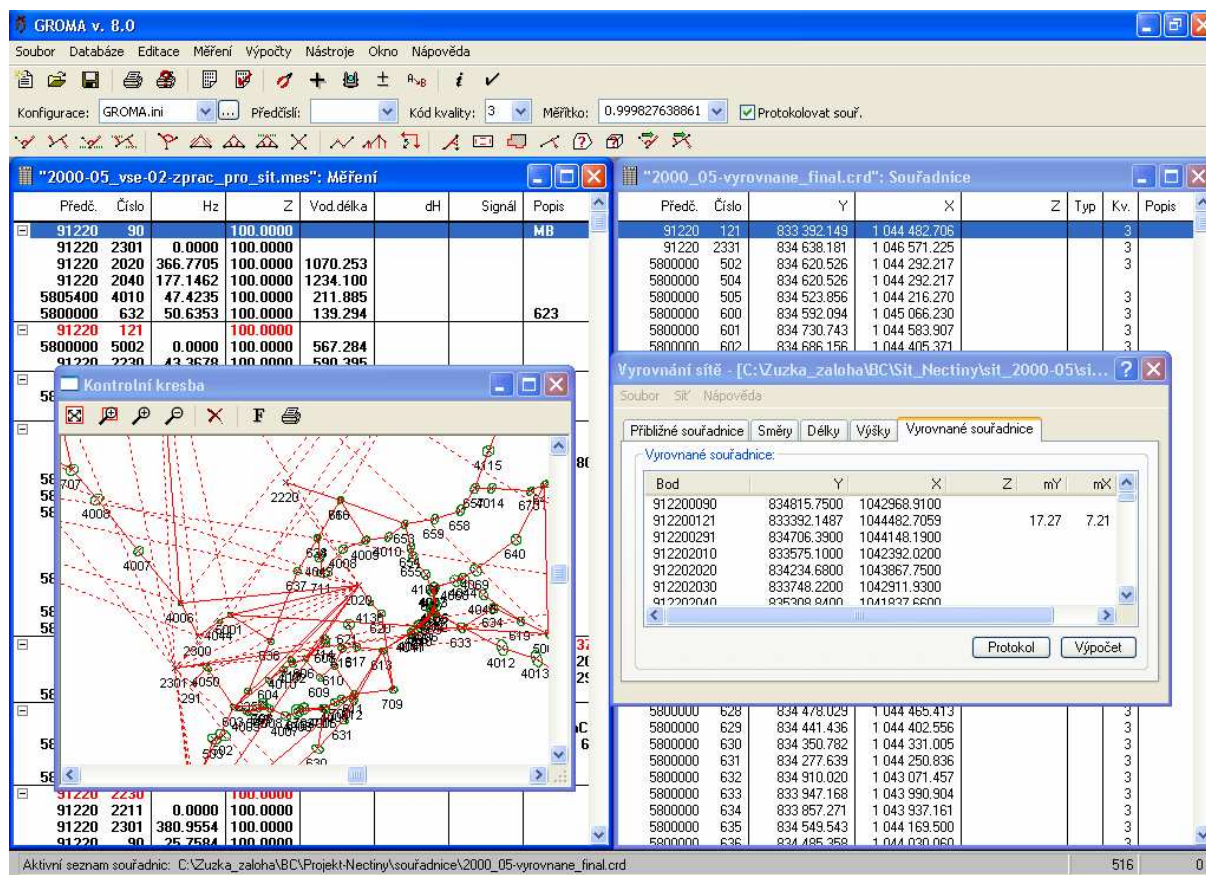
Gramm-Schmidtův ortogonalizační proces vytváří z lineárně nezávislého systému ortonormální systém. Cílem ortogonalizace je převést matici  $\tilde{A}$  na součin ortogonální matice  $Q \in \mathbb{R}^{m \times n}$  a horní trojúhelníkové matice  $R \in \mathbb{R}^{n \times n}$ , známý jako QR-rozklad. V projektu GNU GaMa se používá modifikovaná Gramm-Schmidtova ortogonalizace blokových matic, která je na rozdíl od klasické metody velmi stabilní. Tuhle metodu GNU GaMa používá jen pro testovací účely.

## 5 Uživatelské rozhraní

Mnohým uživatelům PC by se v dnešní době zdálo asi neuvěřitelné, že ještě před několika lety většina počítačů komunikovala s uživatelem výhradně pomocí textového režimu. Počátek masového vytlačování textových režimů z domácích PC nastal až v roce 1990 příchodem systému MS Windows 3.0. Dnes si již uživatel neumí představit programy bez uživatelského rozhraní. Jejich použití přináší pohodlnější a přehlednější přístup komunikace s počítačem, který je srozumitelný i pro počítačové laiky.

### 5.1 Prostředí programu Groma

Geodetický software Groma je určen ke geodetickým výpočtům. Lze v něm řešit všechny základní geodetické úlohy. Navíc obsahuje jednoduchou grafiku. Umí zpracovávat data ve formátech všech běžných záznamníků, dávkově i jednotlivými výpočty. Program pracuje v prostředí Microsoft Windows. Program se ovládá stejně, jako většina aplikačních programů pro MS Windows. Uživatel, který je na zmíněném prostředí zvyklý, by tedy ovládání nemělo činit žádné potíže. Groma umožňuje práci s více soubory, lze otevřít několik seznamů souřadnic, přetahovat myší hodnoty (body, naměřená data) z jednoho seznamu do druhého, volit, který soubor má být aktivní (tj. do kterého mají být ukládány vypočtené body), apod.



Obr. 3: Vzhled obrazovky softwaru Groma [4]

### 5.1.1 Požadavky programu Groma

Program je podle webových stránek [4] schopen pracovat na libovolném počítači, na němž běží kterákoli verze MS Windows. Doporučuje se kvalitní barevný monitor s vyšším rozlišením. Minimální doporučené rozlišení je 800 x 600 bodů. Počítač musí být vybaven myší, nejlépe třílačítkovou.

### 5.1.2 Seznamy

Základními okny v programu jsou seznamy souřadnic a seznamy měřených hodnot, které obsahují textové informace uspořádané do řádků a sloupců. Měření lze přímo importovat z formátů všech běžných záznamníků a seznamy souřadnic z textového souboru. Po otevření jsou všechny naměřené hodnoty či souřadnice zobrazeny v datovém okně, z něhož lze myší přetahovat vybrané části do výpočetních dialogových oken, případně je možno zadat číslo bodu a nechat program doplnit souřadnice ze seznamu. Není tedy třeba je zadávat z klávesnice, čímž je odstraněn významný zdroj chyb. K seznamu souřadnic je možnost otevřít i okno s grafikou, v němž jsou zobrazeny všechny body nebo pouze body označené.

### 5.1.3 Výpočetní úlohy

Veškeré výpočetní úlohy probíhají v dialogových oknech, v nichž jsou přehledně uspořádány všechny vstupní i výstupní údaje. Výpočetních oken je možné mít najednou otevřeno libovolné množství. Dále program umožňuje dávkově spočítat celý seznam naměřených hodnot, nebo jeho část. Při dávkovém výpočtu se zadá pouze vstupní a výstupní soubor, a program bez dalšího zásahu spočítá souřadnice všech zaměřených bodů. Při dávkovém výpočtu se určí souřadnice polární metodou, volným stanoviskem (případně protínáním zpět) a protínáním ze směrů. Pro výpočty si lze sestavit libovolný počet sad tolerancí, jejichž překročení program automaticky testuje, a v případě potřeby zobrazí varovné hlášení. Kromě toho lze navíc zapnout testování odchylek a geometrických parametrů dle předpisů platných pro práci v katastru nemovitostí. Výsledky těchto testů (negativní i pozitivní) jsou zapisovány do protokolu.

Při všech výpočtech vznikají automaticky textové protokoly o výpočtu. Tyto protokoly lze přímo v programu Groma editovat, tisknout, nebo dále zpracovávat libovolným textovým editorem. Dílčí protokoly z jednotlivých výpočtů se neukládají automaticky, není tedy třeba ve výsledném protokolu pracně hledat a odstraňovat pozůstatky nezdařených výpočtů.

Systém Groma lze doplňovat samostatnými rozšiřujícími moduly. Tyto moduly jsou plně integrovány do uživatelského prostředí, jeví se tedy jako standardní součást systému. Některé moduly jsou bezplatně zahrnuty ve standardní konfiguraci, některé se prodávají samostatně. Jaké moduly jsou v současné době k dispozici, lze nalézt na webových stránkách programu Groma [4].



#### 5.1.4 Porovnání seznamů souřadnic

Při práci se souřadnicemi lze zobrazit dialogové okno, které slouží ke statistickému porovnání dvou seznamů souřadnic. Test je proveden podle vztahů popsanych ve vyhlášce číslo 190/1996 Sb.

Nejprve jsou vypočteny souřadnicové rozdíly mezi testovacím a referenčním seznamem souřadnic. Z těchto rozdílů je vypočtena polohová odchylka a směrnik polohové odchylky. Dále je vypočtena střední odchylka v poloze.

Pro celý zpracovávaný soubor jsou spočteny střední chyby souřadnic a výběrová střední souřadnicová chyba. Na konci protokolu o porovnání je závěrečná statistika.

#### 5.1.5 Náповěda

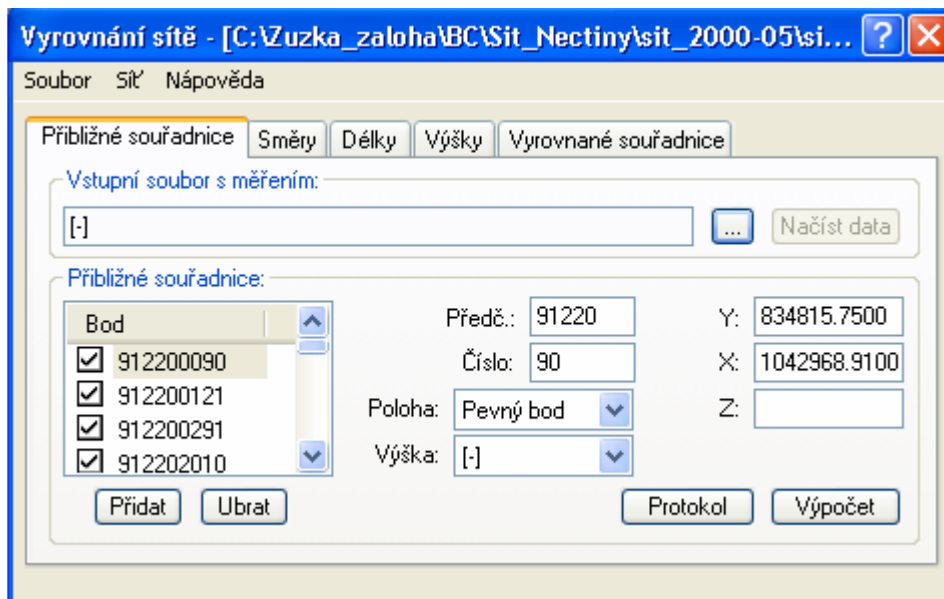
V programu Groma je kdykoli k dispozici kontextová nápověda. Nápovědu lze vyvolat třemi způsoby:

- Zvolením příkazu Nápověda z hlavního menu. Po vyvolání tohoto příkazu je zobrazen obsah nápovědy, pomocí něhož můžete postupným výběrem získat požadovanou informaci.
- Stisknutím klávesy <F1>. Po stisknutí této klávesy je podle situace zobrazena kontextová nápověda (nápověda o okamžité situaci v programu, o zvolené položce, apod.), nebo obsah nápovědy.
- Stisknutím tlačítka (Nápověda) v dialogovém okně. Po stisknutí tohoto tlačítka je vždy zobrazena kontextová nápověda, týkající se příslušného dialogového okna.

Nápověda programu Groma je tvořena interaktivní uživatelskou a referenční příručkou, která poskytuje každému uživateli veškeré informace o práci v programu.

#### 5.1.6 Vyrovnání síť

Modul je určen pro polohové i výškové vyrovnávání geodetických sítí metodou nejmenších čtverců, je navržen pouze pro práci s jednou sítí. Je plně integrován do prostředí systému Groma. Data lze přímo dávkově načíst ze seznamu měření, přeneseného z totální stanice, bez nutnosti jakéhokoli ručního zadávání. Polohové a výškové vyrovnání je prováděno odděleně. Kromě vyrovnaných souřadnic poskytuje program mnoho charakteristik přesnosti a kontrolních údajů jak pro kontrolu výpočtu, tak pro vyhledávání hrubých chyb v měřených údajích. Aniž by síť musela být počítána, lze zobrazit kontrolní kresbu sítě, kterou si je možné kdykoli vytisknout.



Obr. 4: Dialogové okno modulu pro vyrovnání sítě [4]

### 5.1.6.1 Vstupní data

Jako vstupní údaje do vyrovnání slouží přibližné souřadnice bodů sítě, měřené vodorovné směry, měřené vodorovné délky a jejich střední chyby (dále jen geometrické veličiny). O geometrických veličinách se předpokládá, že jsou již zpracované.

Před jednotlivými položkami v seznamech je zobrazeno zaškrtačací okénko, pomocí něhož lze údaje dočasně zapínat a vypínat, aniž by musely být odstraňovány ze seznamu a případně opět přidávány. V některých případech program může nepoužitelné položky automaticky vypnout. Jedná se zejména o body, na nichž neproběhlo žádné měření, dále o měření, která proběhla na bodech, jež nejsou uvedeny v seznamu bodů. Také se jedná o měřené směry na stanovisku, které obsahuje pouze jedno měření.

Pro všechny body zahrnuté do sítě musí být zadány přibližné souřadnice. Na základě seznamu měření můžeme přibližné souřadnice vypočítat systémem dávkově.

Jsou-li v síti některé délky měřeny obousměrně, musíme nejprve zpracovat seznam měření tak, aby obsahoval pouze jednu průměrnou hodnotu. Ve vstupních datech pro vyrovnání sítě se žádná geometrická veličina nemůže vyskytovat víckrát.

### 5.1.6.2 Charakteristiky bodů

Podle uživatelské a referenční příručky programu Groma [3] lze každému bodu přiřadit charakteristiku, která definuje, jakým způsobem se bude podílet na polohovém a výškovém vyrovnání a umístění sítě. Můžeme volit z těchto možností:

- Pevný bod

Bod vstupuje do vyrovnání jako fixní, jeho souřadnice nebudou vyrovnáním změněny. Mezi pevnými body by neměly být měřeny délky ani směry, nemají vliv na výsledné vyrovnané souřadnice, pouze negativně ovlivňují střední chyby.

- Pevné X, Pevné Y

U těchto bodů nebude vyrovnáním změněna jedna ze souřadnic.

- Pevný směrník

Uvedená charakteristika se využívá ve spojení s pevným bodem. Potom bude kromě souřadnic pevného bodu zachován i směrník z pevného bodu na bod s touto charakteristikou.

- Volný bod

Charakteristikou *Volný bod* se obecně označují určované body sítě. Mají-li všechny body tuhle charakteristiku, jedná se o volnou síť, která bude umístěna Helmertovou transformací na všechny body sítě.

- Helmert

Jestliže mají některé body sítě charakteristiku *Helmert* (musí být alespoň dva), jedná se o určované body, které budou zároveň použity pro určení transformačního klíče pro umístění sítě. Volné body potom pro výpočet klíče použity nebudou.

### 5.1.6.3 Metody vyrovnání

Program umožňuje výpočet jakéhokoli typu vázané i volné sítě. Vázaná síť je umístěna do referenčního systému pomocí zadaných pevných bodů, jejich souřadnice se vyrovnáním nemění. Volná síť je umístěna pomocí Helmertovy transformace, buď na všechny, nebo na vybrané body sítě.

Každému bodu můžeme přiřadit dvě výše uvedené charakteristiky, které definují, jakým způsobem se bod bude podílet na vyrovnání a umístění sítě. Charakteristika bodu se zadává odděleně pro polohu a pro výšku.

- Helmertova transformace

Mají-li všechny body vyrovnávané sítě charakteristiku *Volný*, proběhne vyrovnání za podmínky pro opravy přibližné konfigurace:  $[(dx^2 + dy^2)] = \min$ , pro všechny body sítě. Vyrovnaná síť je umístěna Helmertovou transformací na všechny body sítě.

- Výběrová Helmertova transformace

V této variantě musí mít alespoň dva body charakteristiku *Helmert* a ostatní *Volný*. Vyrovnání sítě proběhne za stejné podmínky, jako u předchozí varianty. Pro umístění vyrovnané sítě do referenčního systému jsou použity pouze body s charakteristikou *Helmert*.

- Pevný bod a pevný směrník

V této variantě jsou při vyrovnání zachovány souřadnice pevného bodu a směrník z pevného bodu na bod s pevným směrníkem. Právě jeden bod v síti musí mít charakteristiku *Pevný bod*, jeden *Pevný směrník*, a ostatní body sítě musí mít charakteristiku *Volný*.

- Vázaná síť

Vázaná síť obsahuje dva a více bodů s charakterem *Pevný*. Souřadnice těchto bodů nejsou vyrovnáním změněny. Měření mezi pevnými body nemají vliv na výsledky vyrovnání, ovlivní pouze výsledné charakteristiky přesnosti. Ostatní body mají charakter *Volný*.

#### 5.1.6.4 Parametry sítě

Před vlastním vyrovnáním sítě je možné nastavit některé parametry sítě. Některé z parametrů slouží pouze k dokumentačním účelům (správní údaje: lokalita, datum, etapa), zatímco některé jsou nezbytné pro vlastní vyrovnání (střední chyby, statistické testy). Je možné i dodatečně (např. na základě protokolu z předchozího výpočtu) hromadně upravit střední chyby všech směrů či délek, kdy je všem měřeným směrům (délkám) nastavena apriorní střední chyba směru (délky).

- Jednotková střední chyba – polohový výpočet

Apriorní jednotková chyba  $m_0$ , která bude použita při vyrovnání. Nejsou-li měřeny délky, zadá se jednotková střední chyba směru, jsou-li měřeny délky, zadává se jednotková střední chyba délky. Po vyrovnání je testován poměr této apriorní jednotkové střední chyby a jednotkové střední chyby aposteriorní, určené na základě vyrovnání. Tento poměr by se měl blížit hodnotě 1.

- Jednotková střední chyba – výškový výpočet

Jedná se o apriorní jednotkovou chybu  $m_0$ , která bude použita při vyrovnání. Po vyrovnání je testován poměr této apriorní jednotkové střední chyby a jednotkové střední chyby aposteriorní, určené na základě vyrovnání. Tento poměr by se měl co nejvíce blížit hodnotě 1.

- Střední chyba směru

Odhad střední chyby měřeného směru [ $^{\circ}$ ].

- Střední chyba délky

Odhad střední chyby měřené délky. Střední chyba se zadává ve tvaru  $A + B$  ppm, kde  $A$  je součtová část a  $B$  násobná část střední chyby, obdobně jako je charakterizována přesnost elektronických dálkoměrů. Např. při nastavení 3+2ppm bude pro délku 2000 m nabídnuta střední chyba  $3\text{mm} + 2 \cdot 2\text{mm} = 7\text{mm}$ .

- Alfa, Beta

Parametry Alfa a Beta (v procentech) pro testování statistických hypotéz o dodržení přesnosti měření.

#### **5.1.6.5 Porovnání etap**

Program umožňuje porovnat jednotlivé etapy sítě. Porovnání lze použít v případě sítí, které byly zaměřeny různými způsoby v časově vzdálených etapách, nebo se pouze překrývají. Do porovnání jsou potom zahrnuty pouze body, které jsou obsaženy v obou sítích. Porovnání etap v programu Groma nemá vliv na výsledky vyrovnání ani nepoužívá měřená data, využívají se pouze vyrovnané souřadnice.

Po porovnání etap jsou v protokolu sestaveny do tabulky složky, velikosti a směrníky posunů mezi jednotlivými etapami. Způsob výpočtu vektoru polohových změn bodů na základě opakovaných měření je v [11]. V podstatě jde o stejný postup jako při porovnání seznamů souřadnic. Ukázka viz příloha č. 4.

Porovnání etap v programu Groma nelze zaměnit s tzv. vyrovnáním v blocích, které umí vyrovnávat společně více sítí s několika společnými body.

Podrobné informace o práci v programu Groma a o jednotlivých výpočetních úlohách uvádí Sehnal (2005) v [3].

## 5.2 Prostředí programu GNU GaMa

Vstupní data pro vyrovnání je nutné mít ve formátu XML vstupní dávky pro program GNU GaMa. Protože někteří uživatelé XML dávku nemají "rádi" bylo vytvořeno volně dostupné grafické rozhraní Rocinante, které je volně šiřitelné v rámci GNU licence. Kdysi bylo též napsané www rozhraní, avšak není již funkční. Plně profesionální grafické rozhraní pro platformu Windows poskytuje komerční doplňkový modul KNET programu Kokeš firmy Gepro spol. s r.o..

### 5.2.1 Rocinante

V rámci diplomové práce J. Pytle (ČVUT, 2001) [8] bylo pro projekt GNU GaMa vytvořeno grafické uživatelské rozhraní Rocinante, které je založeno na grafické knihovně Qt. Kompletní popis tohoto programu je možné najít na domovské stránce projektu Rocinante [9], kde lze také nalézt dokumentaci, zdrojové kódy, atd. Program Rocinante umožňuje uživatelům intuitivní práci se sítí. Uživatel může síť vytvářet, modifikovat a poté vyrovnávat.

Rocinante poskytuje všechny základní funkce pro vyrovnání sítí:

- síť – vytváření, načítání, ukládání
- seznam bodů – přidávání, editace, mazání
- seznam měření – přidávání, editace, mazání
- parametry sítě – nastavování statistických testů, souřadného systému, ...
- řešení sítě – protokol řešení sítě, ukládání tohoto řešení

Program Rocinante je navržen pro práci s více sítěmi současně, ale je i možnost práce pouze s jednou sítí. Při vytváření nové sítě si uživatel vybírá ze třech typů, kterými jsou 3D síť, 2D síť a 1D síť (nivelace). Při načtení naměřených dat je třeba mít měřičský zápisník ve formátu \*.gkf, \*.roc.

Síť se v programu nachází ve čtyřech základních módech:

- mód bodů – seznam bodů, se kterými lze pracovat
- mód měření – seznam měření, se kterými lze pracovat
- mód bodů a měření – současné zobrazení seznamů s body a měřením oddělenými lištou, pro případ současné práce s oběma seznamy
- mód parametrů sítě – pro nastavení sítě (statistické testy, orientace os a úhlů, implicitní střední chyby, atd.)

#### 5.2.1.1 Seznamy

Prostředí Rocinante nabízí dva typy seznamů – seznam měření a seznam bodů.

Body obsahují informace o svém čísle, hodnoty souřadnic, typy souřadnic z hlediska vyrovnání (pevné/ volné/ opěrné), nastavení souřadnic zda vstupují či nevstupují do vyrovnání (aktivní/ pasivní). Veškeré práce s body probíhají v módu bodů.

Seznam v módu měření má dvě úrovně. V první úrovni seznam obsahuje pouze clustery, v druhé jsou měření (viz Obr. 5). Cluster je objekt obsahující kovarianční matici a množinu pozorování. V seznamu měření je možné vkládat, editovat, mazat clustery a měření, a editovat kovarianční matici za těchto podmínek:

- měření se může vyskytovat pouze v clustru
- existují čtyři typy clusterů: StandPoint, Coordinates, HeightDifferences a Vectors
- informaci o kovarianční matici nese vždy cluster
- jeden StandPoint odpovídá nejvýše jedné skupině

Vysvětlení pojmů:

- *StandPoint* může obsahovat “klasické” pozorování (délky, směry, úhly, výškové rozdíly, zenitové úhly).
- *Coordinates* obsahuje pouze měřené souřadnice
- *HeightDifferences* obsahuje měřené výškové rozdíly
- *Vectors* obsahuje měřené souřadnicové rozdíly (vektory)

Jak bylo výše řečeno, program Rocinante podporuje vizuální editaci kovarianční matice (viz Obr. 6). Kovarianční matice je symetrická, proto stačí uživateli vyplnit jen horní nebo dolní část matice a zbytek doplní program

StandPoint	424				
424	1	Direction	0.0000	10.0	
424	422	Direction	134.2955	10.0	
StandPoint	1				
StandPoint	2				
2	1	Direction	0.0000	10.0	
2	407	Direction	22.2376	10.0	
2	407	Distance	388.562	5.0	
2	409	Direction	73.8984	10.0	
2	409	Distance	257.498	5.0	
2	411	Direction	134.2090	10.0	
2	411	Distance	360.282	5.0	

Obr. 5: Ukázka módu měření v prostředí Rocinante [8]



Edit covariance matrix						
Change	Cancel	Band width: 1				
	Direction 422--2	Direction 422--420	Direction 422--424	Direction 422--1	Direction 422--407	Distance 422--424
Direction 422--2	100.0	24				
Direction 422--420	24	100.0	5			
Direction 422--424		5	100.0	-58		
Direction 422--1			-58	100.0	10	
Direction 422--407				10	100.0	0.0
Distance 422--424					0.0	25.0

Obr. 6: Dialog pro editaci kovarianční matice v prostředí Rocinante [8]

### 5.2.1.2 Parametry sítě

Vytváření, editace a mazání popisu sítě probíhá v módu parametry sítě. Zde je možnost nastavit tyto parametry:


- statistické parametry
- orientace souřadnicových os a typů úhlů
- implicitní střední chyby

### 5.2.1.3 Vyrovnání sítě

Před vlastním vyrovnáním sítě si je možné nastavit numerický algoritmus pro řešení rovnic oprav (SVD nebo GSO), jazyk výstupního protokolu, vytvoření kopie vyrovnané sítě již s vypočtenými přibližnými souřadnicemi bodů.

### 5.2.1.4 Náповěda

V uživatelském prostředí Rocinante je k dispozici nápověda, kterou je možné vyvolat třemi způsoby:

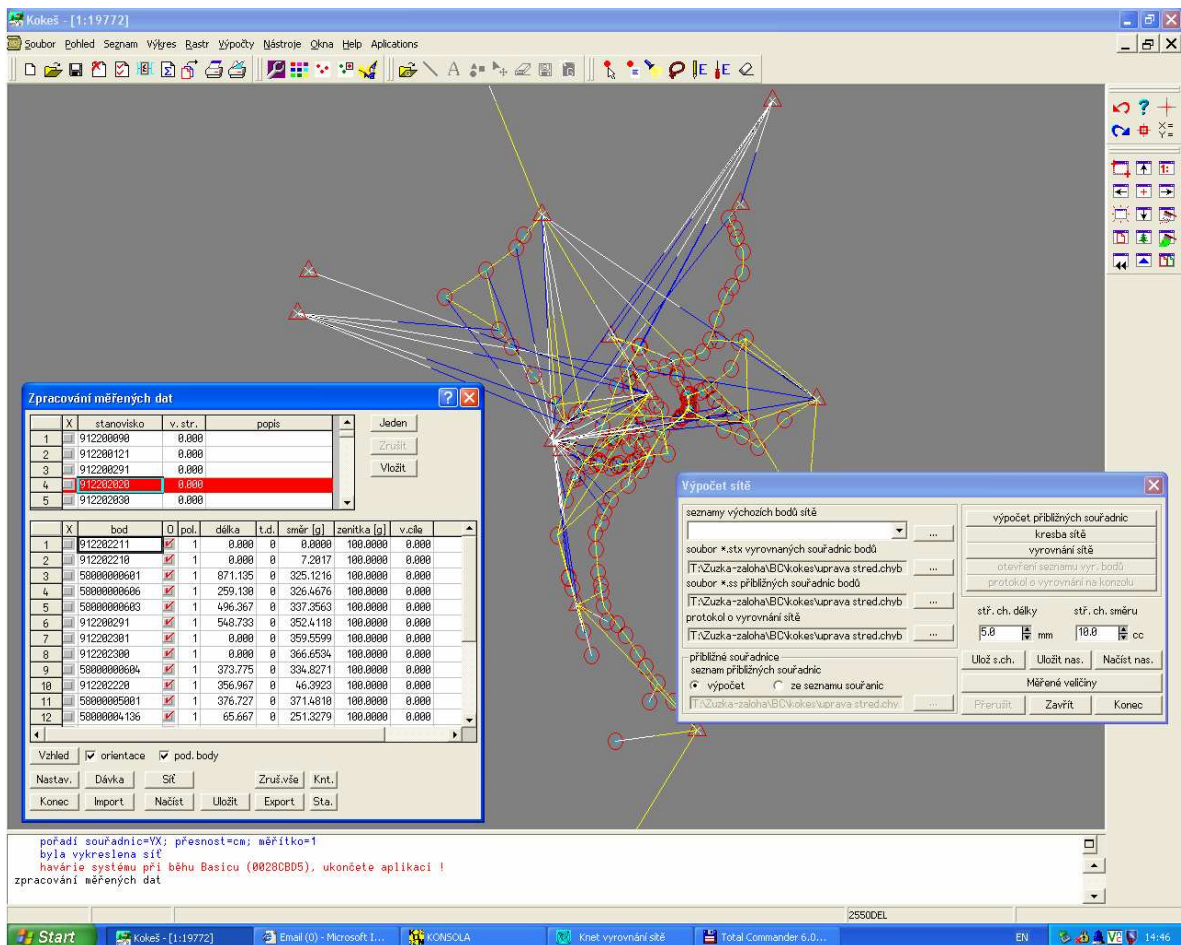
- Zvolením příkazu *Help* z hlavního menu.
- Stisknutím klávesy <Shift + F1>.
- Stisknutím ikony  v hlavním panelu.

Zvolením jakéhokoli způsobu se vždy zobrazí šipka s otazníkem. Kliknutím pravého tlačítka myši na ikonu z hlavního panelu lze získat stručnou informaci o dané ikoně. Další nápověda již není poskytnuta. Nápověda v Rocinante je bohužel nedostačující k získání všech potřebných informací. Veškerý návod lze nalézt pouze v [8]. Prostředí je však vytvořené srozumitelně, a práce v něm je pro většinu uživatelů intuitivní.

## 5.2.2 Knet

Knet je doplňkový modul k systému Kokeš společnosti Gepro s r.o.. Kokeš je systém použitelný pro všechny běžné geodetické práce i pro tvorbu a údržbu mapových děl. Program Kokeš je vybaven vlastním programovacím jazykem, což umožňuje doplnění jeho široké nabídky funkcí podle vlastních potřeb. Všechny operace a výpočty jsou protokolovány.

Knet je určený pro výpočet a vyrovnání rovinné geodetické sítě včetně výpočtu přibližných souřadnic a výpočtu charakteristik přesnosti. Podle domovské stránky společnosti Gepro [16] byl tento modul vytvořen s použitím knihovny GaMaLib, která je napsána v jazyce C++ a je volně šiřitelná v rámci GNU knihovní licence.



Obr. 7: Vzhled obrazovky programu Kokeš

### 5.2.2.1 *Seznamy*

Po spuštění funkce “Zpracování měřených dat” systému Kokeš se objeví dialogové okno se dvěma editačními tabulkami, jedna pro stanoviška a druhá pro měření.

V tabulce stanovisek, která je v horní části dialogu, se zobrazují údaje o stanoviscích. Těmito údaji jsou číslo bodu, výška stroje, popis bodu.

Pro zobrazení měřených údajů slouží tabulka měření, která je umístěna v dialogu pod tabulkou stanovisek. V té se zobrazí vždy měření vztahující se k právě aktivnímu stanovišku v tabulce stanovisek. V tabulce měřených hodnot lze ke každému bodu zobrazit číslo bodu, polohu dalekohledu, v níž bylo měřeno, délku, typ měřené délky, vodorovný směr, výškový úhel nebo zenitovou vzdálenost, převýšení, výšku cíle, popisný text k bodu, případně kód pro generování výkresu.

V tabulce měření i v tabulce stanovisek je možné označit vybrané řádky a ty pak najednou zrušit. Pokud se označené řádky v tabulkách ponechají, zůstanou údaje v nich obsažené v paměti, ale nezahrnují se do výpočtu.

### 5.2.2.2 *Parametry sítě.*

V modulu Knet je možnost nastavení apriorních středních chyb měřené délky (mm/km) a směru (cc), případně měnit tyto hodnoty pro jednotlivé měřené veličiny.

### 5.2.2.3 *Vyrovnání sítě*

Po spuštění funkce “Sít” v modulu Knet se projdou načtená měřená data, vyberou se z nich stanoviška, orientace a body sítě a sestaví se síť. Dále se objeví dialog, v jehož levé části se zadávají vstupní a výstupní soubory.

Při vyrovnání sítě se nejprve určí souřadnice určovaných bodů sítě. Vypočtené body se vloží do seznamu souřadnic uvedeného v položce soubor \*.ss přibližných souřadnic bodů. Vypočtené přibližné souřadnice se použijí pro redukce měřených veličin, které se provádějí podle aktuálního nastavení, a pro kresbu sítě. Nepoužijí se však jako vstupní přibližné souřadnice pro vyrovnání.

Podle nastavení se provede redukce měřených veličin a spustí se vyrovnání sítě. Pokud není nastaveno, že se mají přibližné souřadnice převzít ze seznamu souřadnic, provede se před spuštěním vyrovnání sítě přibližný výpočet souřadnic.

#### 5.2.2.4 *Nápověda*

V programu Kokeš je k dispozici nápověda, kterou je možné vyvolat těmito způsoby:

- Zvolením příkazu *Help* z hlavního menu a vybrání daného tématu z rejstříku nápovědy.
- Stisknutím klávesy <F1> pro získání kontextové nápovědy.
- Stisknutím tlačítka Help, kterým je většina dialogů vybavena a slouží k vyvolání nápovědy buď pro celý povel nebo jen pro daný dialog.
- Pomocí malého tlačítka s otazníkem v dialogu, který umožňuje získat malou nápovědu jen k jednomu prvku dialogu.

## 6 Příprava vstupních dat

Jak již bylo uvedeno, pro nalezení nejlepšího odhadu měřené veličiny, zvýšení přesnosti konečného výsledku měření a k vyloučení hrubých chyb se měření opakuje. Základní metoda při určování bodů polohového pole je měření vodorovných směrů ve skupinách a měření délek. Měří se v obou polohách dalekohledu, čímž dochází k vyloučení několika přístrojových chyb. Jedna skupina jsou dvě měřické řady. První řada se měří v první poloze dalekohledu. Cílí se od počátečního směru postupně do všech dalších směrů a končí se opětovným zacílením do počátečního směru. Uzávěr nesmí být obvykle větší než 2 až 3 násobek základní střední chyby určení směru použitou metodou. Dalekohled se proloží do druhé polohy a v druhé řadě se cílí na jednotlivé směry v opačném pořadí. Počet nutných skupin se řídí předpisy. Výsledky se ukládají do paměti teodolitu nebo se zapisují do zápisníku.

### 6.1 Klasické zpracování zápisníku

Po zaměření 1. skupiny vodorovných směrů se počítají průměry z první a druhé polohy. Tyto průměry se redukuje o hodnotu průměru na první počátek. Podobným způsobem se zaměří další skupiny. Po zaměření poslední skupiny se počítají aritmetické průměry ze skupin. Pomocí výsledných průměrů směrů se vypočítají opravy jednotlivých skupin, ze kterých se určí střední jednotková chyba směru. Poté se provede testování odlehlých měření, v případě překročení maximální opravy se celá skupina vypustí.

Při měření svislých úhlů ve dvou polohách se výsledný úhel spočítá průměrem, s ohledem na druhou polohu, ve které je úhel zvětšen o 200grad. Výsledný úhel se na závěr opravuje o indexovou chybu.

Měřené délky jsou většinou šikmé a je třeba je převést na vodorovné a provést korekci z nadmořské výšky a ze zobrazení. Ze všech opakujících se a obousměrně měřených délek se určí průměrná hodnota.

## 6.2 Zpracování zápisníku v programu Groma

Program Groma umožňuje kompletní zpracování zápisníku měřených hodnot, včetně zpracování měření v obou polohách dalekohledu, obousměrně měřených délek, apod. Veškeré informace o práci v tomto programu, lze nalézt v příručce [3]. Před vlastním zpracováním zápisníku se musí nejprve definovat teodolit, přičemž se nastaví tolerance pro rozdíl měření v I. a II. poloze dalekohledu, rozdíl dvakrát měřené délky, apod. Podle nastavených tolerancí jsou potom jednotlivá měření různě zpracována a v protokolu označována jako podezřelá resp. chybná. Po zpracování zápisníku, může námi opravený seznam měření dále vstoupit do výpočtu.

Při definování teodolitu, se musí

- zadat odhad střední chyby měřeného směru v jedné poloze dalekohledu a odhad střední chyby měřené délky (přístrojové chyby).
- nastavit skutečnou kolimační chybu teodolitu a tolerance pro její testování. Jestliže program při zpracování zápisníku narazí na měření v obou polohách, určí z nich velikost kolimační chyby a porovná ji s nastavenou hodnotou. Program porovnává s tolerancemi rozdíl nastavené a vypočtené kolimační chyby, nikoli celou vypočtenou chybu. Skutečná kolimační chyba tedy může mít libovolnou hodnotu, a není třeba nastavovat tolerance s ohledem na její velikost. Nastavená hodnota kolimační chyby není používána pro opravu měření, ale pouze pro testování tolerancí. Při výpočtu zápisníku je skutečná kolimační chyba odstraněna použitím měření v I. i II. poloze dalekohledu.
- nastavit skutečnou indexovou chybu teodolitu a tolerance pro její testování. Testování indexové chyby probíhá stejným způsobem jako testování kolimační chyby teodolitu. Nastavená hodnota indexové chyby je použita pouze při hromadné opravě indexové chyby. Při výpočtu vyrovnaných měření z měření v I. a II. poloze je použita jen pro testování tolerancí, při výpočtu vyrovnaného měření je skutečná indexová chyba odstraněna použitím měření v I. i II. poloze dalekohledu.

Podle literatury [3] se program při výpočtu zápisníku řídí těmito pravidly:

- Je-li testovaná hodnota (rozdíl obousměrně měřených délek, rozdíl směrů měřených v I. a II. poloze) menší, než hodnota nastavená u zvoleného teodolitu jako *Podezřelá*, program daný výpočet provede.
- Leží-li testovaná hodnota v intervalu daném hodnotou nastavenou jako *Podezřelá* a hodnotou nastavenou jako *Chybná*, program daný výpočet provede, ale v protokolu jej označí znakem "?" jako podezřelý.
- Překročí-li testovaná hodnota hodnotou nastavenou jako *Chybná*, program daný výpočet neprovede, v zápisníku ponechá původní měření a údaje o neprovedeném výpočtu uloží do protokolu označené znakem "x" jako chybné.

Informace o všech změnách v seznamu měření jsou uloženy do protokolu. V některých případech může být vhodné zapsat změny pouze do protokolu a seznam měření ponechat v původním stavu. V takovém případě lze zvolit volbu *Pouze do protokolu*, a program ponechá seznam beze změny. Dále se dá zvolit, zda opravit celý soubor měření, nebo pouze označené položky.

Zpracování zápisníku probíhá pomocí váženého průměru, který je dán počtem opakování naměřené veličiny. Váhu jakékoli měřené veličiny si je možné ručně upravit. S danou či upravenou váhou se vstupuje do dalších výpočtů. Zpracování zápisníku se provádí v několika krocích, které lze postupně či jednorázově realizovat jednotlivými volbami. Bližší stručná charakteristika jednotlivých kroků je v následujících bodech:

- Zpracování měření v obou polohách

Při tomto zpracování program na každém stanovisku vyhledá dvojici směrů na jeden bod měřených v obou polohách dalekohledu. Vypočte kolimační chybu (rozdíl měření v obou polohách dělený dvěma), odečte od takto určené chyby kolimační chybu nastavenou v definici teodolitu a výsledný rozdíl porovná s tolerancemi nastavenými v definici teodolitu. Stejným způsobem zpracuje i zenitové úhly pomocí indexové chyby a délky. Jestliže všechny zjištěné rozdíly vyhoví tolerancím nastaveným v definici teodolitu, opraví program měření v I. poloze tak, aby obsahovalo průměrné hodnoty z obou měření. Po zpracování seznamu měření je do protokolu uložen i odhad skutečných velikostí přístrojových chyb.

- Redukce směrů

Při redukci směrů program upraví všechny směry na stanovisku tak, aby byl směr na první orientaci (první položka v seznamu měření) nulový, tj. od všech směrů odečte směr měřený na první orientaci.

- Oprava indexové chyby

Jestliže měřičský stroj neopravuje automaticky indexovou chybu, a pokud je známa její velikost, může se nastavit v definici teodolitu oprava indexové chyby. Podle nastavení opraví měřené zenitové úhly. Při měření v obou polohách teodolitu, není nutné tuhle volbu použít.

- Oprava refrakce

Oprava refrakce umožňuje opravit měřené zenitové úhly nebo převýšení o vliv refrakce a zakřivení povrchu Země. Před vlastním výpočtem si může uživatel zvolit velikost refrakčního koeficientu, a které opravy chce zavést.

- Výpočet převýšení

Po zaškrtnutí této volby program u všech měření, která obsahují délku a zenitový úhel, vypočte převýšení a uloží jej do seznamu měření. Tento výpočet je třeba provést před redukcí převýšení na spojnici stabilizačních značek.

- Redukce převýšení na spojnici stabilizačních značek

U měření, u nichž je definováno převýšení (nebo zenitový úhel), výška stroje a výška cíle program vypočte převýšení přímo mezi body, tj. převýšení opravené o výšku stroje a cíle. Výšku stroje a cíle potom nastaví na nulovou hodnotu, aby nemohlo dojít k následným chybám ve výškovém výpočtu. Redukci je nutné provést před načtením dat do výškového vyrovnání.

- Zpracování opakovaných měření

Nejprve program vyhledává na každém stanovišti skupiny měření na stejný cíl ve stejné poloze dalekohledu. Z nalezených měření vypočte výsledné průměrné. Pokud opravy jednotlivých měření vyhoví nastaveným tolerancím, příslušná měření ze seznamu vypustí a opraví první měření tak, aby obsahovalo průměrné hodnoty.

- Zpracování obousměrně měřených délek a převýšení

Program postupně vyhledává v celém seznamu měření pro každou měřenou délku příslušnou délku měřenou protisměrně. Nalezne-li ji, vypočte průměrnou hodnotu, a pokud její opravy nepřekročí nastavené tolerance, uloží ji k oběma měření. Obdobně postupuje i u převýšení.



### 6.3 Zpracování zápisníku v programu GNU GaMa

Program GNU GaMa je pouze výpočetním softwarem, do kterého mohou vstoupit data jak zpracovaná, tak nezpracovaná. Zpracování dat ovšem samotný program neposkytuje, není to ani jeho cílem. Bude-li chtít uživatel zpracovat zápisník, je nucen vše udělat ručně či pomocí jiného softwaru. Jediný způsob jak vyhledat hrubé chyby v měření a pozorování, která do výpočtu znovu nevpustit, je pomocí protokolu výpočtu, ze kterého lze vyčíst střední chyby, opravy měřených hodnot a odlehlá pozorování.

Prostředí pro práci s měřenými daty v komerčním systému Kokeš poskytuje funkce “Zpracování měřených dat”, která umožňuje prohlížet, editovat, kontrolovat a číst ze souboru, nastavit jednotlivé korekce měření a limity měřených veličin.

Vstupní data pro vyrovnání v GNU GaMa je nutné mít ve formátu XML vstupní dávky. XML dokument je klasický textový soubor. Je tedy zcela nezávislý na platformě, kterou uživatel používá a dokument tedy může být upravován v libovolném textovém editoru. Podrobnější informace o struktuře XML vstupní dávky lze nalézt v dokumentaci [6].

## 7 Praktické porovnání

Ve své práci jsem měla možnost si vyzkoušet vyrovnání sítě v jednotlivých programech, porovnat tak uživatelské prostředí a především zjistit jaké jsou rozdíly ve výsledcích vyrovnané sítě a tím porovnat teoretické základy obou programů. K testování jsem použila plošnou síť v okolí Hradu Nečtiny, a pro lepší názornost jsem vytvořila modelovou síť. Obsahem dalšího textu jsou dosažené výsledky, ke kterým jsem během své práce došla.

### 7.1 Vyrovnání sítě v okolí lokality Hrad Nečtiny

Pro porovnání vyrovnaných hodnot (souřadnic) vázané sítě z programů GNU GaMa a Groma byla vybrána geodetická síť v okolí lokality Hrad Nečtiny, která byla během let 2000, 2001, 2002, 2003 a 2005 zaměřena a postupně doplňována body PBPP v rámci terénní výuky předmětu KMA/GEN3. Součástí mého Projektu č. 5 [15] byla síť Nečtiny vyrovnána v programu Groma. Jelikož nelze vstoupit do výpočtu v programu Groma se zápisníkem, ve kterém jsou geometrické veličiny změřeny opakovaně, bylo nutné nejprve všechny měřičské zápisníky zpracovat (zpracování měření v obou polohách dalekohledu, obousměrně měřených délek, apod.). Zpracování probíhalo váženým průměrem, v závislosti na počtu opakování. Postupným zpracováním všech získaných zápisníků, vznikl jeden celkový, který byl následně použit pro testování programů GNU GaMa a Groma. V celkovém zápisníku se proto všechny naměřené směry a délky, které byly během pěti let naměřeny, vyskytují pouze jednou.

Do výpočtu v programu Groma a GNU GaMa se vcházelo se stejnými parametry: střední chyba délek (3mm+3ppm), střední chyba směrů (22<sup>cc</sup>) a apriorní jednotkovou střední chybou (6mm). Jelikož byla všechna měření předem zpracovaná v programu Groma, výpočet v GNU GaMa probíhal, jako kdyby všechna data byla naměřena pouze jednou. Nevcházelo se tak do výpočtu v obou programech s totožnými váhami naměřených hodnot.

Během vyrovnání sítě v programu Groma, bylo nutné vypustit 7 bodů, 16 směrů a 4 délky z hlediska špatně podmíněné matice. Výsledné hodnoty byly poté určeny s průměrnou střední souřadnicovou chybou 10,96mm. Při zachování všech bodů, směrů a délek proběhl výpočet s chybovou hláškou o nepodmíněnosti matice, výsledná střední souřadnicová chyba poté byla 45,82mm (viz příloha č. 1).

Použitím stabilního algoritmu SVD v programu GNU GaMa nebylo třeba při výpočtu vypustit žádný bod, směr či délku. Výsledné hodnoty byly určeny s průměrnou polohovou chybou 37,6mm. Po vypuštění stejných dat jako v programu Groma, vypočetla GNU GaMa hodnoty téměř stejně, s průměrnou polohovou chybou 12,7mm (viz příloha č. 1).

	Neupravená verze		Upravená verze	
	GNU GaMa_vše	Groma_vše (špatně podm.)	GNU GaMa_výběr	Groma_výběr (podmíněno)
Počet určených bodu	143		136	
$m_{xy}$	26.59mm	45.82mm	8.98mm	10.96mm
Posun těžiště-dp	3mm		4mm	

Tab. 1: Přehled dosažených výsledků při vyrovnání vázané sítě Hrad Nečtiny

Matematické modely programů GNU GaMa a Groma jsou rozdílné teoreticky, nakonec však vedou při shodném vstupu k získání stejných výsledků. Klíčový rozdíl v počítání je ten, že do programu GNU GaMa mohou vstoupit všechny naměřené hodnoty, které se nemusí zpracovávat a tím se ukládá každému měření stejná váha. Kdežto pro vyrovnání sítě v programu Groma je třeba zpracovat zápisník. Již při jeho zpracování se nastavuje jednotlivým měření různá váha, v závislosti na počtu opakování. Když s takto zpracovaným seznamem vstoupíme do výpočtu v programu GNU GaMa, je pro každé měření nastavena stejná váha, jako by vše bylo naměřeno pouze jednou. Potom každý program počítá s jinou váhovou maticí a tím tak získáme rozdílné výsledky. Tento nedostatek by šel obejít tak, že bychom nastavili v programu GNU GaMa stejnou váhovou matici jako je použita ve výpočtu programu Groma. Zde se ale nachází další problém, neboť oba programy si sestavují váhovou matici různým způsobem. Proto není vhodné vzájemně kombinovat zápisníky z jednoho programu do druhého.

Z tohoto důvodu se v našem případě souřadnice lišily průměrně o 2mm. Maximální střední odchylka v poloze byla v upravené verzi 19mm a v neupravené 14mm. Porovnání vypočtených souřadnic z obou programů bylo provedeno v programu Groma (viz příloha č. 2).

Zde se nabízí otázka, jaké výsledné souřadnice určit za správné? Na tohle ovšem nemůže dát odpověď program. Musíme si uvědomit, jak byla naměřená data, zda jsou určitě správná a jestli je algoritmus stabilní. Pokud o datech (nebo o algoritmu) důvodně pochybujeme, je lepší provést výpočet z dobře podmíněné soustavy rovnic (např. vypuštěním odlehlých pozorování). Jestliže jsou data určitě správná a algoritmus stabilní, použijeme výpočet i ze špatně podmíněné soustavy rovnic.

## 7.2 Vyrovnání modelové sítě

Pro lepší názornost porovnání výsledků vyrovnané sítě z obou programů byla sestavena modelová síť, kterou tvoří 3 body (2 pevné s č. b.: 1, 2 a jeden volný č. 3, který je třeba určit). Naměřeno bylo 5 hodnot (3 délky a 2 směry) ze dvou stanovisek. Souřadnice volného stanoviště byly předem známy, a úkolem bylo porovnat vyrovnané hodnoty z programů Groma a GNU GaMa s tímto pro nás známým bodem.

Nejprve bylo provedeno vyrovnání sítě z naměřených hodnot, které byly matematicky vypočteny a byly proto považovány za zcela bezchybné hodnoty. Výsledek byl nepochybně v obou programech totožný a správný. Poté bylo provedeno vyrovnání sítě z naměřených hodnot, které byly od přesných hodnot úmyslně odchýleny. Do vyrovnání se vstupovalo vždy se stejnými parametry: střední chyba délek (6mm), střední chyba směrů (22<sup>cc</sup>). Všechny naměřené hodnoty měly stejnou váhu.

bod	m <sub>xy</sub> [mm]		[Y, X]	
	GNU GaMa	Groma	GNU GaMa	Groma
1 [300; 400] – pevný	-	-	-	-
2 [100; 400] – pevný	-	-	-	-
3 [?;?] – volný – z bezchybně naměřených hodnot	0	0	[400;100]	[400;100]
3 [?;?] – volný – z naměřených hodnot	6,3	6,3	[400.0159; 100.0027]	[400.0159; 100.0027]

Tab. 2: Přehled dosažených výsledků z vyrovnání modelové sítě

Matematické modely programů Groma a GNU GaMa jsou postaveny na různých teoretických základech, přesto v obou případech vedou ke stejným výsledkům. Pro úplně přesné výsledky v obou programech je třeba mít shodná vstupní data a především shodné váhové matice, což v prvním případě testované sítě zaručeno nebylo.

Protokoly z vyrovnání a kontrolní kresba modelové sítě jsou v příloze č. 3.

## 8 Zhodnocení programů

Úkolem této práce bylo porovnání dvou daných programů. Nelze říct, že jeden z nich je ten nejlepší. Každý program něčím vyniká, a už je pouze na uživateli, aby si vybral, jaké přednosti jsou pro něj důležitější. V následujícím textu jsou sepsány, veškeré poznatky o programu Groma a GNU GaMa, jak kladné tak i záporné, ke kterým jsem během své práce došla.

### 8.1 Hlavní rysy programu GNU GaMa

Projekt GNU Gama je věnován vyrovnávání geodetických sítí. Je to je malá C++ knihovna tříd a funkcí pro práci s maticemi a vektory *matvec* (viz [7]) s jednoduchým programem GaMa-local. Tento program vyrovnává danou množinu měření metodou MNČ a tiskne výsledky vyrovnání jako posloupnost formátovaných tabulek. V současnosti podporuje pouze vyrovnání v lokální kartézské soustavě. Součástí nové vývojové větve je podle domovských stránek [5] vyrovnání v geocentrickém souřadném systému.

GNU GaMa poskytuje kromě vyrovnání polohové či výškové sítě také i vyrovnání přímo měřených souřadnic nebo naměřených vektorů (souřadnicových rozdílů). Program je navržen pro práci s více sítěmi najednou.

Jak bylo v úvodu naznačeno, GNU GaMa je GNU projekt a je proto volně šiřitelný, včetně zdrojových kódů, pod licencí GNU General Public Licence. Velkou výhodou je, že na úpravách spojených s tímto programem se může účastnit kdokoli, neboť vývoj programu je založený na sdílení informací v rámci komunity uživatelů a vývojářů. Z tohoto důvodu projekt GNU GaMa je neustále vyvíjen, zlepšován a doplňován.

Jelikož GNU GaMa je GNU projekt, nezprostředkovává komunikaci s programy, které jsou často používané v jiných geodetických firmách.

Veškerá vstupní data je nutné mít v XML vstupní dávice, proto je nutné získané měřičské zápisníky do tohoto formátu vždy přepsat. Veškerá data lze vyrovnat bez nutnosti zpracování naměřených dat, proto celý výpočet probíhá velmi rychle. Odlehlá pozorování lze odhalit pouze z protokolu výpočtu.

Vyrovnání sítě řeší projekt GNU GaMa přímým řešením homogenizované soustavy rovnic oprav, bez nutnosti sestavování normálních rovnic. Jako základní numerické metody pro řešení soustavy rovnic oprav využívá algoritmy SVD nebo Gramm-Schmidtovy ortogonalizace. Tyto metody jsou díky užití ortogonálních matic velmi stabilní.

Pro projekt GNU GaMa bylo vytvořeno uživatelské prostředí Rocinante, které je pro uživatele velmi intuitivní a umožňuje jednoduchý přenos na jiné platformy. Výsledný výpočetní protokol kompletně přebírá od GNU GaMa. Někteří uživatelé by mohli vytknout nápoředu, která neposkytuje potřebné informace pro práci se sítí, a chybějící grafické zobrazení sítě.

## 8.2 Hlavní rysy programu Groma

Geodetický software Groma je plně komerční software, pracující v prostředí Microsoft Windows. Program umožňuje řešit veškeré základní geodetické úlohy, lze jej doplňovat samostatnými rozšiřujícími moduly, které jsou plně integrovány do prostředí systému Groma.

Silnou stránkou programu Groma je kompletní zpracování zápisníku měřených hodnot (zpracování měření v obou polohách, opakovaných měření, obousměrně měřených délek, redukci směrů). Při zpracování se tvoří protokol, ve kterém jsou veškeré informace o překročení nastavených hodnot.

Program Groma umožňuje přímou komunikaci se systémem MicroStation a PowerDraft. Kromě svého vnitřního formátu umí program číst souřadnice z textového souboru, z formátu GEUS a u některých typů záznamníků přímo ze souboru s naměřenými hodnotami.

Modul na vyrovnání sítí je určen pro polohové i výškové vyrovnávání geodetických sítí metodou nejmenších čtverců. Modul neumí pracovat samostatně, je třeba vstupů vytvořených v programu Groma. Ve vstupních datech pro vyrovnání sítě se žádná geometrická veličina nemůže vyskytovat vícekrát za současného předpokladu, že veškeré geometrické veličiny jsou převedeny na spojnicí středů stabilizačních značek. Měření vstupující do vyrovnání proto musí být zpracovaná a tím tak získá každá zpracovaná hodnota různou váhu v závislosti na počtu opakování měření.

Pro výpočet je použit algoritmus vyrovnání zprostředkujících měření. Rovnice oprav jsou v programu Groma řešeny nepřímo sestavením normálních rovnic, ze kterých jsou získány hledané koeficienty pomocí inverzní metody. Inverzní metoda je považována za nestabilní. Proto síť, která je ve špatné konfiguraci v důsledku špatně podmíněné matice soustavy, je nespočitatelná.

Uživateli programu Groma je nabídnuta nápověda, která je téměř vyčerpávající, umožní uživateli vysvětlit i proces jednotlivých výpočtů. Software umožňuje mimo jiné jednoduché grafické zobrazení sítě.

### 8.3 Vlastní zhodnocení

Jelikož programy GNU GaMa a Groma mají své silné i slabé stránky, byla pro lepší názornost sestavena tabulka Tab. 3, která podává základní rozdíly mezi programy. Pomocí uvedené tabulky si lze udělat vlastní názor o daných programech.

	GNU GaMa	Groma
typ softwaru	freeware	komerční software
komunikace s programy	-	MicroStation, PowerDraft, Kokeš, Geus, AutoCAD
možnost čtení vstupních dat ze souboru	gkf, roc	txt, cvs, crd, mes, dbf, dat, stx, raw, din, zap
vstupní data	XML vstupní dávka nezpracovaných dat	zpracovaná data programem Groma
použitý algoritmus pro výpočet rovnic oprav	SVD, Gramm-Schmidtova ortogonalizace (stabilní algoritmy)	Inverzní metoda (nestabilní algoritmus)
platforma	LINUX, MS Windows	MS Windows
nápověda	nedostačující	vyčerpávající
grafické zobrazení sítě	není	je
navíc	vyrovnání přímo měřených souřadnic či naměřených vektorů	zpracování zápisníku, porovnání souřadnic

Tab. 3: Porovnání programů GNU GaMa a Groma

Matematické modely programů GNU GaMa a Groma jsou rozdílné teoreticky, nakonec však vedou při shodném vstupu k získání stejných výsledků. Klíčový rozdíl v počítání je ten, že do programu GNU GaMa mohou vstoupit všechny naměřené hodnoty, které se nemusí zpracovávat a tím se ukládá každému měření stejná váha. Kdežto pro vyrovnání sítě v programu Groma je třeba zpracovat zápisník. Již při jeho zpracování se nastavuje jednotlivým měřením různá váha, v závislosti na počtu opakování. Proto není vhodné vzájemně kombinovat zápisníky z jednoho programu do druhého.

Program GNU GaMa bych upřednostňovala především pro použití algoritmu SVD při výpočtech, který je velice stabilní a také proto, že data do vyrovnání nemusí vstupovat zpracovaná. Na druhou stranu bych preferovala program Gama především pro jeho možnost zpracování dat s následnou analýzou v protokolu o překročení nastavených hodnot a také pro možnost další práce s vypočtenými souřadnicemi (grafické znázornění sítě, porovnání souřadnic).

## 9 Závěr

Domnívám se, že cíl této práce se podařilo splnit. Programy GNU GaMa a Groma byly porovnány jednak z hlediska matematického ale také uživatelského. Každý z těchto programů byl přiblížen, testován na plošné síti a zhodnocen. Do práce bylo též začleněno krátké pojednání zabývající se uživatelským prostředím programu Kokeš, neboť využívá k výpočtu sítí program GNU GaMa.

Přednosti programu GNU GaMa jsou volná dostupnost, neustálé vyvíjení programu v rámci komunity uživatelů, kromě klasického vyrovnání i možnost vyrovnání přímo měřených souřadnic či vektorů a použití velmi stabilního algoritmu SVD.

Program Groma vyniká vlastnostmi, kterými jsou možnost zpracování zápisníku, schopnost práce s vypočtenými souřadnicemi – grafické znázornění, porovnání souřadnic, komunikace s jinými programy.

Co by mohlo být vytknuto programu GNU GaMa je chybějící grafické znázornění sítě a chybějící možnost načtení dat přímo ze souboru s naměřenými daty. K nedostatkům programu Groma patří především použitá inverzní metoda pro svoji nestabilitu a nutnost zpracování dat před vlastním vyrovnáním sítě.

Nelze jednoznačně říci, jaký program je nejlepší. Každý program něčím vyniká, a už je pouze na uživateli, aby si vybral, jaké přednosti jsou pro něj důležitější.



## 10 Použitá literatura:

- [1] HAMPACHER, M.- RADOUCH, V. *Teorie chyb a vyrovnávací počet 10 a 20*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, c1997. ISBN 80-01-01704-4.
- [2] BAUMRUKOVÁ, L. *Geodézie: studijní texty* [online]. Plzeň: Bakalářská práce na fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity na katedře matematiky, c2003, [cit. 2005-11-09]. Dostupné z: <<http://home.zcu.cz/~lbaumruk/gen/>>.
- [3] SEHNAL, J. *Groma verze 8, Uživatelská a referenční příručka* [online]. c2005 [cit. 2005-11-09]. Dostupné z: <<http://www.groma.cz/cz/man/>>.
- [4] SEHNAL, J. *Domovská stránka systému Groma* [online]. c2006 [cit. 2006-04-11]. <<http://www.groma.cz/cz/>>.
- [5] ČEPEK, A. *GNU GaMa* [online]. c2006 [cit. 2006-04-11]. <<http://www.gnu.org/software/GaMa/>>.
- [6] ČEPEK, A. *Uživatelská příručka GNU GaMa 1.9.0.1e, Adjustment of geodetic network* [online]. c2006 [cit. 2006-04-11]. Dostupné z: <<http://www.gnu.org/software/GaMa/manual/pdf/GaMa.pdf>>.
- [7] ČEPEK, A. *gMatVec, Documentation version 0.15* [online]. c2006 [cit. 2006-04-11]. Dostupné z: <<http://GaMa.fsv.cvut.cz/~cepek/matvec/>>
- [8] PYTEL, J. *Objektové uživatelské grafické rozhraní pro vyrovnání geodetických sítí* [online]. Praha: Diplomová práce na fakultě stavební ČVUT, c2001 [cit. 2005-11-09]. Dostupné z: <[http://GaMa.fsv.cvut.cz/~pytel/dp/diploma\\_thesis.pdf](http://GaMa.fsv.cvut.cz/~pytel/dp/diploma_thesis.pdf)>
- [9] PYTEL, J. *Rocinante* [online]. c2006 [cit. 2006-04-11]. <<http://sourceforge.net/projects/roci/>>.
- [10] JANDOUREK, J. *Geodézie 50 (Vyrovnání účelových geodetických sítí v  $E_2$  a v  $E_3$ )*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, c2000. ISBN 80-01-02171-8.
- [11] *Matematický aparát použitý v modulu pro vyrovnání sítí MNČ systému Groma, součást instalačního balíčku Groma v.8*
- [12] Pytel, J.: *WWW rozhraní programu GaMa* [online]. c2005 [cit. 2005-10-07]. <<http://GaMa.fsv.cvut.cz/~pytel/webGaMa/webGaMa.phtml>>
- [13] GOLUB, Gene H. – VAN LOAN, Charles F. *Matrix Computations. 3rd edition*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London, c1996. ISBN 0-8018-5414-8.
- [14] ROHN, J. *Lineární algebra a optimalizace na slidech* [online]. Ústav informatiky Akademie věd České republiky, Technical Report 905. 12. 2. 2004 [cit. 2005-10-06]. Dostupné z: <<http://www.cs.cas.cz/cgi-bin/extftp?ftp://ftp.cs.cas.cz/pub/reports/v905-04.ps>>.

[15] VILETOVÁ, Z. *Vyrovnání geodetické sítě v lokalitě Hrad Nečtiny*. Plzeň: Projekt č. 5 fakulty aplikovaných věd na ZČU v Plzni, 2005.

[16] *Domovská stránka společnosti Gepro s r.o.*. c2006 [cit. 2006-04-11].  
<<http://www.gepro.cz/>>.

# 11 Příloha 1 – výťah z protokolů výpočtu vyrovnání sítě Hrad Nečtiny

## 11.1 GNU GAMA: Vyrovnání místní geodetické sítě – ZE VŠECH NAMĚŘENÝCH DAT

```

Zakladni parametry vyrovnani
*****
Souradnice      xyz      xy      z
Vyrovnane :      0      143     0
Operne * :      0      0      0
Pevne :      0      15     0
-----
Celkem :      0      158     0
Pocet delek :      356
Celkem pozorovani :      753
Pocet rovnic oprav :      753      Pocet neznamych:      410
Pocet nadbyt. pozorovani:      343      Defekt site :      0
m0 apriorni :      6.00
m0' aposteriorni:      36.68      [pvv] : 4.61534e+005
Pri statisticke analize se pracuje
- s aposteriorni jednotkovou stredni chybou 36.68
- s konfidencni pravdepodobnosti 95 %
Pomer m0' aposteriorni / m0 apriorni: 6.114
95 % interval (0.925, 1.075) neobsahuje hodnotu m0'/m0
m0'/m0 (delky): 5.039      m0'/m0 (smery): 7.533
Maximalni pokles m0''/m0 pri vyloucení jednoho pozorovani: 4.483
Maximalni studentizovana oprava 12.61 presahuje kritickou hodnotu 1.96
na hladine vyznamnosti 5 % pro pozorovani #231
<direction from="580000621" to="580000622" val="174.7878" stdev="22.0" />
***** 2. opakovane vyrovnani *****
Priblizne souradnice urcovanych bodu nahrazeny vyrovnanymi
*****
Vyrovnane souradnice
*****
i      bod      priblizna      korekce      vyrovnana      str.ch.      konf.i.
===== hodnota ===== [m] ===== hodnota ===== [mm] =====
580000503
68      x      1044303.43201      -0.04113      1044303.39088      20.9      41.1
69      y      834644.87131      -0.03674      834644.83457      29.5      58.1
580000504
74      x      1044292.26462      -0.03604      1044292.22859      25.3      49.8
75      y      834620.56497      -0.03908      834620.52589      35.3      69.5
.
.
.
Stredni chyby a parametry elips chyb
*****
bod      mp      mxy      stred. el. chyb      konfid. el. chyb      g
===== [mm] == [mm] == [mm] b      alfa[g] == a' [mm] b' =====
580000503      36.2      25.6      30.9      18.8      124.1      75.9      46.3      0.0
580000504      43.5      30.7      36.1      24.2      118.2      88.8      59.5      0.0
580000505      24.4      17.2      18.3      16.1      111.4      44.9      39.6      0.0
.
.
.
Maximalni stredni polohova chyba je 340.7 mm na bode 912202331
Prumerna polohova chyba je 37.6 mm
Vyrovnana pozorovani
*****
i      stanovisko      cil      merena      vyrovnana      str.ch.      konf.i.
===== hodnota ===== [m|g] ===== [mm|cc] =====
1      912200090      912202301      smer      0.000000      399.999358      70.7      139.2
2      912202020      smer      366.770500      366.776433      70.7      139.2
3      912202020      delka      1070.25300      1070.30635      0.0      0.0
4      912202040      smer      177.146200      177.142945      70.7      139.2
5      912202040      delka      1234.10000      1234.04389      0.0      0.0
6      580544010      smer      47.423500      47.421463      94.2      185.3
7      580544010      delka      211.88500      211.88549      15.4      30.4
8      580000623      smer      50.635300      50.635300      134.5      264.5
9      580000623      delka      139.29400      139.29400      20.9      41.1

```

```

.
.
.
.
Opravy a analyza pozorovani
*****
i      stanovisko      cil      f[%]      v      |v'|      e-mer.  e-vyr.
===== [mm|cc] ===== [mm|cc] ===
1      912200090      912202301 smer  47.4      -6.419  0.1      -8.9    -2.5
2      912202020 smer  47.4      59.335  0.5      82.0    22.7
3      912202020 delka 100.0     53.354  1.4      53.4    0.0
4      912202040 smer  47.4      -32.545 0.3      -45.0   -12.5
5      912202040 delka 100.0     -56.115 1.4      -56.1    0.0
6      580544010 smer  30.0      -20.371 0.2      -40.0   -19.6
7      580544010 delka 30.6      0.493   0.0      1.0     0.5
8      580000623 smer  0.0 n     -0.000
9      580000623 delka 0.0 n     0.000
.
.
.
.
Odlehla pozorovani
*****
i      stanovisko      cil      f[%]      v      |v'|      e-mer.  e-vyr.
===== [mm|cc] ===== [mm|cc] ===
231    580000553      580000701 smer  25.8     -1136.880 12.6 mk -2532.5-1395.6
235    580000701      580000565 smer   4.5 s   -495.855 12.4 k  -5613.4-5117.5
233    580000553      580000565 smer   4.5 s    495.855 12.4 k   5613.4 5117.5
.
.
.

```

```

Overeni normalniho rozdeleni homogenizovanych oprav
=====
Test Kolmogorov-Smirnov : 0.0 %
Cislo podminenosti      : 4.9e+002

```

## 11.2 GROMA: Vyrovnání místní geodetické sítě – ZE VŠECH NAMĚŘENÝCH DAT

```

Lokalita:Hrad Nectiny
Datum : 2000-2005
Etapa :
PARAMETRY SÍTĚ:
=====
Počet bodů v síti : 157
Počet bodů, na nichž jsou měřeny směry: 124
Počet měřených délek : 207
Počet měřených směrů : 397
Způsob připojení sítě : Vázaná síť, v matici A je vynecháno 28 sloupců.

```

```

VYROVNANÉ DÉLKY:
=====
Stanovisko: 912200090
Cíl      Délka  Oprava  ms      Eps
      [m]      [mm]    [mm]    [mm]
-----
912202020 1070.3064  53.08   0.00
912202040 1234.0439 -56.17   0.00
58000000623 139.2937  0.00   26.26
58054004010 211.8861  0.85   27.06
-----

```

```

.
.
.
Průměrná střední chyba vyrovnané délky [mm]: 22.23

```

VYROVNANÉ SMĚRY:

=====

Stanovisko: 912200090

Cíl	Směr [g]	Oprava [cc]	m [cc]	Eps [cc]
912202301	-0.00069	-6.91	89.31	
58054004010	47.42155	-19.37	121.30	
58000000623	50.63530	-0.00	168.92	
912202040	177.14290	-32.99	89.31	
912202020	366.77638	59.27	89.31	

.  
.  
.

Průměrná střední chyba vyrovnaného směru [cc]: 137.28

VÝSLEDKY VYROVNÁNÍ:

=====

\*\*\*\*\* CHYBA PŘI VÝPOČTU \*\*\*\*\*

=====

Numerická chyba při výpočtu oprav

Jedna z kontrol výpočtu [pvv] dala špatné výsledky.  
Tato chyba je pravděpodobně způsobena špatnou podmíněností matice soustavy, což může být důsledek špatné konfigurace sítě (sítě je v této konfiguraci nespočitatelná).

Počet nadbytečných měření : 194  
Základní střední chyba m0 apriorní [cc]: 6.00  
Základní střední chyba m0 aposteriorní [cc]: 46.07  
m0 aposteriorní / m0 apriorní : 7.68  
Interval spolehlivosti : 0.90 - 1.10

VYROVNANÉ SOUŘADNICE:

=====

Bod	Y	X	my [mm]	mx [mm]	mxy [mm]
912200121	833392.1787	1044482.7003	73.36	31.65	56.49
912202331	834638.1896	1046571.2189	357.23	236.19	302.82
58000000504	834620.5360	1044292.2336	45.92	37.57	41.95

.  
.  
.

-----  
Střední souřadnicová chyba mxy [mm]: 45.82  
Stopa kovarianční matice vyrovnaných souřadnic : 282.883801  
Stopa kovarianční matice vyrovnaných souřadnic (kont.): 282.883801  
Norma kovarianční matice vyrovnaných souřadnic : 96.808781  
Maximální vlastní číslo : 90.045010  
Minimální vlastní číslo : 0.025850  
Rozdíl maximálního a minimálního vlastního čísla : 90.019160

### 11.3 GNU GAMA: Vyrovnání místní geodetické sítě – Z REDUKOVANÝCH DAT

```
Zakladni parametry vyrovnani
*****
Souradnice      xyz      xy      z
Vyrovnane :      0      136      0
Operne * :      0      0      0
Pevne :      0      15      0
-----
Celkem :      0      151      0
Pocet delek :      328
Celkem pozorovani :      682
Pocet rovnic oprav :      682      Pocet neznamych:      387
Pocet nadbyt. pozorovani:      295      Defekt site :      0
m0 apriorni :      6.00
m0' aposteriorni:      11.43      [pvv] : 3.85564e+004
Pri statisticke analize se pracuje
- s aposteriorni jednotkovou stredni chybou 11.43
- s konfidencni pravdepodobnosti 95 %
Pomer m0' aposteriorni / m0 apriorni: 1.905
95 % interval (0.919, 1.081) neobsahuje hodnotu m0'/m0
m0'/m0 (delky): 2.709      m0'/m0 (smery): 1.568
Maximalni pokles m0'/m0 pri vyloucení jednoho pozorovani: 1.788
Maximalni studentizovana oprava 6.00 presahuje kritickou hodnotu 1.96
na hladine vyznamnosti 5 % pro pozorovani #555
<distance from="580304022" to="580000601" val="220.586" stdev="3.7" />
```

```
***** 2. opakovane vyrovnani *****
Priblizne souradnice urcovanych bodu nahrazeny vyrovnanymi
*****
Vyrovnane souradnice
*****
i      bod      priblizna      korekce      vyrovnana      str.ch.      konf.i.
=====      hodnota ===== [m] ===== hodnota ===== [mm] ===
580000503
67      x      1044303.37021      0.01139      1044303.38160      7.6      15.0
68      y      834644.85804      -0.03738      834644.82065      12.3      24.2
580000504
71      x      1044292.21252      0.01090      1044292.22342      9.4      18.5
72      y      834620.54724      -0.03716      834620.51008      14.1      27.7
.
.
.
```

```
Stredni chyby a parametry elips chyb
*****
bod      mp      mxy      stred. el. chyb      konfid. el. chyb      g
===== [mm] == [mm] ==== a [mm] b      alfa[g] ==== a' [mm] b' =====
580000503      14.5      10.2      13.0      6.4      124.2      32.0      15.7      0.0
580000504      16.9      12.0      14.9      8.0      125.6      36.7      19.8      0.0
580000505      9.9      7.0      8.3      5.3      138.4      20.4      13.2      0.0
580000600      11.0      7.8      9.6      5.3      85.0      23.6      13.2      0.0
580000601      6.7      4.7      5.8      3.4      98.7      14.2      8.4      0.0
.
.
.
```

Maximalni stredni polohova chyba je 106.4 mm na bode 912202331

Prumerna polohova chyba je 12.7 mm

Vyrovnana pozorovani

```
*****
i      stanovisko      cil      merena      vyrovnana      str.ch.      konf.i.
=====      hodnota ===== [m|g] ===== [mm|cc] ==
1      912200090      912202301      smer      0.000000      399.999279      22.1      43.4
2      912202020      smer      366.770500      366.776354      22.1      43.4
3      912202020      delka      1070.25300      1070.30635      0.0      0.0
4      912202040      smer      177.146200      177.142866      22.1      43.4
5      912202040      delka      1234.10000      1234.04389      0.0      0.0
6      580544010      smer      47.423500      47.421702      29.4      57.8
7      580544010      delka      211.88500      211.88525      4.8      9.5
8      580000623      smer      50.635300      50.635300      41.9      82.5
9      580000623      delka      139.29400      139.29400      6.5      12.8
```

10	912200121	580005002	smer	0.000000	0.000093	29.8	58.6
11		580005002	delka	567.28400	567.28412	6.1	12.0
12		912202230	smer	43.367800	43.367707	29.8	58.6
13		912202230	delka	590.39500	590.39498	6.2	12.2
.							
.							
.							
673	580554009	580554008	smer	0.000000	399.998644	36.4	71.7
674		580554008	delka	68.04900	68.04893	4.1	8.1
675		580000625	smer	87.137300	87.138167	33.7	66.3
676		580000625	delka	133.29400	133.29620	5.2	10.2
677		580554010	smer	214.565900	214.566389	37.6	74.1
678		580554010	delka	64.48200	64.48177	4.0	7.9
679	580554010	580554009	smer	0.000000	399.999841	40.4	79.6
680		580554009	delka	64.48200	64.48177	4.0	7.9
681		580000578	smer	167.394300	167.394459	40.4	79.6
682		580000578	delka	57.05300	57.05228	5.5	10.8

Opravy a analyza pozorovani

\*\*\*\*\*

i	stanovisko	cil	f[%]	v	v'	e-mer.	e-vyr.
				[mm cc]		[mm cc]	
1	912200090	912202301	smer	47.4	-7.215	0.2	-10.0 -2.8
2		912202020	smer	47.4	58.539	1.6	80.9 22.4
3		912202020	delka	100.0	53.354	4.5 k	53.4 0.0
4		912202040	smer	47.4	-33.342	0.9	-46.1 -12.8
5		912202040	delka	100.0	-56.115	4.4 k	-56.1 0.0
6		580544010	smer	29.9	-17.982	0.6	-35.3 -17.3
7		580544010	delka	30.6	0.253	0.1	0.5 0.2
8		580000623	smer	0.0 n	-0.000		
9		580000623	delka	0.0 n	-0.000		
10	912200121	580005002	smer	28.9	0.931	0.0	1.9 1.0
11		580005002	delka	32.0	0.117	0.0	0.2 0.1
12		912202230	smer	28.9	-0.931	0.0	-1.9 -1.0
13		912202230	delka	32.1	-0.022	0.0	-0.0 -0.0
.							
.							
673	580554009	580554008	smer	13.1	-13.559	0.7	-55.3 -41.8
674		580554008	delka	32.6	-0.068	0.0	-0.1 -0.1
675		580000625	smer	19.6	8.673	0.3	24.5 15.8
676		580000625	delka	20.4	2.200	0.6	6.0 3.8
677		580554010	smer	10.2	4.887	0.3	25.2 20.3
678		580554010	delka	34.4	-0.228	0.0	-0.4 -0.2
679	580554010	580554009	smer	3.5 s	-1.590	0.1	
680		580554009	delka	34.4	-0.228	0.0	-0.4 -0.2
681		580000578	smer	3.5 s	1.590	0.1	
682		580000578	delka	9.1	-0.724	0.3	-4.2 -3.5

Odlehla pozorovani

\*\*\*\*\*

i	stanovisko	cil	f[%]	v	v'	e-mer.	e-vyr.
				[mm cc]		[mm cc]	
545	580304022	580000601	delka	33.8	31.378	6.0 mk	55.9 24.5
400	580000709	580000620	delka	16.1	-21.719	5.7 k	-73.3 -51.6
23	912202020	912200291	delka	100.0	44.658	5.0 k	44.7 0.0
.							
.							
.							
450	580004009	580000505	delka	34.1	-9.312	2.1 k	-16.5 -7.1
434	580004005	580004004	smer	5.8	28.287	2.0 k	249.9 221.6
432		580004006	smer	5.8	-28.287	2.0 k	-249.9 -221.6
169	580000611	580000709	smer	32.6	61.134	2.0 k	112.1 51.0

Overeni normalniho rozdeleni homogenizovanych oprav

\*\*\*\*\*

Test Kolmogorov-Smirnov : 0.0 %  
Cislo podmienosti : 5.0e+002

## 11.4 GROMA: Vyrovnání místní geodetické sítě – Z REDUKOVANÝCH DAT

Lokalita: Hrad Nectiny  
 Datum : 2000-2005  
 Etapa :

### PARAMETRY SÍTĚ:

=====

Počet bodů v síti : 150  
 Počet bodů, na nichž jsou měřeny směry: 115  
 Počet měřených délek : 180  
 Počet měřených směrů : 354  
 Způsob připojení sítě : Vázaná síť, v matici A je vynecháno 28 sloupců.

### VYROVNANÉ DÉLKY:

=====

Stanovisko: 912200090  

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

58000000623	139.2937	0.00	5.94	
58054004010	211.8856	0.34	6.11	

Stanovisko: 912200121  

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

912202230	590.3951	-0.01	7.72	
58000005002	567.2845	0.24	7.63	

.  
 .  
 .  
 .

Stanovisko: 58055004009  

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

58000000625	133.2964	2.24	4.75	
58055004010	64.4818	-0.13	4.87	

Stanovisko: 58055004010  

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

58000000653	57.0524	-0.48	5.10	
-------------	---------	-------	------	--

Průměrná střední chyba vyrovnané délky [mm]: 5.32

### VYROVNANÉ SMĚRY:

=====

Stanovisko: 912200090  

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

912202301	-0.00079	-7.89	20.20	
58054004010	47.42184	-16.43	27.45	
58000000623	50.63530	0.00	38.21	
912202040	177.14280	-33.97	20.20	
912202020	366.77629	58.29	20.20	80.91

.  
 .  
 .

Stanovisko: 58055004009  

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

58055004008	-0.00117	-11.69	33.45	
58000000625	87.13782	5.41	31.49	
58055004010	214.56648	6.28	34.68	



Stanovisko: 58055004010

Cíl	Směr [g]	Oprava [cc]	m [cc]	Eps [cc]
58055004009	-0.00026	-2.58	37.03	
58000000578	167.39456	2.58	37.03	

Průměrná střední chyba vyrovnaného směru [cc]: 31.64

VÝSLEDKY VYROVNÁNÍ:

=====

Počet nadbytečných měření : 147  
Základní střední chyba m0 apriorní [cc]: 6.00  
Základní střední chyba m0 aposteriorní [cc]: 10.42  
m0 aposteriorní / m0 apriorní : 1.74  
Interval spolehlivosti : 0.88 - 1.12

VYROVNANÉ SOUŘADNICE:

=====

Bod	Y	X	my [mm]	mx [mm]	mxy [mm]
912200121	833392.1487	1044482.7059	17.27	7.21	13.23
912202331	834638.1808	1046571.2247	80.97	53.53	68.64
58000000504	834620.5261	1044292.2174	13.61	10.18	12.02
58000004010	834644.8368	1044303.3751	12.08	8.86	10.59
.					
.					
58054004010	834951.0948	1043131.9354	7.93	7.14	7.55
58055004008	834279.5473	1043767.5773	8.38	7.19	7.81
58055004009	834216.2102	1043742.6964	7.32	7.46	7.39
58055004010	834152.4096	1043733.3484	7.12	8.00	7.57

-----  
střední souřadnicová chyba mxy [mm]: 10.96  
Stopa kovarianční matice vyrovnaných souřadnic : 300.700729  
Stopa kovarianční matice vyrovnaných souřadnic (kont.): 300.700729  
Norma kovarianční matice vyrovnaných souřadnic : 98.860713  
Maximální vlastní číslo : 90.729735  
Minimální vlastní číslo : 0.026728  
Rozdíl maximálního a minimálního vlastního čísla : 90.703007









Výběrová střední souřadnicová chyba X (sx) : 0.003m  
 Výběrová střední souřadnicová chyba Y (sy) : 0.006m  
 Výběrová střední souřadnicová chyba (sxy) : 0.005m  
 Použitý koeficient (k) : 1.0  
 Počet nenalezených bodů : 0  
 Počet bodů nalezených vícekrát : 0

## 13 Příloha 3 - Modelová síť

### 13.1 GROMA - bezchybně

PŘIBLIŽNÉ SOUŘADNICE:

=====

Bod	Y	X	Char	Délek	Směrů
1	400.0000	500.0000	Pevný bod	2	2
2	100.0000	500.0000	Pevný bod	1	0
3	400.0000	100.0000	Volný	0	0

PARAMETRY SÍTĚ:

=====

Počet bodů v síti : 3  
 Počet bodů, na nichž jsou měřeny směry: 1  
 Počet měřených délek : 3  
 Počet měřených směrů : 2  
 Způsob připojení sítě : Vázaná síť, v matici A je vynecháno 4 sloupců.

VYROVNANÉ DÉLKY:

=====

Stanovisko: 1

Cíl	Délka [m]	Oprava [mm]	ms [mm]	Eps [mm]
2	300.0000	0.00	0.00	
3	400.0000	0.00	0.00	

Stanovisko: 2

Cíl	Délka [m]	Oprava [mm]	ms [mm]	Eps [mm]
3	500.0000	0.00	0.00	

Průměrná střední chyba vyrovnané délky [mm]: 0.00

VYROVNANÉ SMĚRY:

=====

Stanovisko: 1

Cíl	Směr [g]	Oprava [cc]	m [cc]	Eps [cc]
3	200.00000	0.00	0.00	
2	300.00000	0.00	0.00	

Průměrná střední chyba vyrovnaného směru [cc]: 0.00

VÝSLEDKY VYROVNÁNÍ:

=====

Počet nadbytečných měření : 2  
 Základní střední chyba m0 apriorní [cc]: 6.00  
 Základní střední chyba m0 aposteriorní [cc]: 0.00  
 m0 aposteriorní / m0 apriorní : 0.00  
 Interval spolehlivosti : 0.00 - 2.00

VYROVNANÉ SOUŘADNICE:

=====

Bod	Y	X	my [mm]	mx [mm]	mxy [mm]
3	400.0000	100.0000	0.00	0.00	0.00

Střední souřadnicová chyba mxy [mm]: 0.00

## 13.2 GNU GaMa - bezchybně

```

Priblizne souradnice
*****
souradnice      xyz      xy      z
dane           :        0        2        0
vypoctene      :        0        1        0
-----
celkem          :        0        3        0
mereni         :        5
Zakladni parametry vyrovnani
*****
Souradnice      xyz      xy      z
Vyrovnane      :        0        1        0
Operne *       :        0        0        0
Pevne          :        0        2        0
-----
Celkem          :        0        3        0
Pocet delek    :          3
Celkem pozorovani :          5
Pocet rovnic oprav :          5      Pocet neznamych:      3
Pocet nadbyt. pozorovani:      2      Defekt site      :      0
m0 apriorni    :      6.00
m0' aposteriorni:      0.00      [pvv] : 4.23346e-021

Pri statisticke analyze se pracuje
- s aposteriorni jednotkovou stredni chybou 0.00
- s konfidencni pravdepodobnosti 95 %

Pomer m0' aposteriorni / m0 apriorni: 0.000
95 % interval (0.159, 1.921) neobsahuje hodnotu m0'/m0
m0'/m0 (delky): 0.000 m0'/m0 (smery): 0.000
Maximalni pokles m0''/m0 pri vyloucení jednoho pozorovani: 0.000
Maximalni studentizovana oprava 1.41 presahuje kritickou hodnotu 1.41
na hladine vyznamnosti 5 % pro pozorovani #2
<direction from="1" to="2" val="300.0000" stdev="22.0" />
Pevne body
*****
      bod      x      y
=====
      1      500.000      400.000
      2      500.000      100.000
Vyrovnane souradnice
*****
      i      bod      priblizna      korekce      vyrovnana      str.ch.      konf.i.
=====      hodnota ===== [m] ===== hodnota ===== [mm] ===
      3
      2      x      100.00000      0.00000      100.00000      0.0      0.0
      3      y      400.00000      0.00000      400.00000      0.0      0.0
Stredni chyby a parametry elips chyb
*****
      bod      mp      mxy      stred. el. chyb      konfid. el. chyb      g
===== [mm] == [mm] ==== a [mm] b alfa[g] ==== a' [mm] b' =====
      3      0.0      0.0      0.0      0.0      78.3
Vyrovnana pozorovani
*****
      i      stanovisko      cil      merena      vyrovnana      str.ch.      konf.i.
=====      hodnota ===== [m|g] ===== [mm|cc] ==
      1      1      3 smer      200.000000      200.000000      0.0      0.0
      2      2 smer      300.000000      300.000000      0.0      0.0
      3      3 delka      400.000000      400.000000      0.0      0.0
      4      2 delka      300.000000      300.000000      0.0      0.0
      5      2 delka      500.000000      500.000000      0.0      0.0
Opravy a analyza pozorovani
*****
      i      stanovisko      cil      f[%]      v      |v'|      e-mer.      e-vyr.
===== [mm|cc] ===== [mm|cc] ==
      1      1      3 smer      19.4      -0.000      1.4      -0.0      -0.0
      2      2 smer      19.4      0.000      1.4 m      0.0      0.0
      3      3 delka      6.0      0.000      1.4      0.0      0.0
      4      2 delka      100.0      0.000      0.0      0.0      0.0
      5      2 delka      9.6      -0.000      1.4      -0.0      -0.0
Cislo podminenosti      : 4.2e+000

```

### 13.3 GROMA - po úpravě

```

=====
PŘIBLIŽNÉ SOUŘADNICE:
=====
-----
      Bod          Y          X  Char          Délka  Směrů
-----
          1      400.0000      500.0000  Pevný bod          2      2
          2      100.0000      500.0000  Pevný bod          1      0
          3      400.0060      100.0040  Volný                0      0
-----

PARAMETRY SÍTĚ:
=====
Počet bodů v síti                : 3
Počet bodů, na nichž jsou měřeny směry: 1
Počet měřených délek             : 3
Počet měřených směrů            : 2
Způsob připojení sítě            : Vázaná síť, v matici A je vynecháno 4 sloupců.
VYROVNANÉ DÉLKY:
=====
Stanovisko: 1
      Cíl          Délka  Oprava      ms      Eps
          [m]      [mm]      [mm]      [mm]
-----
          2      300.0000      5.00      0.00
          3      399.9973      1.29      4.16
-----

Stanovisko: 2
      Cíl          Délka  Oprava      ms      Eps
          [m]      [mm]      [mm]      [mm]
-----
          3      500.0074     -1.61      4.00
-----

Průměrná střední chyba vyrovnané délky [mm]: 3.33
VYROVNANÉ SMĚRY:
=====
Stanovisko: 1
      Cíl          Směr  Oprava      m      Eps
          [g]      [cc]      [cc]      [cc]
-----
          3      200.00608     -8.17      13.09
          2      300.00862      8.17      13.09
-----

Průměrná střední chyba vyrovnaného směru [cc]: 13.09
VÝSLEDKY VYROVNÁNÍ:
=====
Počet nadbytečných měření                : 2
Základní střední chyba m0 apriorní        [cc]: 6.00
Základní střední chyba m0 aposteriorní    [cc]: 4.43
m0 aposteriorní / m0 apriorní             : 0.74
Interval spolehlivosti                    : 0.00 - 2.00
VYROVNANÉ SOUŘADNICE:
=====
      Bod          Y          X          my          mx          mxy
          [mm]      [mm]      [mm]      [mm]      [mm]
-----
          3      400.0159      100.0027      7.90      4.16      6.32
-----

Střední souřadnicová chyba mxy [mm]: 6.32

```



## 13.4 GNU GaMa - po úpravě

```

Priblizne souradnice
*****
souradnice      xyz      xy      z
dane           :      0      2      0
vypoctene     :      0      1      0
-----
celkem        :      0      3      0
mereni        :      5
Zakladni parametry vyrovnani
*****
Souradnice     xyz      xy      z
Vyrovnane    :      0      1      0
Operne *     :      0      0      0
Pevne        :      0      2      0
-----
Celkem        :      0      3      0
Pocet delek   :      3
Celkem pozorovani :      5
Pocet rovnic oprav :      5      Pocet neznamych:      3
Pocet nadbyt. pozorovani:      2      Defekt site      :      0

m0 apriorni    :      6.00
m0' aposteriorni:      4.43      [pvv] : 3.92022e+001
Pri statisticke analize se pracuje
- s aposteriorni jednotkovou stredni chybou 4.43
- s konfidencni pravdepodobnosti 95 %
Pomer m0' aposteriorni / m0 apriorni: 0.738
95 % interval (0.159, 1.921) obsahuje hodnotu m0'/m0
m0'/m0 (delky): 0.791      m0'/m0 (smery): 0.628
Maximalni pokles m0'/m0 pri vyloucení jednoho pozorovani: 0.628
Maximalni studentizovana oprava 1.13 nepresahuje kritickou hodnotu 1.41
na hladine vyznamnosti 5 % pro pozorovani #4
<distance from="1" to="2" val="299.995" stdev="6.0" />
Pevne body
*****
      bod      x      y
=====
      1      500.000      400.000
      2      500.000      100.000

Vyrovnane souradnice
*****
      i      bod      priblizna      korekce      vyrovnana      str.ch.      konf.i.
=====      hodnota ===== [m] ===== hodnota ===== [mm] ==
      3
      x      99.99850      0.00421      100.00271      4.2      17.9
      y      400.00565      0.01027      400.01593      7.9      34.0

Stredni chyby a parametry elips chyb
*****
      bod      mp      mxy      stred. el. chyb      konfid. el. chyb      g
=====      [mm] == [mm] ==== a [mm] b      alfa[g] ==== a' [mm] b' =====
      3      8.9      6.3      8.3      3.3      78.3      51.2      20.3      0.2

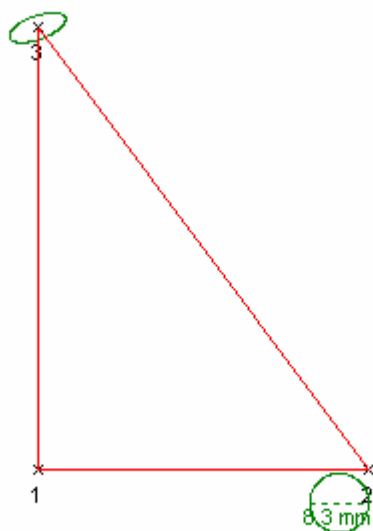
Vyrovnana pozorovani
*****
      i      stanovisko      cil      merena      vyrovnana      str.ch.      konf.i.
=====      hodnota ===== [m|g] ===== [mm|cc] ==
      1      1      3 smer      200.006900      200.006083      13.1      56.3
      2      1      2 smer      300.007800      300.008617      13.1      56.3
      3      1      3 delka      399.99600      399.99729      4.2      17.9
      4      1      2 delka      299.99500      300.00000      0.0      0.0
      5      2      3 delka      500.00900      500.00739      4.0      17.2

Opravy a analiza pozorovani
*****
      i      stanovisko      cil      f[%]      v      |v'|      e-mer.      e-vyr.
=====      [mm|cc] ===== [mm|cc] =====
      1      1      3 smer      19.4      -8.173      0.9      -23.4      -15.2
      2      1      2 smer      19.4      8.173      0.9      23.4      15.2
      3      1      3 delka      6.0      1.290      0.9      11.0      9.7
      4      1      2 delka      100.0      5.000      1.1 m      5.0      0.0
      5      2      3 delka      9.6      -1.613      0.9      -8.8      -7.2

Cislo podminenosti      : 4.2e+000

```

## 13.5 Grafické znázornění modelové sítě



## 14 Příloha 4 – Porovnání etap

POROVNÁNÍ ETAP:

=====

REFERENČNÍ ETAPA:

Název:

Datum:

Etapa: 2002

TESTOVANÁ ETAPA:

Název:

Datum:

Etapa: 2001

Bod	Y Ref [m]	X Ref [m]	Y Test [m]	X Test [m]	dy [mm]	dx [mm]	d [mm]	Sigma [g]
912200090	834815.7500	1042968.9100	834815.7500	1042968.9100	0.00	0.00	0.00	
912202010	833575.1000	1042392.0200	833575.1000	1042392.0200	0.00	0.00	0.00	
912202020	834234.6800	1043867.7500	834234.6800	1043867.7500	0.00	0.00	0.00	
912202301	834756.6800	1044103.3500	834756.6800	1044103.3500	0.00	0.00	0.00	
5800005001	834600.8869	1043955.9212	834600.8199	1043956.1376	66.96	-216.33	226.45	380.89
5800005002	833703.9314	1044008.5728	833703.8590	1044008.6272	72.43	-54.42	90.59	341.02

## **15 Příloha 5 – Grafický výstup z porovnání souřadnic**

### **15.1 Porovnání souřadnic ze všech měření**

## **15.2 Porovnání souřadnic z redukováného měření**

## **16 Příloha 6 – Kontrolní kresba testované sítě Hrad Nečtiny**

## 17 Příloha 7 – Obsah příloženého CD

