

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STABEBNÍ

KATEDRA SPECIÁLNÍ GEODÉZIE

STUDIJNÍ PROGRAM: GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

STUDIJNÍ OBOR: GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKA



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

URČENÍ GEODETICKÉ SÍTĚ PRO STAVBU SILNICE

VEDOUCÍ PRÁCE: doc. Ing. Rudolf Urban, PhD.

květen 2020

Lukáš Hošek

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Hošek Jméno: Lukáš Osobní číslo: 476920
Zadávací katedra: K154
Studijní program: Geodézie a kartografie
Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Určení geodetické sítě pro stavbu silnice

Název bakalářské práce anglicky: Determination of geodetic network for road construction

Pokyny pro vypracování:

Vlastní zaměření geodetické sítě různými metodami. Rozbor přesnosti použitých metod. Vyrovnání geodetické sítě v různých programech a následné zhodnocení. Zhodnocení efektivity a přesnosti použitých metod zaměření.

Seznam doporučené literatury:

[1] Urban, R.: Geodetické práce při měření posunů a přetvoření stavebních objektů. 1. vyd. Praha. CTU Publishing House, 2015.

[2] Hampacher, M. - Štroner, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 2. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, ČVUT v Praze, 2015. 336 s. ISBN 978-60-01-05843-5.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Doc. Ing. Rudolf Urban, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 19.2.2020 Termín odevzdání bakalářské práce: 18.5.2020
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ek. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

19.2.2020
Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji tímto, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Veškeré použité zdroje jsou uvedeny v seznamu použité literatury a citovány v textu podle normy ČSN ISO 690

V Nýrsku dne 23.5.2020

.....
Lukáš Hošek

Poděkování

Chtěl bych osobně velice poděkovat mému vedoucímu této bakalářské práce doc. Ing. Rudolfu Urbanovi, PhD. za věcné připomínky a rady při konzultacích, rodině a v neposlední řadě také firmě Hrdlička spol. s.r.o.

Abstrakt

Tato bakalářská práce porovnává dva měřické postupy pro tvorbu vytyčovací sítě liniové stavby. Konkrétně užití polygonového pořadu s nivelací a metodu volných stanovisek. Zabývá se také rozbory přesnosti dané sítě softwarem PreciPlanner 3D. Velká část práce je pak věnována jednotlivým metodám vyrovnání geodetické sítě výpočetními softwary: (GROMA a EasyNET)

Výsledkem této bakalářské práce je zhodnocení jednotlivých softwarů, měřických postupů a dosažených přesností.

Klíčová slova

Polygonový pořad, nivelace, volné stanovisko, rozbory přesnosti, vyrovnání, geodetická síť

Abstract

This bachelor's thesis compares two measuring procedures for the creation of a geodetic network of a line structure. Specifically, the use of a link travers with levelling and the method of free positions. It also deals with analyses of the accuracy of the network. A large part of the work is then devoted to the individual adjustment of the network by computer software: (GROMA and EasyNET) for the adjustment of geodetic networks.

The result of this bachelor's thesis is the evaluation of individual software and measurement procedures.

Key words

Link travers, levelling, free position, accuracy analysis, adjustment, geodetic network

Obsah

Abstrakt	5
Klíčová slova	5
Abstract	6
Key words	6
Obsah	7
Úvod	9
1. Lokalita	10
1.1. Historie města	10
1.2. Silnice II/230	10
1.2.1. Důvod stavby a trasa přeložky	11
1.2.2. Informace o stavbě	11
2. Bodové pole vytyčovací sítě	12
2.1. Specifikace bodů geodetické sítě	14
2.1.1. Body primární sítě	14
2.1.2. Body sekundární sítě	15
3. Metodika zpracování	16
3.1. Použité měřické metody	16
3.2. Rozbory přesnosti	16
3.2.1. Rozbory přesnosti před měřením	16
3.3. Určení souřadnic bodu	17
3.3.1. Polygonový pořad (PP)	17
3.3.2. Nivelace	18
3.3.3. Rajón a trigonometrická nivelace	18
3.3.4. Volné stanovisko	19
3.4. Vyrovnání geodetické sítě	20
4. Geodetické přístroje a pomůcky	22
4.1. Totální stanice Trimble S5	22
4.2. GNSS Trimble R8s	22
4.3. Niveláčnický přístroj Trimble DiNi	23
4.4. Ostatní pomůcky	23
5. Výpočetní softwary	24
5.1. PrecisPlanner 3D	24
5.2. GROMA	24

5.3.	EasyNET.....	25
6.	Polygonový pořad + nivelace.....	27
6.1.	Rozvržení sítě.....	27
6.2.	Rozbory přesnosti před měřením.....	28
6.3.	Postup měření a výpočet přibližných souřadnic.....	29
6.3.1.	Určení souřadnic připojovacích bodů a orientací.....	29
6.3.2.	Měření a výpočet polygonového pořadu.....	29
6.3.3.	Měření a výpočet nivelace.....	30
6.3.4.	Postup určení souřadnic bodů sekundární sítě.....	31
6.4.	Vyrovnání geodetické sítě.....	32
6.4.1.	Vyrovnání pomocí programu GROMA.....	32
6.4.2.	Vyrovnání pomocí programu EasyNET.....	36
6.5.	Rozbory přesnosti po měření.....	39
7.	Metoda volných stanovisek.....	40
7.1.	Rozvržení sítě.....	40
7.2.	Rozbory přesnosti před měřením.....	41
7.3.	Postup měření a výpočet přibližných souřadnic.....	42
7.4.	Vyrovnání geodetické sítě.....	43
7.4.1.	Vyrovnání pomocí programu GROMA.....	43
7.4.2.	Vyrovnání pomocí programu EasyNET.....	46
7.5.	Rozbory přesnosti po měření.....	49
8.	Zhodnocení výsledků.....	50
8.1.	Porovnání měřických postupů.....	50
8.2.	Porovnání použitých softwarů k vyrovnání sítě.....	50
8.3.	Posouzení dosažených souřadnic.....	51
9.	Závěr.....	54
	Seznam použitých zkratk.....	56
	Seznam příloh na CD.....	56
	Seznam obrázků.....	56
	Seznam tabulek.....	57
	Seznam použitých zdrojů.....	58

Úvod

Každá současná stavba (silnice, železnice, budova...) vychází z projektů, které jsou přesně geodeticky lokalizované nejen pro účely katastru nemovitostí. Proto se dnes každá výstavba bez geodeta nemůže obejít. Geodetické práce probíhají během celé výstavby. Od vytyčení záborů staveniště, přes vytyčení každé vrstvy aplikovaného materiálu k výstavbě, až po měření skutečných stavů a následně posunů a přetvoření.

Proto je nutné a žádoucí, aby byla určena tzv. geodetická síť (též zvaná vytyčovací). Vytyčovací síť kladou vysoký apel na přesnost, aby bylo možné provádět vytyčovací a další měřičské práce s požadovanou přesností. Předmětem této bakalářské práce bylo polohové a výškové určení vytyčovací sítě liniové stavby pomocí dvou geodetických metod

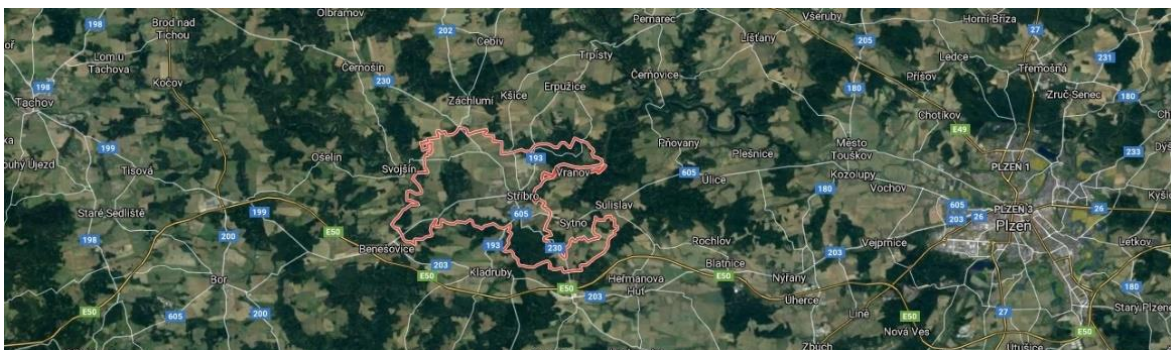
První metoda se opírá o tzv. „klasické metody“ určování bodů. Konkrétně určování polohy bodů polygonovým pořadem a výšek nivelací. Druhý způsob je pak založen na metodě volných stanovisek s prostorovým určením bodů sítě. Hlavním cílem bakalářské práce bylo ověřit, zda je výhodnější využít klasické metody, které jsou osvědčené, ale za cenu využití více pracovních pomůcek a tím pádem i více času, nebo relativně novou metodu, kde nám postačí pouze 1 přístroj, ovšem v praxi zatím moc nepoužívanou.

Další část práce se pak zabývá možností výpočtu vyrovnání sítě pomocí dvou softwarů. Jeden software patří ke všeobecně mezi geodety známým, a to GROMA, která není primárně určena pro vyrovnání, ale pro komplexní výpočetní geodetické práce. Druhý program je méně známý EasyNET, který je vytvořen pouze na vyrovnání geodetických sítí, avšak obsahuje plno dalších užitečných nástrojů pro efektivnější výpočet.

V této bakalářské práci bude představena lokalita měření, specifikace bodů geodetické sítě, použité pomůcky, softwary a detailní postup měření včetně výpočtů obou zvolených metod.

1. Lokalita

Sledovaná stavba se nachází v oblasti území města Stříbra na Tachovsku (Obr. 1). Od západočeské metropole Plzně je vzdálená přibližně 30 kilometrů. Městem protéká řeka Mže. První zmínka pochází z roku 1183 a město počítá k datu 31.12.2019 přibližně 7 500 obyvatel. [1]



Obr. 1 - Lokalizace města Stříbra [2]

1.1. Historie města

Kronikář Václav Hájek z Libočan v Kronice české píše, že město Stříbro bylo založeno roku 1131 knížetem Soběslavem I. Tato zpráva ovšem není podložena, takže se uvádí rok 1183, kdy bylo Stříbro připomínáno jako hornická osada.

Těžba stříbra vedla k velice rychlému rozvoji osady, takže Přemysl Otakar II. nechal Stříbro roku 1263 povýšit na město a tím získalo řadu privilegií.

V období husitských válek se město pokusil dobýt Jan Žižka z Trocnova. Bez úspěchu. O několik let později se stejně pokusili křižáci. Ale ani ti však neuspěli. V tomto období město, jakožto patřící ke čtyřem největším městům v Plzeňském kraji, opěvovalo třemi kostely a třemi kláštery.

V 16. století došlo k rozrůstání řemesel ve městě a roku 1555 byl postaven kamenný most přes řeku Mži. Ve století 18. město postihl mor, který připomíná ve městě morový sloup.

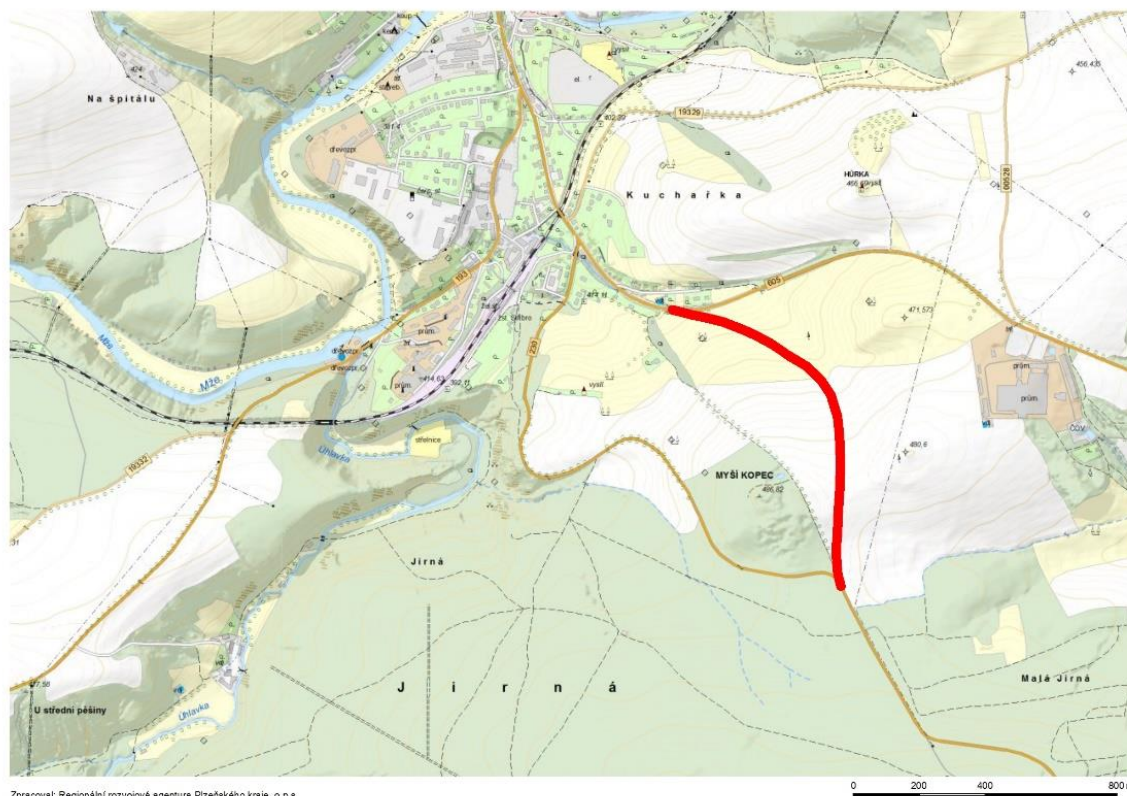
Ve 20. století před Druhou světovou válkou obývalo město hlavně německé obyvatelstvo. Po ukončení války a následnému odsunu Němců došlo k úplné výměně obyvatelstva. Okolí města se mimo jiné nachází spousta vojenských bunkrů připomínající Všeobecnou mobilizaci v roce 1938. [1],[3]

1.2. Silnice II/230

Jedná se o stavbu silnice II. třídy, konkrétně o komunikaci číslo II/230. Tato silnice propojuje města [2] Bečov nad Teplou, Mariánské Lázně, Planá, zmiňované Stříbro, Stod, Přeštice a Nepomuk. Sledovaná stavba se nachází na konci města Stříbra a bude se jednat o přeložku.

1.2.1. Důvod stavby a trasa přeložky

Současné vedení trasy II/230 je nevyhovující z důvodu malé šířky vozovky neobsahující krajnici, trasa je velice nepřehledná a také nebezpečná kvůli mnoha zatáčkám vedoucí v zalesněném území. Proto bylo rozhodnuto o nové přeložce této silnice (Obr. 2), která začíná napojením na silnici II/605 na výjezdu z města Stříbra směrem na Plzeň. Přeložka pak pokračuje v zářezu travnatými plochami jihovýchodním směrem, kde silnice překoná převýšení, stáčí se na jih a na závěru se napojuje na stávající komunikaci v oblasti lesní lokality Jirná. Přeložka nabídne odpovídající šířkové uspořádání, rychlejší propojení s dálnicí D5 a zejména bezpečnější provoz dopravy [4]



Obr. 2 - Trasa přeložky [4]

1.2.2. Informace o stavbě

Přeložka je dlouhá celkem 1 552 m včetně napojení. Kromě nové vozovky stavba zahrnuje výstavbu přeložky vodovodního řadu DN 100, úpravy odvodnění včetně dešťové retenční nádrže a trubních propustků, gabionovou zeď a následné rekultivace dotčené krajiny touto stavbou.

Stavbu provádí firma Berger Bohemia a.s. Vysoutěžená cena stavby činí dohromady 78 976 393 Kč bez DPH. Investorem stavby je Správa a údržba silnice Plzeňského kraje, příspěvková organizace. [5]

2. Bodové pole vytyčovací sítě

Pro uskutečnění výstavby je nutné, aby okolí stavby bylo dostatečně zahuštěno body o známých souřadnicích, ze kterých se následně vytyčují a kontrolně přeměřují objekty na dané stavbě.

U staveb silnic, průmyslových hal atd. je předpoklad, že jsou dodrženy vyšší nároky na přesnost bodů oproti přesnostem v katastru nemovitostí. Dále pak na vzájemnou homogenitu bodů, aby body měly po celé oblasti stavby podobně velké chyby. Z tohoto důvodu je pohled na určování souřadnic bodů naprosto odlišný vůči „klasickému měření“ z hlediska pečlivosti, preciznosti a hlavně přesnosti, a proto by na určování těchto sítí měla být použita odpovídající technika a měřické postupy. Dále je pak nutné po výpočtu souřadnic bodů provést vyrovnání vázané sítě. Vázaná síť byla využita z důvodu užití polohového souřadnicového systému S-JTSK a výškového Bpv. Navíc zaručí stabilitu sítě ve směru spojnice dvou a více bodů (ideálně na začátku a konci staveniště). Tím nemůže dojít k natočení sítě jako celku a je tímto krokem lépe udržena homogenita sítě okolo stavby.

Vyrovnání vázané sítě pracuje tak, že pokud jsou známé souřadnice alespoň dvou pevných bodů (v případě liniových sítí na začátku a na konci), přesnosti přístroje a nadbytečná měření (úhly a délky), lze pak následně vypočítat opravy tzv. přibližných souřadnic a jejich měření. Přibližné souřadnice lze určit pomocí klasických výpočetních metod a slouží pro výpočet iteračního vyrovnání. Tyto souřadnice si umí často vypočítat programy samy (užití polární metody, protínání atd.), avšak pro vyšší přesnost bylo v této práci přistoupeno k převzetí výsledků z polygonového pořadu a nivelace. K výpočtu se využívá matematická disciplína jménem metoda nejmenších čtverců (v literatuře často označována zkratkou MNČ). Díky tomu lze získat opravené souřadnice se směrodatnými odchylkami, které z klasických geodetických úloh nezískáme. Směrodatné odchylky z vyrovnání mohou pak pomoci s výběrem bodů na další vytyčení či měření, protože lze detekovat, který bod je „chybně“. Detailní postup výpočtu viz. (kap. 3.4).

Bodové pole této sítě je naznačeno ve stavebním projektu na ortofoto podkladu [6], pro lepší orientaci, v měřítku 1:4000 (Obr. 3), kde se kromě navrhované komunikace nachází také další objekty výstavby, staničení po sto metrech a další parametry dané silnice.



Obr. 3 - Schéma vytyčovací sítě s projektem stavby na ortofoto podkladu

2.1. Specifikace bodů geodetické sítě

Polohové souřadnice bodů jsou určovány v systému Jednotné trigonometrické sítě katastrální (dále pak S-JTSK). Výškové souřadnice pak v systému Balt po vyrovnání (dále pak Bpv). Body jsou umísťovány v blízkosti stavby, musí být ovšem kladen důraz na stabilizaci a signalizaci těchto bodů, aby nedošlo ke zničení bodů z důvodu průběhu stavby. Stabilizace bodů byla rozdílná podle způsobu určení polohy bodu. Samotné rozdělení bodů podle důležitosti v síti se dělí na dvě hlavní skupiny a to:

- a) Body primární sítě
- b) Body sekundární sítě

2.1.1. Body primární sítě

Tyto body tvoří všechny body s čísly od 4001 (viz. Obr. 3). Ke stabilizaci bodu byl použit kovový hraniční trn z plastového mezníku délky 60 cm. Na jeho hlavě byla vyznačena tečka vyklepnutím pomocí důlčíku. Signalizace ochranného pásma bodu byla vyznačena třemi kolíky s bezpečnostní páskou.



Obr. 4 - Stabilizace bodů primární sítě a jeho ochranné pásmo

2.1.2. Body sekundární sítě

Body sekundární sítě tvoří všechny ostatní body s čísly od 5001 (Obr. 3). Tyto body jsou stabilizovány hlavně kolíky, pokud byla možnost, tak hřeby, či odraznými štítky na kovových konstrukcích (například stožár vysokého napětí). Mezi těmito body se nachází i vztahný nivelační bod. Tento bod (Obr. 5) se nachází na žulovém kameni a je součástí nivelačního pořadu Stříbro – Staňkov z roku 1982.



Obr. 5 - Nivelační bod Hab-6

3. Metodika zpracování

V této kapitole budou představeny zvolené měřické metody, princip rozborů přesnosti, výpočetní postupy zvolených metod a teoretické základy o vyrovnání geodetické sítě pro určení souřadnic bodu s projektem požadovanými přesnostmi danými dvojrozměrnou souřadnicovou odchylkou ($\sigma_{X,Y} = 10 \text{ mm}$) a směrodatnou odchylku výšky ($\sigma_Z = 5 \text{ mm}$).

3.1. Použité měřické metody

Měření bylo provedeno dvěma různými metodami určení souřadnic. První metoda se opírá o „typické“ metody určení souřadnic a výšky bodu. Polohy bodů primární sítě byly určovány oboustranně připojeným i orientovaným polygonovým pořadem (PP). Výšky bodů primární sítě byly určeny geometrickou nivelací ze středu. Polohy bodů sekundární sítě včetně výšek byly určovány z rajónů.

Druhá metoda využívá volných stanovisek. Tato metoda spočívá v tom, že z libovolné pozice na staveništi (z pravidla uprostřed navržené komunikace) bylo měřeno na všechny okolní body sítě, které byly viditelné. Po provedení měření byl přístroj následně posunut dále ve směru staničení stavby a bylo opět měřeno na všechny viditelné body včetně bodů již měřených.

Pro zvýšení přesností určení souřadnic obou zmíněných metod byla realizována jednotlivá vyrovnání sítí dvěma softwary. Pro zkvalitnění průběhu vyrovnání byly do výpočtu uvažovány jako přibližné souřadnice ty, které byly vypočteny metodami PP a nivelace. Po dokončení všech výpočtů byly získány čtyři sady souřadnic a jejich směrodatné odchylky.

3.2. Rozbory přesnosti

Hlavní úkol rozborů přesnosti dle [17] je posoudit, s jakým přístrojovým vybavením a metodou měření lze splnit požadovanou přesnost, respektive jakou přesnost získáme dostupným vybavením a zvolenou metodou.

3.2.1. Rozbory přesnosti před měřením

Cílem rozboru přesnosti před měřením je tedy určit očekávanou přesnost bodů dané sítě na základě použitého vybavení a metody měření. Jako základní vztah pro výpočet velikosti přesnosti (směrodatné odchylky) měřené veličiny je pak:

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Kde:

σ *výsledná směrodatná odchylka měřené veličiny*
 σ_0 *základní směrodatná odchylka měřené veličiny (udávaná výrobcem)*
 n *počet opakování měření*

Výpočet probíhá formou výpočtu vyrovnání geodetické vázané sítě (kap. 3.4) ve specializovaném softwaru. Přesnosti se určí z následné kovarianční matice.

Výsledkem jsou očekávané souřadnice, jejich směrodatné odchylky a poloměry poloos elipsoidů chyb

3.3. Určení souřadnic bodu

Nyní budou popsány všechny použité metody určení přibližných souřadnic bodu na aplikované vyrovnání.

3.3.1. Polygonový pořad (PP)

V našem případě byl použit PP oboustranně připojený i orientovaný s účelem následného využití bodů pro vytyčování dopravní stavby. Předpokladem pro tuto metodu je znalost souřadnic připojovacích bodů, jejich orientací, měření šikmých délek mezi určovanými body, jejich vzájemné levostranné úhly (úhel po směru hodinových ručiček) a zenitové úhly pro redukci šikmých délek na vodorovné.

Pro výpočet polygonového pořadu [13] byly nejprve postupně vypočteny všechny směrníky ze známých souřadnic a levostranné vodorovné úhly a převedeny šikmé délky na vodorovné s redukcí do nulové hladiny a následně do S-JTSK. Poté byl vypočten tzv. úhlový uzávěr (rozdíl součtu měřených úhlů a teoretické hodnoty). Rovnice pro výpočet tohoto uzávěru vypadá:

$$o_{\omega} = \sigma_{K-B} - \left[\sigma_{P-A} + \sum_i \omega_i - (n-1) * 200^g \right] \quad (2)$$

Kde:

σ_{K-B} ... směrník z konečného bodu na orientaci
 σ_{P-A} ... směrník z počátečního bodu na orientaci
 ω_i ... jednotlivé vrcholové levostranné úhly
 n ... celkový počet bodů v pořadu

Poté byly vypočteny jednotlivé směrníky vrcholových bodů polygonu, kde byla hodnota úhlového uzávěru rovnoměrně rozdělena mezi všechny orientace:

$$\alpha_{i,i+1} = \alpha_{i-1,i} + (\omega_i + \delta_{\omega}) - 200^g \quad (3)$$

Kde:

$\alpha_{i-1,i}$... předchozí vyrovaný směrník
 ω_i ... jednotlivé vrcholové levostranné úhly
 δ_{ω} ... oprava úhlu

Následně došlo k výpočtu souřadnicových rozdílů a jejich součtu. Souřadnicové rozdíly změřené byly vypočteny polární metodou, popř. očekávané pouze rozdílem známých souřadnic. Posléze souř. rozdíly změřené a očekávané udají tzv. souřadnicové uzávěry

$$\begin{aligned} o_x &= \Delta x_{P-K} - \sum_i \Delta x_i \\ o_y &= \Delta y_{P-K} - \sum_i \Delta y_i \end{aligned} \quad (4)$$

Kde:

Δx_{P-K} (Δy_{P-K}) ... Očekávaný celkový souřadnicový rozdíl
 Δx_i (Δy_i) ... změřený dílčí souřadnicový rozdíl

Dále byl vypočten polohový uzávěr, který udává polohovou odchylku, která může být použita pro testování polohové přesnosti pořadu pro jednotlivé aplikace.

$$o_p = \sqrt{o_x^2 + o_y^2} \quad (5)$$

Po testování přesnosti s případně zadanou polohovou odchylkou se jednotlivé souř. odchylky rozpočtou mezi vrcholové body. V tomto případě úměrně délkám.

3.3.2. Nivelace

Byla použita metoda geometrické nivelace ze středu. U této metody [13] je předpoklad měření jednotlivých převýšení. To je dáno vztahem:

$$H_{AB} = H_B - H_A = l_A - l_B \quad (6)$$

Kde:

H_A (H_B) *výška bodu*
 l_A (l_B) *čtení na lati*

Po výpočtu všech převýšení byla přesnost pořadu testována mezní odchylkou převýšení na 1 km pořadu. Odchylka pořadu byla stanovena projektem stavby na:

$$\Delta_{max} = 10 * \sqrt{R} [mm] \quad (7)$$

Kde:

R *celková vzdálenost pořadu v km*

Ta se vypočte rozdílem změřeného převýšení oproti očekávaného převýšení. Po provedení testu přesnosti pořadu byly následně jednotlivá měřená převýšení vyrovnána také úměrně délkám vůči očekávanému převýšení.

3.3.3. Rajón a trigonometrická nivelace

Pro určení souřadnic bodů sekundární sítě byla použita metoda rajónu (polární metoda) [13]. Výpočet souřadnic polární metodou vypadá takto:

$$\begin{aligned} Y_A &= Y_B + d_{A-B} * \sin(\alpha_{A-B}) \\ X_A &= X_B + d_{A-B} * \cos(\alpha_{A-B}) \end{aligned} \quad (8)$$

Kde:

$Y; X$ *souřadnice bodů*
 d_{A-B} *redukovaná vzdálenost mezi body*
 α_{A-B} *směrník mezi stanoviskem a určovaným bodem*

Pro určení výšek takto určovaných bodů byla použita metoda trigonometrické nivelace [13] (někdy nazývaná jako TUVR). Základní vzorec pro výpočet převýšení určený trigonometricky (bez úvahy zakřivení Země a refrakce) vypadá takto:

$$H_B = H_A + v_p + s * \cos(z) - v_c \quad (9)$$

Kde:

$H_{A(B)}$ *nadmořská výška bodu v systému Bpv*
 $v_{p(c)}$ *výška přístroje (cíle)*
 s *šikmá délka*
 z *zenitový úhel*

3.3.4. Volné stanovisko

Volné stanovisko je v současné době jedním z nejpoužívanějších geodetických postupů vůbec. Má plnou řadu výhod. Například není nutné bod stabilizovat, potřeba měřit výšku stroje. Tím pádem odpadá chyba ze špatné centrace a výšky přístroje. Předpokladem je ovšem dostatečně husté bodové pole. ČÚZK pro své práce nařizuje katastrální vyhláškou 357/2013 Sb. v této úloze mezi dvěma orientacemi mít úhel od 30° do 170°. Doporučený počet orientací je minimálně tři.

Výpočet souřadnic volného stanoviska je dle rovnice [14]:

$$\begin{aligned} Y_P &= Y_A + a_1 * (Y'_P - Y'_A) + a_2 * (X'_P - X'_A) \\ X_P &= X_A + a_1 * (X'_P - X'_A) - a_2 * (Y'_P - Y'_A) \end{aligned} \quad (10)$$

Kde:

X'_P (Y'_P) Souřadnice stanoviska v místní soustavě
 X_P (Y_P) Souřadnice stanoviska ve vystupující soustavě (S – JTSK)
 X'_A (Y'_A) Souřadnice orientace v místní soustavě
 X_A (Y_A) Souřadnice ve vystupující soustavě (S – JTSK)
 X'_P (Y'_P) Souřadnice v místní soustavě
 a_1 (a_2) Transformační koeficienty

Transformační koeficienty se vypočítají takto:

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{\Delta x_{AB} * \Delta x'_{AB} + \Delta y_{AB} * \Delta y'_{AB}}{(\Delta x'_{AB})^2 + (\Delta y'_{AB})^2} \\ a_2 &= \frac{\Delta y_{AB} * \Delta x'_{AB} - \Delta x_{AB} * \Delta y'_{AB}}{(\Delta x'_{AB})^2 + (\Delta y'_{AB})^2} \end{aligned} \quad (11)$$

Kde:

$\Delta x'_{AB}$ ($\Delta y'_{AB}$) Souřadnicový rozdíl v místní soustavě
 Δx_{AB} (Δy_{AB}) Souřadnicový rozdíl ve vystupující soustavě (S – JTSK)

3.4. Vyrovnání geodetické sítě

Základní vztah pro vyrovnání geodetické sítě metodou MNČ vychází z podmínky tvořící maticový zápis [19]:

$$v^T * P * v = \min \quad (12)$$

Kde:

v matice oprav
 P matice vah

Geodetická síť se rozděluje podle způsobů fixace bodů v síti. Základní rozdělení sítí je následující:

- Vázaná síť (alespoň 2 fixované body)
- Volná síť (Žádný bod, nutné dodání podmínek)
- Modifikovaná volná síť (Bod a směrník, Helmertova transformace...)

Pro určování vyrovnaných souřadnic byla použita vázaná síť (z důvodu eliminace natáčení sítě jako celku). Základní vztah pro vyrovnání je takto:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + dx \\ v &= A * dx - l \end{aligned} \quad (13)$$

Kde:

x matice vyrovnaných souřadnic
 x_0 matice přibližných souřadnic
 dx matice přírůstků
 A matice plánu (derivací)
 l matice vyrovnaných měření

Pro provedení vyrovnání bylo nutné vypočítat velikosti jednotlivých přírůstků dx přibližných souřadnic. Maticový zápis vypadá takto:

$$dx = - (A^T * P * A)^{-1} * A^T * P * l \quad (14)$$

Kde:

Matici měření l tvoří jednotlivé úhly a délky. Matice byla získána rozdílem matice očekávaných hodnot (z přibližných souřadnic) od hodnot přímo měřených:

$$l = l_{vyp} - l_{mer} \quad (15)$$

Kde:

l_{vyp} očekávané hodnoty měření
 l_{mer} přímo měřené hodnoty měření

Následuje matice vah P zmíněná již v rovnici (12). Váhy byly počítány na základě přesností přístroje a velikostí určovaných veličin:

$$P = \frac{1}{(\sigma)^2} \quad (16)$$

Kde:

σ matice směrodatných odchylek měření

Matice plánu A obsahuje jednotlivé parciální derivace měření dle souřadnic viz schéma:

$$A = \begin{pmatrix} \frac{\partial l_1}{\partial X_1} & \frac{\partial l_1}{\partial Y_1} & \frac{\partial l_1}{\partial Z_1} & \frac{\partial l_1}{\partial X_2} & \dots & \frac{\partial l_1}{\partial X_n} & \frac{\partial l_1}{\partial Y_n} & \frac{\partial l_1}{\partial Z_n} & \frac{\partial l_1}{\partial o_1} & \dots & \frac{\partial l_1}{\partial o_n} \\ \frac{\partial l_2}{\partial X_1} & \frac{\partial l_2}{\partial Y_1} & \frac{\partial l_2}{\partial Z_1} & \frac{\partial l_2}{\partial Z_1} & \dots & \frac{\partial l_2}{\partial X_n} & \frac{\partial l_2}{\partial Y_n} & \frac{\partial l_2}{\partial Z_n} & \frac{\partial l_2}{\partial o_1} & \dots & \frac{\partial l_2}{\partial o_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial l_m}{\partial X_1} & \frac{\partial l_m}{\partial Y_1} & \frac{\partial l_m}{\partial Z_1} & \frac{\partial l_m}{\partial Z_1} & \dots & \frac{\partial l_m}{\partial X_n} & \frac{\partial l_m}{\partial Y_n} & \frac{\partial l_m}{\partial Z_n} & \frac{\partial l_m}{\partial o_1} & \dots & \frac{\partial l_m}{\partial o_n} \end{pmatrix} \quad (17)$$

Kde:

m celkový počet měření
 n celkový počet bodů sítě
 o_n orientační posun
 $X_n; Y_n; Z_n$ přibližné souřadnice
 l_n ... matice měření

Po provedení vyrovnání byla počítána aposteriorní směrodatná odchylka, která udává kvalitu samotného vyrovnání. Počítá se takto:

$$s_0 = \sqrt{\frac{v^T * P * v}{n - k}} \quad (18)$$

Kde:

n celkový počet měření
 k nutný počet měření

Finální výpočet kovarianční matice, kde na diagonále byly nalezeny kvadráty jednorozměrných směrodatných odchylek vyrovnaných souřadnic, je:

$$M_x = \sigma_0^2 (A^T * P * A)^{-1} \quad (19)$$

Kde:

σ_0 apriorní směrodatná odchylka

Z jednotlivých jednorozměrných směrodatných odchylek byly dále počítány pro další testování dvojrozměrné souřadnicové odchylky, kde vstupují jednotlivé směrodatné odchylky. Tímto způsobem je také definována požadovaná přesnost. Takovéto odchylky jsou dány vztahem:

$$\sigma_{x,y} = \sqrt{0,5 * (\sigma_x^2 + \sigma_y^2)} \quad (20)$$

Kde:

$\sigma_x^2 (\sigma_y^2)$ kvadráty jednorozměrných souřadnicových odchylek

4. Geodetické přístroje a pomůcky

Ke každému geodetickému měření je potřeba využít nějakých pomůcek. Pro tato měření bylo využito geodetických přístrojů od firmy Trimble, kterou zde v České republice zastupuje a distribuuje její přístroje společnost GEOTRONICS Praha, s.r.o. V této kapitole budou tedy představeny všechny použité přístroje s udávanými přesnostmi určení dané veličiny.

4.1. Totální stanice Trimble S5

Jako hlavní geodetický přístroj byla použita robotizovaná totální stanice Trimble S5 (Obr. 6). Přístroj se ovládá kontrolní jednotkou TSC3 s polním softwarem Trimble Access. Technický popis přístroje od dodavatele [7] uvádí přesnost měření úhlů (vodorovných i svislých) **0,3 mgon**. Délková přesnost ve standartním měření na hranol činí dle výrobce **1 mm + 2 ppm**.



Obr. 6 - Robotizovaná totální stanice [7]

4.2. GNSS Trimble R8s

Tento GNSS přijímač (Obr. 7) byl použit pro RTK měření s využitím sítě referenčních stanic VRS Now. Kromě signálu GPS přijímač využívá signál GLONASS. Přijímač pracuje se stejnou kontrolní jednotkou TSC3. Dle technického popisu [8] je přesnost v poloze pro síťové RTK **10 mm + 1 ppm RMS**. RMS [9] je odmocnina z průměru kvadrátu chyby, kde její velikost udávají vlivy jednotlivých atmosférických vrstev mezi přijímačem a družicí a odchylky hodin obou zmíněných zařízení.



Obr. 7 - GNSS aparatura [8]

4.3. Nivelační přístroj Trimble DiNi

Tento digitální nivelační přístroj (Obr. 8) umožňuje provádět nivelační práce s registrací dat. K odečtení výšky je potřeba 30 cm čárového kódu na latě. Zvětšení dalekohledu je 32x. Přesnost oboustranné nivelace na 1 km udávaná distributorem [7] je 0,3 mm.



Obr. 8 - Digitální nivelační přístroj [7]

4.4. Ostatní pomůcky

Jako další pomůcky byly používány stativy k přístrojům, karbonové výtyčky pro odrazný hranol k totální stanici či GNSS aparatuře. Dále byl použit stojánek k výtyčce s klipsem pro stabilnější horizontaci cíle. V neposlední řadě pak materiál ke stabilizaci bodů (Obr. 9), kladivo a ohraničovací páska k vyznačení ochranného pásma bodu.



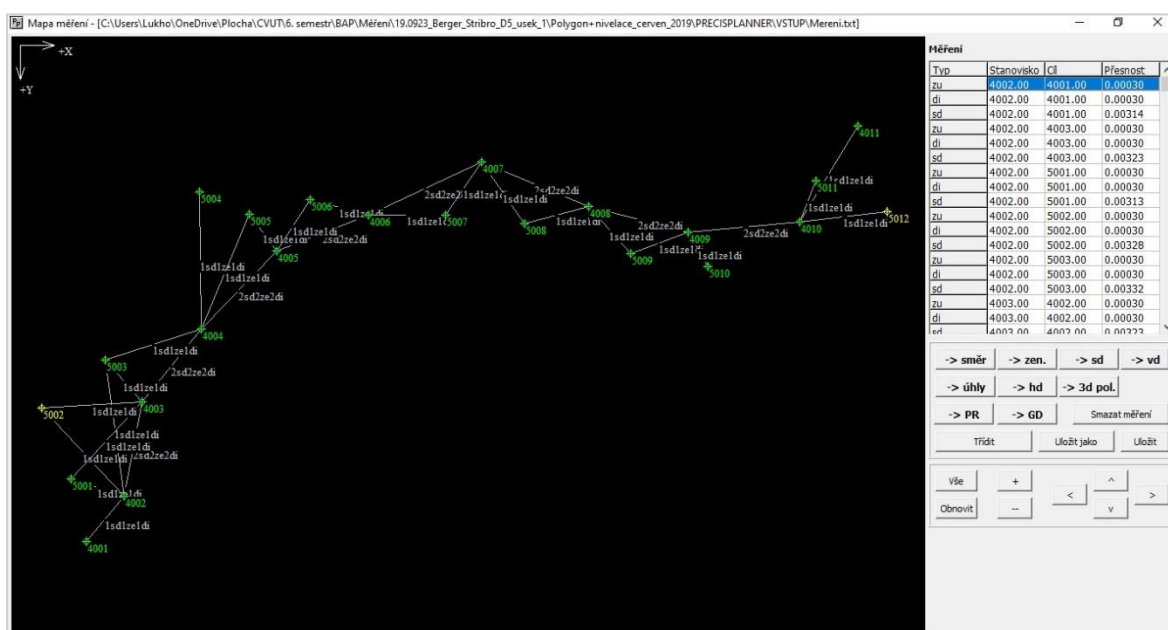
Obr. 9 - Stabilizační materiál [10]

5. Výpočetní softwarý

V současné době se již geodézie neobejde bez adekvátních softwarů, které dokáží během vteřiny provést dávkové výpočty. V této kapitole budou představeny tři použité programy. První pro výpočet rozborů přesnosti a dále dva pro vyrovnání geodetické sítě.

5.1. PrecisPlanner 3D

Tento software [11] od prof. Ing. Martina Štronera PhD. byl použit k plánování přesnosti na základě přibližných souřadnic definující konfiguraci měření a výběru měřených veličin včetně jejich přesností. Jako výsledek byly získány očekávané přesnosti daných souřadnic včetně kovarianční matice pro další výpočty. Vývoj tohoto programu není doposud ukončen. K vyzkoušení je k dispozici demo verze tohoto programu (Obr. 10), ovšem pro výpočet byla využita plná verze



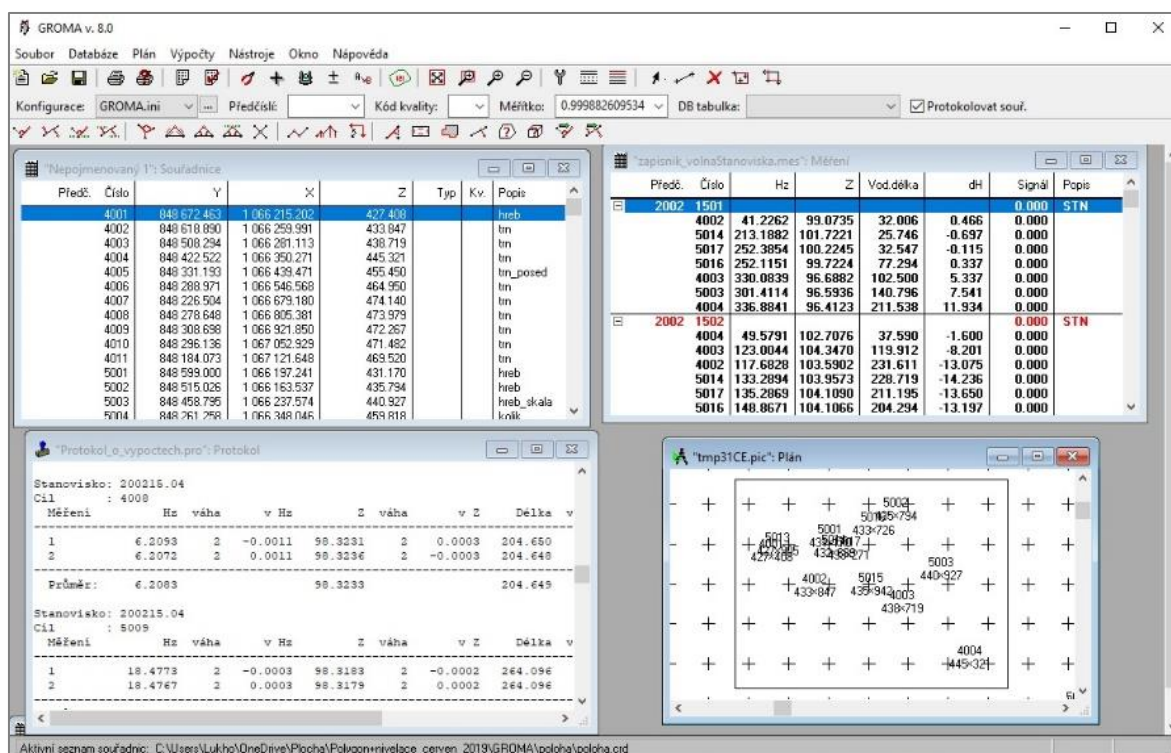
Obr. 10 - Ukázka prostředí SW PrecisPlanner 3D [11]

5.2. GROMA

Tento komerční geodetický software [15] je určen pro komplexní zpracování geodetických dat. Od čtení a zpracování záznamníků různých formátů (většina výrobců totálních stanic), výpočet souřadnic dávkou včetně zaprotokolování výpočtu, vytvoření jednoduché kresby a následné exporty. (textový soubor, tabulky .xls a .DXF soubory pro další zpracování v CAD softwarech)

Lze také nastavit tolerance při výpočtech, jak nastavenou uživatelem, tak také danou katastrální vyhláškou 357/2013 Sb.

Pracovní prostředí programu (Obr. 11) je koncipováno na více oken podle jednotlivých problematik (např. zázpisník, seznam souřadnic, schéma bodů...)



Obr. 11 - Ukázka prostředí SW GROMA [15]

Software mimo jiné obsahuje další nástroje například pro tvorbu geometrických plánů, výpočtů měřitek pomocí souřadnic bodu po důležité vyrovnání sítí pomocí MNČ atd...

Program umí vyrovnat geodetickou síť polohově i výškově. Tato vyrovnání probíhají odděleně. Načtení měřených dat lze z každého podporovaného zázpisníku. Přibližné souřadnice lze vypočítat během importu zázpisníku, popřípadě lze načíst již vypočítané souřadnice. Fixace jednotlivých přibližných souřadnic a následných variant připojení sítí je několik.

Nastavit lze i parametry sítě (směrodatné odchylky měřených veličin, apriorní směrodatná odchylka jednotková, váhy, porovnání etap atd.). Po vyrovnání lze uložit výpočetní protokol (zjednodušený nebo úplný). Lze také vytvořit kontrolní kresbu s elipsami chyb jednotlivých bodů sítě s následným exportem do DXF souboru nebo provést tisk.

5.3. EasyNET

Tato softwarová aplikace dle [16] slouží výhradně k vyrovnání geodetických sítí (Obr. 12). Data s měřením lze naimportovat ve formátu MAPA2 s příponou asc. Program automaticky po seřazení měření podle měřických skupin umí detekovat odlehlá měření (z hlediska měření ve 2 polohách ale i v rámci skupin).

EasyNET [project.pen]							
Stanovisko		Cíl			Měřené veličiny		
Pořadí	Číslo	Výška [m]	Číslo	Výška [m]	Vodorovný směr [gon]	Zenitový úhel [gon]	Šikmá délka [m]
1	1	1.7437	I 4	1.6177	56.35530	96.59230	78.4621
			I 3	1.5991	100.75190	101.85770	87.3692
			II 3	1.5991	300.77170	298.14280	87.3757
			II 4	1.6177	256.35460	303.40780	78.4583
			I 5	1.5213	0.00110	96.93930	48.9106
			I 4	1.6177	56.35470	-96.59220	78.4614
			I 3	1.5991	100.75170	101.85790	87.3710
			II 3	1.5991	300.75300	298.14170	87.3775
			II 4	1.6178	256.35420	303.40740	78.4577
			II 5	1.5213	200.00060	303.06040	49.0000
2	2	1.7210	I 1	1.6437	399.99850	98.76450	59.0164
			I 5	1.5213	31.15520	97.52080	92.3639
			II 5	-1.0000	231.15560	302.47940	0
			II 1	1.6437	199.99990	301.23600	59.0162
0 / 14		0	0	7	4	5	4

Obr. 12 - Ukázka prostředí softwaru EasyNET [16]

Další detekce odlehlých měření včetně jejich vyloučení probíhá díky naprogramovanému robustnímu vyrovnání geodetických měření (Huber, L_{1-2} normy atd.). Například Huberův robustní odhad [18] přerozdělování vah se řídí (Tab. 1)

Tab. 1 - Huberův robustní odhad

$w(\hat{v})$	velikost \hat{v}
1	$ \hat{v} \leq c$
$\frac{c}{ \hat{v} }$	$ \hat{v} > c$

Kde:

\hat{v} hodnota váhy
 c konstanta pro robustní změnu vah

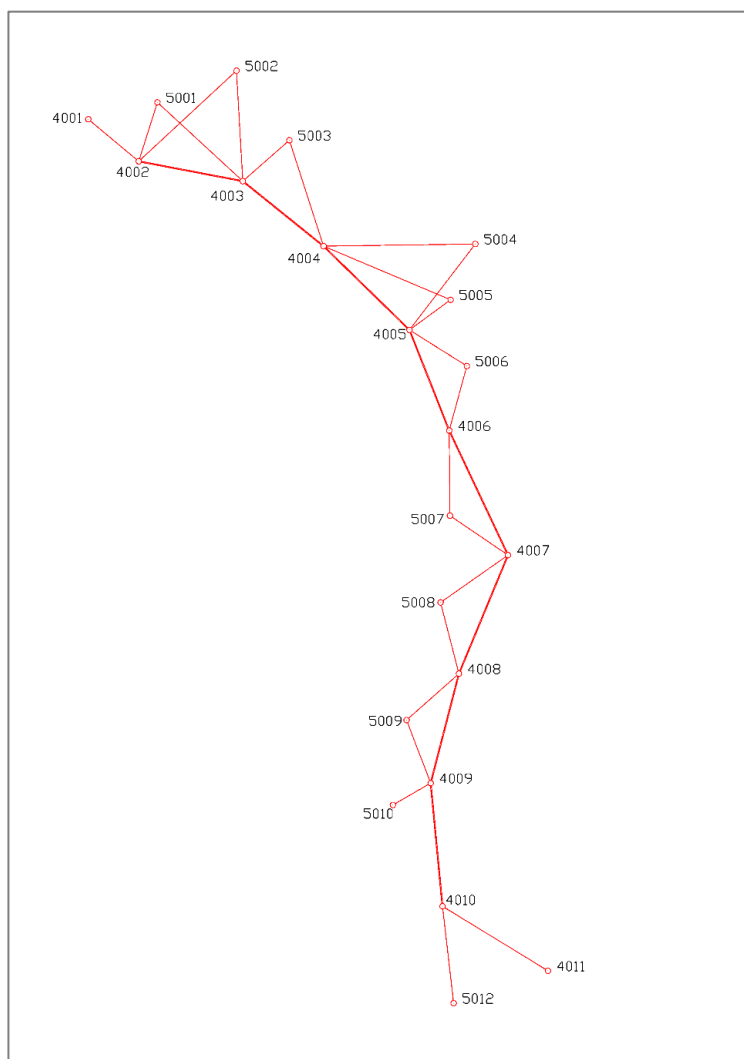
Vyrovnání zde probíhá prostorově (polohově i výškově najednou). Díky tomu zůstávají určité vazby měření oproti softwaru GROMA. Před vyrovnáním lze nastavit opět jednotlivé přesnosti měřených veličin přístroje. Po vyrovnání program vypíše jednotlivá měření, která byla detekována jako odlehlá a z vyrovnání byla následně vyřazena. Výpočetní protokol lze opět exportovat (zjednodušený i úplný).

6. Polygonový pořad + nivelace

V této kapitole bude rozebrán postup určení geodetické sítě metodou oboustranně připojeného i orientovaného polygonového pořadu s nivelací (pomocí klasického výpočtu i vyrovnáním). Polygonové pořady (PP) se užívají k určení souřadnic několika bodů, které leží mezi polohově, výškově či prostorově známými body. Měří se levostranné vodorovné úhly, zenitové úhly a šikmé délky. Nivelace je využívána k měření převýšení mezi danými body, kde jsou přímo měřena převýšení mezi nivelační latí a nivelačním přístrojem. Měření bylo provedeno v červnu roku 2019.

6.1. Rozvržení sítě

Jako vrcholové body polygonového pořadu byly zvoleny body primární sítě. Jako body připojovací pak body č. 4002 a 4010 (tyto dva body jsou zároveň ve vyrovnání jako fixní) a orientace č. 4001 a 4011. Souřadnice dalších bodů sítě (sekundární sítě body 5001 až 5012) byly určovány rajóny z vrcholových bodů polygonového pořadu. Schéma sítě je naznačeno na Obr. 13. Nivelovány byly vrcholové body pořadu, výšky bodů sekundární sítě byly určeny trigonometricky.



Obr. 13 - Schéma sítě určené polygonovým pořadem s nivelací

6.2. Rozbory přesnosti před měřením

Protože při plánovaném počtu měření je ruční výpočet rozborů přesnosti před měřením v podstatě nemožný, byl výpočet proveden v programu PrecisPlanner 3D.

Nejprve byly do programu naimportovány přibližné souřadnice sítě včetně bodů fixních a dále jednotlivá měření včetně jejich přesností. Dále byly přidány přesnosti přístroje, kde délková přesnost byla nastavena na $3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ a úhlová na $0,5 \text{ mgon}$. Přesnosti centrace přístroje a určení výšky přístroje nebyly uvažovány.

Po importu všech měření a přepočítání přesností dle vzorce (1) se přes kartu „Mapa měření“ provede vizuální kontrola. Po vizuální kontrole se poté, přes kartu „-Výpočet modelu-“, spustí samotný výpočet úlohy.

Vypočteny byly očekávané souřadnice, jejich směrodatné odchylky a poloměry poloos elipsoidů chyb. Na základě měření, které bylo realizováno ještě před zadáním této bakalářské práce bylo zpracovatelskou firmou přistoupeno k měření ve dvou polohách dalekohledu a jedné skupině, kde šikmá délka byla měřena v obou polohách. Před tímto měřením nebyly realizovány rozborů přesnosti a pro účel této práce byly dopočteny dodatečně. Při stanovení měření v této konfiguraci mají výsledky hodnoty, které jsou uvedeny v Tab. 2. Protokol o provedení rozborů přesnosti viz. Příloha 1. Očekávané hodnoty splňují požadovanou přesnost.

Tab. 2 - Očekávané přesnosti sítě určenou polygonovým pořadem

Č.b.	Očekávané souřadnice [m]			Směrodatné odchylky [mm]				Parametry elipsoidu chyb [mm]		
	Y	X	Z	σ_Y	σ_X	σ_{XY}	σ_Z	a	b	c
4001	848 672,4631	1 066 215,2020	427,4080	2,5	2,1	2,3	0,4	3,1	0,8	0,3
4002	848 618,8980	1 066 259,9830	433,8470	-	-	-	-	-	-	-
4003	848 508,2939	1 066 281,1129	438,7189	1,2	1,2	1,2	0,3	1,3	1,1	0,3
4004	848 422,5219	1 066 350,2710	445,3210	1,8	2,1	2,0	0,4	2,1	1,7	0,4
4005	848 331,1930	1 066 439,4711	455,4499	2,2	2,7	2,5	0,5	2,7	2,2	0,5
4006	848 288,9710	1 066 546,5681	464,9499	2,3	2,9	2,6	0,5	2,9	2,3	0,5
4007	848 226,5039	1 066 679,1800	474,1399	2,3	3,0	2,7	0,5	3,0	2,3	0,5
4008	848 278,6479	1 066 805,3810	473,9789	1,9	2,6	2,3	0,5	2,6	1,9	0,5
4009	848 308,6979	1 066 921,8500	472,2669	1,2	2,1	1,7	0,4	2,1	1,2	0,4
4010	848 296,1440	1 067 052,9290	471,4820	-	-	-	-	-	-	-
4011	848 184,0730	1 067 121,6480	469,5200	2,9	2,1	2,5	0,6	3,3	1,46	0,6
5001	848 598,9999	1 066 197,2409	431,1700	0,8	1,0	0,9	0,3	1,0	0,77	0,3
5002	848 515,0259	1 066 163,5371	435,7940	1,6	1,7	1,7	0,6	1,7	1,53	0,5
5003	848 458,7949	1 066 237,5739	440,9269	1,5	1,8	1,7	0,4	1,8	1,45	0,4
5004	848 261,2579	1 066 348,0460	459,8180	3,7	3,1	3,4	0,9	3,1	3,75	0,9
5005	848 287,4660	1 066 407,4100	456,5419	2,6	2,9	2,8	0,5	2,9	2,58	0,5
5006	848 270,2509	1 066 477,8921	461,9589	2,4	2,8	2,6	0,5	2,9	2,4	0,5
5007	848 288,2019	1 066 637,1630	470,0419	2,5	2,8	2,7	0,5	2,9	2,4	0,5
5008	848 298,1839	1 066 729,5860	473,2629	2,3	2,7	2,5	0,5	2,7	2,3	0,5
5009	848 334,3049	1 066 854,7581	475,5869	1,8	2,3	2,1	0,5	2,3	1,7	0,5
5010	848 348,7710	1 066 945,0969	473,4049	2,9	2,7	2,8	0,5	3,5	1,8	0,5
5011	848 247,8800	1 067 072,5780	472,2120	2,9	1,3	2,2	0,2	3,1	0,6	0,2
5012	848 284,2910	1 067 156,0989	472,6069	1,2	3,2	2,4	0,5	3,2	1,1	0,5

6.3. Postup měření a výpočet přibližných souřadnic

Nyní bude poreferováno o postupu určení přibližných souřadnic bodů vstupujících do vyrovnání. Nejprve bude popsán postup měření a výpočtu polygonového pořadu, poté metoda určení výšek vrcholových bodů polygonu nivelací a na závěr postup určení souřadnic ostatních bodů (sekundární sítě).

6.3.1. Určení souřadnic připojovacích bodů a orientací

Tyto body byly určeny metodou GNSS – RTK. Observace trvala přibližně 15 vteřin a byla opakována celkem 3 krát. První observace proběhla v dopoledních hodinách, druhá observace pak v odpoledních hodinách a poslední observace byla provedena následný den v dopoledních hodinách. Souřadnicové rozdíly (d_x , d_y , d_z) v jednotlivých observacích se pohybují od jednotek mm do 3 cm. Jelikož přesnost měření metodou GNSS – RTK je v poloze cca. 3 cm a výšky touto metodou nebyly uvažovány vzhledem k použití výšek z Výškového bodového pole ČÚZK, bylo přistoupeno k aritmetickým průměrům souřadnic (Tab. 3) jednotlivých observací. Protokol měření GNSS (viz. Příloha 3).

Tab. 3 - Jednotlivé observace měření GNSS – RTK

Obs.	Y [m]	X [m]	Z [m]	d_y [m]	d_x [m]	d_z [m]
1.	848 672,461	1 066 215,185	427,381	-0,004	0,026	-0,022
2.	848 672,476	1 066 215,216	427,366	-0,019	-0,005	-0,007
3.	848 672,453	1 066 215,206	427,352	0,004	0,005	0,007
4001	848 672,463	1 066 215,202	427,366			
1.	848 618,898	1 066 260,006	433,816	0,000	-0,023	-0,003
2.	848 618,898	1 066 259,976	433,809	0,000	0,007	0,003
3.	848 618,875	1 066 259,990	433,795	0,023	-0,007	0,017
4002	848 618,890	1 066 259,991	433,807			
1.	848 296,145	1 067 052,922	471,452	-0,001	0,007	0,005
2.	848 296,119	1 067 052,930	471,461	0,025	-0,001	-0,005
3.	848 296,144	1 067 052,934	471,393	0,000	-0,005	0,064
4010	848 296,136	1 067 052,929	471,435			
1.	848 184,072	1 067 121,638	469,504	-0,005	0,004	-0,004
2.	848 184,084	1 067 121,658	469,502	-0,017	-0,016	-0,002
3.	848 184,062	1 067 121,648	469,493	0,005	-0,006	0,007
4011	848 184,073	1 067 121,648	469,500			

6.3.2. Měření a výpočet polygonového pořadu

V našem případě byl použit PP oboustranně připojený i orientovaný s délkou strany cca. 120 m s účelem následného využití bodů pro vytyčování dopravní stavby.

Přístroj byl horizontován a centrován postupně na bodech 4002 až 4010. Měřeno bylo ve 2 polohách dalekohledu a jedné skupině. Měřené veličiny byly vodorovné směry, zenitové úhly a šikmé délky. Na každém stanovisku byl měřen zpětný bod pořadu, následující bod pořadu a body sekundární sítě. (Například na bodě 4002 bylo cíleno na 4001, 4003 a dále pak na 5001,5002.). Kompletní zápisník měření je uveden v Příloha 4. Zpracování zápisníku (redukce délek, zpracování měření ve dvou polohách atd. bylo provedeno v programu GROMA).

Celkový výpočet byl proveden v programu GROMA, kde bylo dosaženo těchto odchylek definujících přesnost polygonového pořadu: (Tab. 4):

Tab. 4 - Odchylky polygonového pořadu

Parametr	Hodnota
Úhlový uzávěr	0,0041 ⁹
Souřadnicový uzávěr – osa x	-0,083 m
Souřadnicový uzávěr – osa y	-0,057 m
Polohový uzávěr	0,101 m

Vypočítané souřadnice z polygonového pořadu jsou obsaženy v (Tab. 5). Protokol o výpočtech viz: Příloha 5

Tab. 5 - Souřadnice vrcholových bodů

Č. b.	Y [m]	X [m]
4003	848 508,294	1 066 281,113
4004	848 422,522	1 066 350,271
4005	848 331,193	1 066 439,471
4006	848 289,971	1 066 546,568
4007	848 226,505	1 066 679,180
4008	848 278,648	1 066 805,382
4009	848 308,698	1 066 921,850

6.3.3. Měření a výpočet nivelace

Nivelační pořad byl započat na bodě Hab-6. Byla použita metoda geometrické nivelace ze středu. Pořadem byly určovány jednotlivá převýšení mezi body primární sítě postupně od bodu 4010 až po bod 4001. Nivelační pořad byl následně ukončen na bodě AH- 57.1. Tento bod se nachází na značce 0,3 m nad zemí nevětrálé rostlé skály a je součástí nivelačního pořadu AH Pizeň-Bor.

Z (Tab. 6) jsou patrné přesnosti nivelace, které byly dosaženy.

Tab. 6 - Přesnost nivelace

Parametr	Hodnota
Suma délek vpřed	638,076 m
Suma délek vzad	638,179 m
Poměr délek vpřed/vzad	0,95
Suma délek bočně	26,601 m
Odchylka pořadu Δ_{niv}	-0,0108 m
Maximální odchylka (7) Δ_{max}	0,0114 m
$ \Delta_{niv} < \Delta_{max}$	Splněno

Lze konstatovat, že nivelace splňuje mezní odchylku a výšky bodů primární sítě byly tedy následně vyrovnány úměrně délkám. Kompletní nivelační zápisník včetně výpočtů je v Příloha 6. Z geometrické nivelace byly získány výšky uvedené v Tab. 7.

Tab. 7 - Výšky bodů určené nivelací

Č. b.	H	Způsob určení
4001	427,401	Bod určený bočně
4002	433,847	Přestavový bod
4003	438,719	Přestavový bod
4004	445,321	Přestavový bod
4005	455,450	Přestavový bod
4006	464,950	Bod určený bočně
4007	474,140	Přestavový bod
4008	473,979	Přestavový bod
4009	472,267	Přestavový bod
4010	471,482	Přestavový bod

6.3.4. Postup určení souřadnic bodů sekundární sítě

Souřadnice zbývajících bodů byly určeny rajóny (polární metodou) [13]. Všechny měřené délky byly současně s měřením polygonového pořadu přepočítány ze šikmé na vodorovnou s redukcemi do nulové hladiny horizontu a do S-JTSK v programu GROMA. Jako výchozí přesnosti pro tuto úlohu byly stanoveny mezní hodnoty definující bývalou 2. třídu přesnosti, kde základní střední chyba bodu bodového pole je 4 cm.

Z trigonometrické nivelace [13] byly určeny výšky bodů sekundární sítě včetně bodu číslo 4011, který nebyl určen pomocí geometrické nivelace. V tomto případě nebyla délka větší než 200 m. Nebylo tedy nutné uvažovat vliv ze zakřivení Země a z refrakce.

Na body sekundární sítě bylo většinou cíleno ze 2 stanovisek. Pro potřeby využití bodů v podobě přibližných souřadnic bylo využito aritmetického průměru souřadnic. Maximální polohová odchylka byla 23 mm. Všechny hodnoty jsou součástí protokolu o výpočtech v Příloha 5. Vypočítané souřadnice jsou v Tab. 8.

Tab. 8 - Souřadnice určené polární metodou a TUVR

Č. bodu	Y [m]	X [m]	Z [m]
4011			469,521
5001	848 599,000	1 066 197,241	431,169
5002	848 515,026	1 066 163,537	435,789
5003	848 458,794	1 066 237,575	440,922
5004	848 261,262	1 066 348,052	459,815
5005	848 287,468	1 066 407,416	456,528
5006	848 270,251	1 066 477,892	461,954
5007	848 288,202	1 066 637,163	470,035
5008	848 298,185	1 066 729,586	473,260
5009	848 334,304	1 066 854,758	475,585
5010	848 348,772	1 066 945,097	473,402
5011	848 247,880	1 067 072,578	472,214
5012	848 284,291	1 067 156,099	472,605

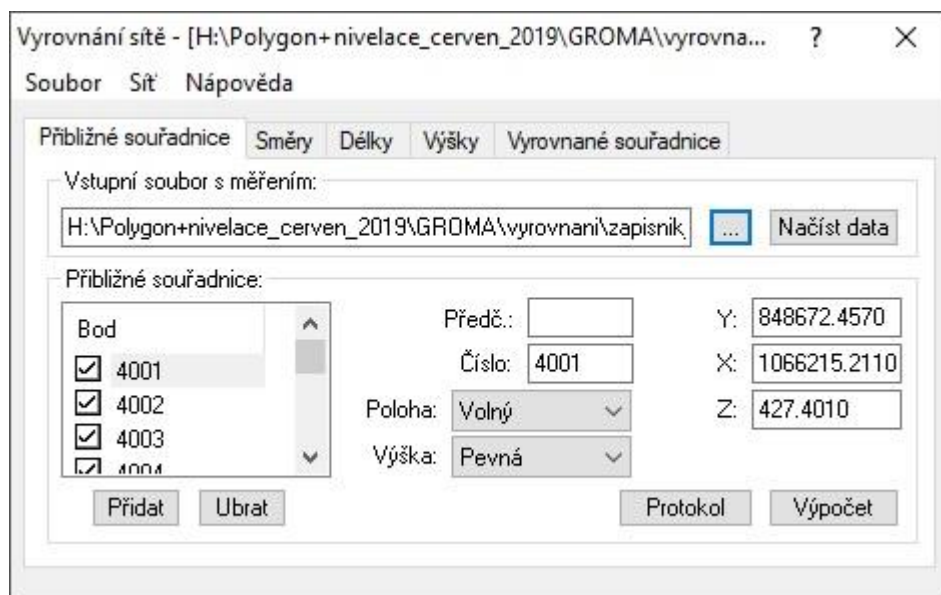
6.4. Vyrovnání geodetické sítě

Nyní budou popsány vyrovnání v programech GROMA a EasyNET. Hodnoty přibližných souřadnic pro výpočet vyrovnání byly převzaty z kap. 6.3.

6.4.1. Vyrovnání pomocí programu GROMA

Před výpočtem bylo provedeno kompletní zpracování zápisníku. Pro správné vyrovnání bylo nutné opravit měření ve dvou polohách dalekohledu, refrakce, indexové chyby, redukce na spojnici stabilizačních značek a další. Aplikace *Vyrovnání sítě* byla spuštěna v programu přes kartu *Nástroje*. Po načtení dat se otevřelo dialogové okno (Obr. 14). Zde byly nastaveny jednotlivé parametry sítě. Pevné body byly přiřazeny dle rozvržení sítě. Pevné výšky byly nastaveny na všechny nivelované body. Ostatní hodnoty, které jsou nastaveny na „volné“ byly vyrovnány. Nastaveny byly také parametry přístroje přes: *Sít/Parametry sítě*

Během výpočtů byla zjištěna chyba z nesvislosti výtyčky. Proto bylo přistoupeno k nastavení přesnosti přístroje při měření délky na $3\text{ mm} + 2\text{ ppm}$ a chyba měření směru byla nastavena na 3 mgon .



Obr. 14 - Dialogové okno pro vyrovnání sítě [15]

Parametry polohové sítě a výškové sítě jsou uvedeny v Tab. 9 a Tab. 10, kde definují vstupující souřadnice, počet souřadnic fixovaných a počty jednotlivých měření. Menší počet délek je z důvodu předchozího zpracování protisměrných měření.

Tab. 9 - Parametry polohové sítě GROMA

Parametr	Hodnota
Počet bodů v síti	23
Počet fixovaných bodů	2
Počet stanovisek	9
Počet měřených délek	31
Počet měřených směrů	39
Způsob připojení sítě	Vázaná síť

Tab. 10 - Parametry výškové sítě GROMA

Parametr	Hodnota
Počet bodů v síti	23
Počet fixovaných bodů	10
Počet stanovisek	9
Počet určovaných převýšení	31
Způsob připojení sítě	Vázaná síť

Po uskutečnění výpočtu byly získány údaje (Tab. 11, Tab. 12) o průměrných směrodatných odchylkách měření, počtu nadbytečných měření, aposteriorní směrodatné odchylce a průměrné směrodatné odchylce souřadnicové s_{XY} , která je vypočtena jako aritmetický průměr z jednotlivých souřadnicových odchylek dle vzorce (20). Výsledná dosažená průměrná souřadnicová odchylka odpovídá předepsané požadované odchylce, která se rovná hodnotě 10 mm. Z výsledků je dále patrná vyšší směrodatná odchylka u měřených délek. Dosažená průměrná směrodatná odchylka výšky je také menší než požadovaná přesnost, která činí 5 mm.

Tab. 11 - Zpráva o polohovém vyrovnání GROMA

Parametr	Hodnota
Průměrná sm. odch délky	3,26 mm
Průměrná sm. odch směru	2,31 mgon
Počet nadbytečných měření	19
Apriorní sm. odch jednotková	10,00
Aposteriorní sm. odch jednotková	9,06
Poměr: Apriorní/Aposteriorní	1,10
Průměrná souřadnicová. sm. odch.	6,90 mm

Tab. 12 - Zpráva o výškovém vyrovnání GROMA

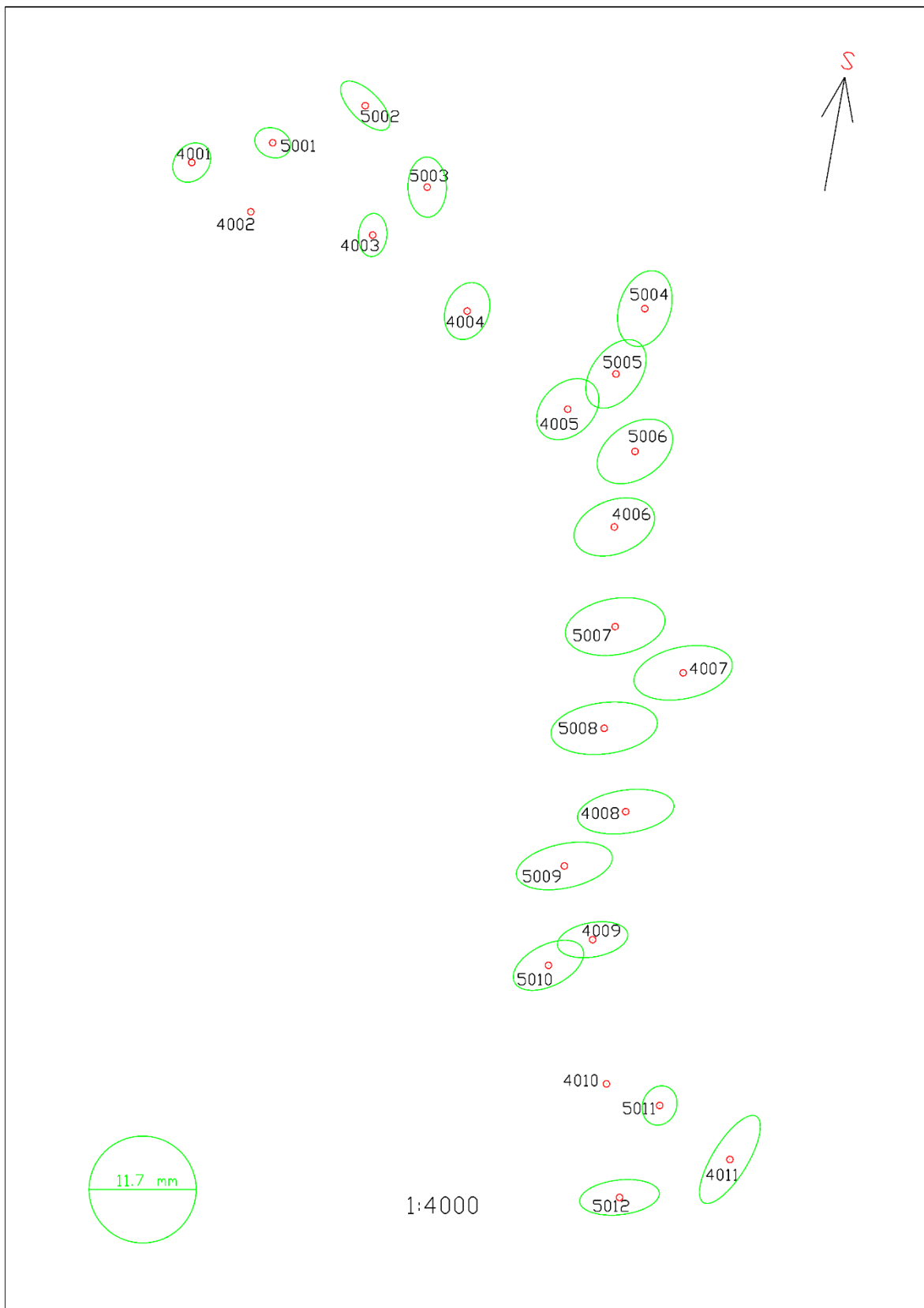
Parametr	Hodnota
Průměrná sm. odch převýšení	2,54 mm
Počet nadbytečných měření	18
Apriorní sm. odch jednotková	10,00
Aposteriorní sm. odch jednotková	13,17
Poměr: Apriorní / Aposteriorní	0,76
Průměrná souřadnicová. sm. odch.	3,15 mm

Vyrovnáním byly dosaženy vyrovnané souřadnice a jejich směrodatné odchylky. Body bez směrodatných odchylek jsou body fixní. Na základě jednotlivých souřadnicových směrodatných odchylek je zřejmé, že požadované přesnosti σ_{XY} a σ_Z byly dodrženy. Přesnost výšek je také dodržena až jeden případ. Odchylka bodu 4011 se nebezpečně přibližuje požadované odchylce, protože směrodatná odchylka dosažená je menší oproti odchylce požadované o 0,2 mm. Tato odchylka je pravděpodobně způsobena nízkým počtem nadbytečných měření, protože na bod bylo cíleno pouze z jednoho stanoviště.

Tab. 13 - Vyrovnané souřadnice určené polygonovým pořadem v SW GROMA

Číslo bodu	Vyrovnané souřadnice [m]			Směrodatné odchylky [mm]			
	Y	X	Z	σ_Y	σ_X	σ_{XY}	σ_Z
4001	848 672,4898	1 066 215,1953	427,4010	4,2	4,3	4,2	-
4002	848 618,8980	1 066 259,9830	433,8470	-	-	-	-
4003	848 508,3181	1 066 281,0848	438,7190	3,1	4,8	4,0	-
4004	848 422,5484	1 066 350,2321	445,3210	5,0	6,3	5,7	-
4005	848 331,2243	1 066 439,4295	455,4500	6,8	6,7	6,8	-
4006	848 288,9974	1 066 546,5262	464,9500	8,8	6,4	7,7	-
4007	848 226,5306	1 066 679,1468	474,1400	10,8	6,0	8,7	-
4008	848 278,6735	1 066 805,3643	473,9790	10,6	4,9	8,3	-
4009	848 308,7151	1 066 921,8423	472,2670	7,7	4,0	6,1	-
4010	848 296,1440	1 067 052,9290	471,4820	-	-	-	-
4011	848 184,0720	1 067 121,6391	469,5248	6,7	9,7	8,3	4,8
5001	848 599,0265	1 066 197,2266	431,1716	3,9	3,3	3,6	2,7
5002	848 515,0566	1 066 163,5107	435,7927	5,4	5,4	5,4	3,3
5003	848 458,8249	1 066 237,5392	440,9245	4,2	6,6	5,5	2,7
5004	848 261,2910	1 066 348,0062	459,8189	6,0	8,3	7,3	3,4
5005	848 287,4961	1 066 407,3701	456,5358	6,6	7,5	7,1	2,7
5006	848 270,2802	1 066 477,8496	461,9566	8,3	7,1	7,7	2,5
5007	848 288,2286	1 066 637,1254	470,0386	10,1	6,4	8,9	2,7
5008	848 298,2124	1 066 729,5616	473,2627	11,7	5,8	9,2	2,7
5009	848 334,3265	1 066 854,7483	475,5871	10,5	5,2	8,3	2,5
5010	848 348,7872	1 066 945,0919	473,4031	7,7	5,5	6,7	2,8
5011	848 247,8869	1 067 072,5742	472,2143	3,8	4,3	4,1	3,0
5012	848 284,2911	1 067 156,0980	472,6082	8,7	3,9	6,8	4,3

Jako další výstup byl vytvořen výkres bodů s elipsami chyb (Obr. 15). Lze pozorovat, že pokud bylo měřeno na bod pouze jednou nebo z podobného směru, elipsa chyb je poté více zploštělá. Ideální stav je, aby elipsa chyb co nejvíce aproximovala tvar kružnice. Detailní protokol o vyrovnaní je součástí Příloha 9.



Obr. 15 - Elipsy chyb geodetické sítě určené polygonovým pořadem

6.4.2. Vyrovnání pomocí programu EasyNET

Program akceptuje měřický zápisník ve formátu MAPA2, přípona souboru je formát asc. Struktura měření musí být stejná, jako měření ve skupinách, tedy postupné měření v první poloze dalekohledu ve směru hodinových ručiček a ve druhé poloze proti směru hodinových ručiček (např. 4001¹,4002¹,4003¹,4003²,4002²,4001²). Jelikož nebylo takto v terénu měřeno, musela být provedena v programu editace pořadí měření. Program automaticky detekuje měření, která jsou podezřelá či chybná z pohledu měření ve 2 polohách dalekohledu a z pohledu měřických skupin. Jako testovací kritérium byl nastaven rozdíl v úhlech na **10 mgon** a délkách na **20 mm**. Jako podezřelý byl detekován jeden rozdíl polohy dalekohledu. Z důvodu nízkého počtu nadbytečných měření bylo měření do celkového vyrovnání ponecháno. Jak program detekuje tyto chyby, je naznačeno v (Obr. 12).

Při pokusu vypočítat vyrovnání s definovanými přesnostmi danými výrobcem, výpočet zhavaroval. Díky funkci *vnější přesnost* byla potvrzena chyba z nesvislosti výtyčky hranolu a chybné rektifikace libely, a proto byla přesnost měření šikmé délky určena experimentálně a stanovena na **3.7 mm**. Přesnost měření směru a zenitového úhlu také nevyhovovala apriorním předpokladům a byla stanovena na **3 mgon**. Navíc musela být přenastavena apriorní přesnost u jedné záměry (délka z bodu 4006 na 5006). Robustní vyrovnání tuto záměru vylučovalo, avšak délka byla pro určení bodu 5006 s požadovanou přesností nezbytná z důvodu nízkého počtu nadbytečných měření. Přesto program některá měření vyloučil. (viz. Obr. 16) Na obrázku je dále vidět počet nadbytečných měření, metoda robustního odhadu a další informace o vyrovnání sítě.

Základní informace o vyrovnání sítě			
<u>Vyloučení odlehlých hodnot</u>		<u>Vyrovnání sítě</u>	
Metoda robustního odhadu:	Huber	Apriorní jednotková směrodatná odchylka:	1.000
Hladina významnosti:	0.05	Aposteriorní jednotková směrodatná odchylka:	0.878
Počet vyloučených odlehlých hodnot:	6/117 [0.051]	Počet fixních bodů:	2
Vodorovný směr:	2/39 [0.051]	Počet vyrovnaných bodů:	21
Zenitový úhel:	4/39 [0.103]	Počet vyrovnaných orientačních posunů:	9
Šikmá délka:	0/39 [0.000]	Počet vyrovnaných měření:	111
Šikmá délka (doplňk):	-	Vodorovný směr:	37
Směrník:	-	Zenitový úhel:	35
Převýšení:	-	Šikmá délka:	39
Svislé provažování:	-	Šikmá délka (doplňk):	0
		Směrník:	0
		Převýšení:	0
		Svislé provažování (X + Y):	0 (0)
		Počet nadbytečných měření:	39

Obr. 16 - Informace o vyrovnání sítě určené polygonovým pořadem

Následně byl exportován protokol o vyrovnání (Příloha 10) a dxf soubor s elipsami chyb sítě. Průměrné směrodatné odchylky, mají následující hodnoty (viz. Tab. 14).

Tab. 14 - Zpráva o vyrovnání sítě SW EasyNET

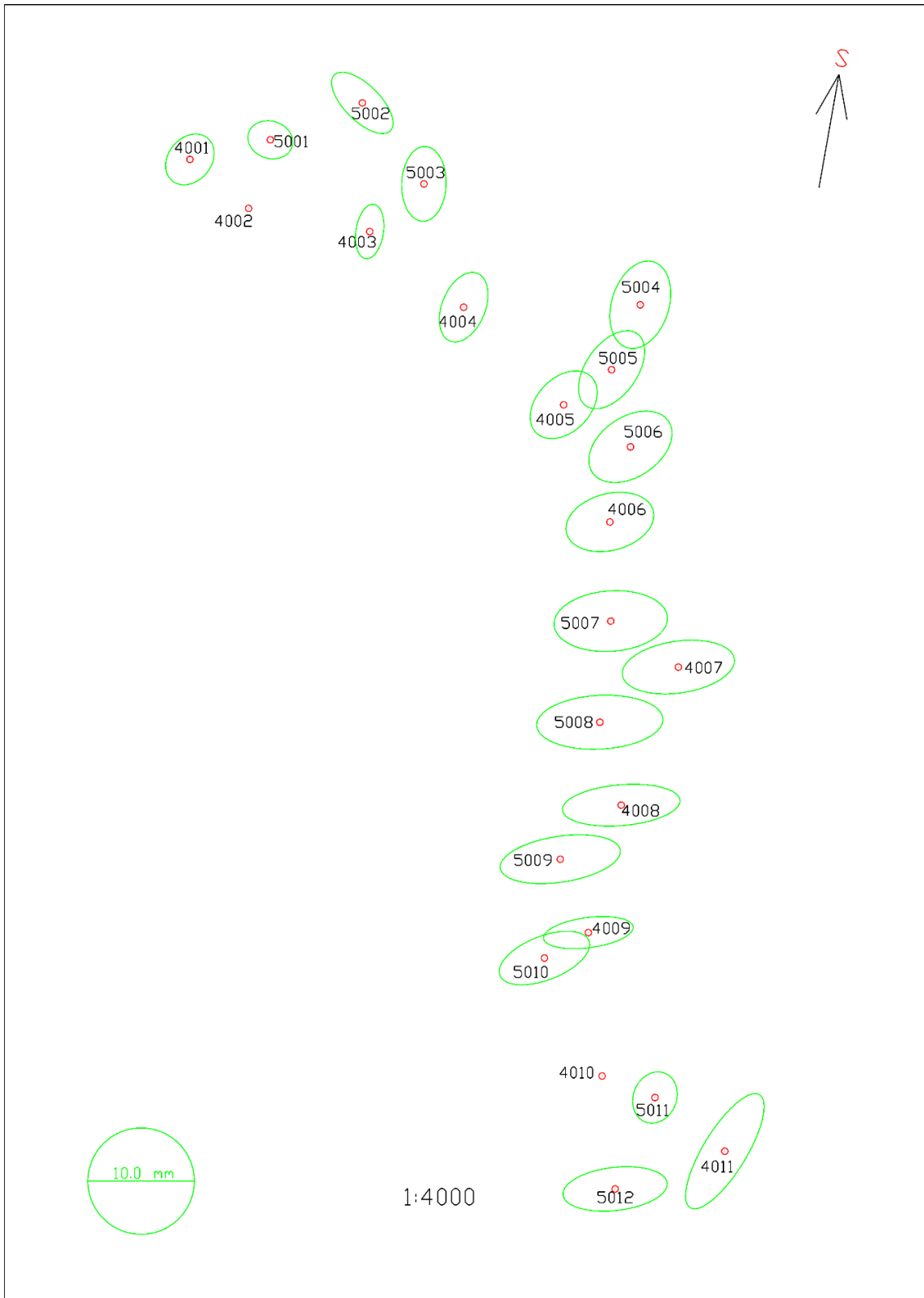
Parametr	Hodnota
Průměrná sm. odch směru	2,22 mgon
Průměrná sm. odch zenitového úhlu	2,11 mgon
Průměrná sm. odch šikmé délky	2,50 mm
Poměr: Apriorní / Aposteriorní	1,14
Průměrná sm. odch souřadnicová	5,56 mm
Průměrná sm. odch výšek	4,11 mm

Programem byly vypočítány vyrovnané souřadnice (Tab. 15). Dále pak směrodatné odchylky v jednotlivých souřadnicích. Směrodatné odchylky souřadnicové odpovídají požadovaným přesnostem. V několika případech se jednotlivé souřadnicové směrodatné odchylky nebezpečně přibližují mezní požadované přesnosti. Výpočet výrazně ovlivnil nízký počet nadbytečných měření. Pokud je počet nadbytečných měření nízký, každé vyloučené měření zhoršuje kvalitu vyrovnávaného bodu. Dále jsou oproti GROMĚ viditelné o něco horší výsledky zejména u výšek. EasyNET vypočetl 4 výšky, které přesáhly požadovanou odchylku výšky 5 mm. Maximální odchylka oproti požadované činí 0,5 mm u bodu 5004. Další body jsou 4011, 5005 a 5006. Bod 5007 má směrodatnou odchylku shodnou s požadovanou, tedy 5 mm.

Tab. 15 - Vyrovnané souřadnice určené polygonovým pořadem v SW EasyNET

Číslo bodu	Vyrovnané souřadnice [m]			Směrodatné odchylky [mm]			
	Y	X	Z	σ_Y	σ_X	σ_{XY}	σ_Z
4001	848 672,4841	1 066 215,2056	427,4005	3,7	3,9	3,8	2,9
4002	848 618,8900	1 066 259,9910	433,8470	-	-	-	-
4003	848 508,3081	1 066 281,0877	438,7204	2,2	4,3	3,4	2,6
4004	848 422,5348	1 066 350,2309	445,3245	3,7	5,4	4,6	3,6
4005	848 331,2115	1 066 439,4276	455,4519	5,1	5,2	5,2	4,7
4006	848 288,9880	1 066 546,5278	464,9625	6,8	4,5	5,8	4,8
4007	848 226,5236	1 066 679,1478	474,1420	8,7	4,1	6,8	4,6
4008	848 278,6658	1 066 805,3636	473,9780	9,2	3,2	6,9	4,1
4009	848 308,7071	1 066 921,8423	472,2667	7,0	2,4	5,2	3,5
4010	848 296,1360	1 067 052,9290	471,4820	-	-	-	-
4011	848 184,0643	1 067 121,6390	469,5212	6,1	9,1	7,7	5,4
5001	848 599,0210	1 066 197,2337	431,1693	3,5	2,9	3,2	2,5
5002	848 515,0528	1 066 163,5136	435,7900	4,8	4,7	4,8	4,1
5003	848 458,8170	1 066 237,5395	440,9246	3,4	5,8	4,8	3,5
5004	848 261,2788	1 066 348,0018	459,8187	4,6	6,7	5,7	5,5
5005	848 287,4827	1 066 407,3667	456,5415	5,1	6,0	5,6	5,2
5006	848 270,2721	1 066 477,8558	461,9621	6,4	5,4	5,9	5,1
5007	848 288,2212	1 066 637,1267	470,0427	8,8	4,7	7,1	5,0
5008	848 298,2057	1 066 729,5616	473,2608	9,8	4,1	7,5	4,7
5009	848 334,3182	1 066 854,7480	475,5843	9,4	3,7	7,1	4,2
5010	848 348,7790	1 066 945,0918	473,4014	7,1	4,1	5,8	4,0
5011	848 247,8790	1 067 072,5742	472,2135	3,4	4,0	3,7	2,2
5012	848 284,2832	1 067 156,0977	472,6055	8,2	3,4	6,3	4,3

Programem byly také exportovány elipsy chyb sítě. (viz. Obr. 17). Elipsy chyb z EasyNETu jsou v tomto případě podobné těm z GROMY. Detailní protokol o vyrovnání sítě programem EasyNET je součástí: Příloha 10



Obr. 17 - Elipsy chyb geodetické sítě určené polygonovým pořadem

6.5. Rozbory přesnosti po měření

V porovnání očekávaných výsledků rozbory přesnosti před měřením programem PrecisPlanner 3D a dosažených vyrovnaných výsledků programy GROMA a EasyNET (Tab. 16) lze sledovat vyšší směrodatné odchylky u dosažených hodnot. Vyšší čísla směrodatných odchylek přibližně jsou o 2 až 4 mm. Tyto rozdíly lze přisuzovat chybě z nesvislosti výtyčky hranolu, neuvážení přesnosti centrace přístroje a určení výšky přístroje do rozborů přesnosti před měřením a v neposlední řadě neideální rektifikace krabicové libely na výtyčce. Dále mohou výsledky ovlivňovat atmosférické vlivy a refrakce.

Porovnání dosažených výsledků jednotlivými softwary ukazuje vyšší přesnost programu EasyNET. Rozdíl mezi jednotlivými směrodatnými odchylkami dosaženými vykazují hodnotu 1 až 2 mm.

Tab. 16 - Tabulka rozborů po měření sítě určené polygonovým pořadem

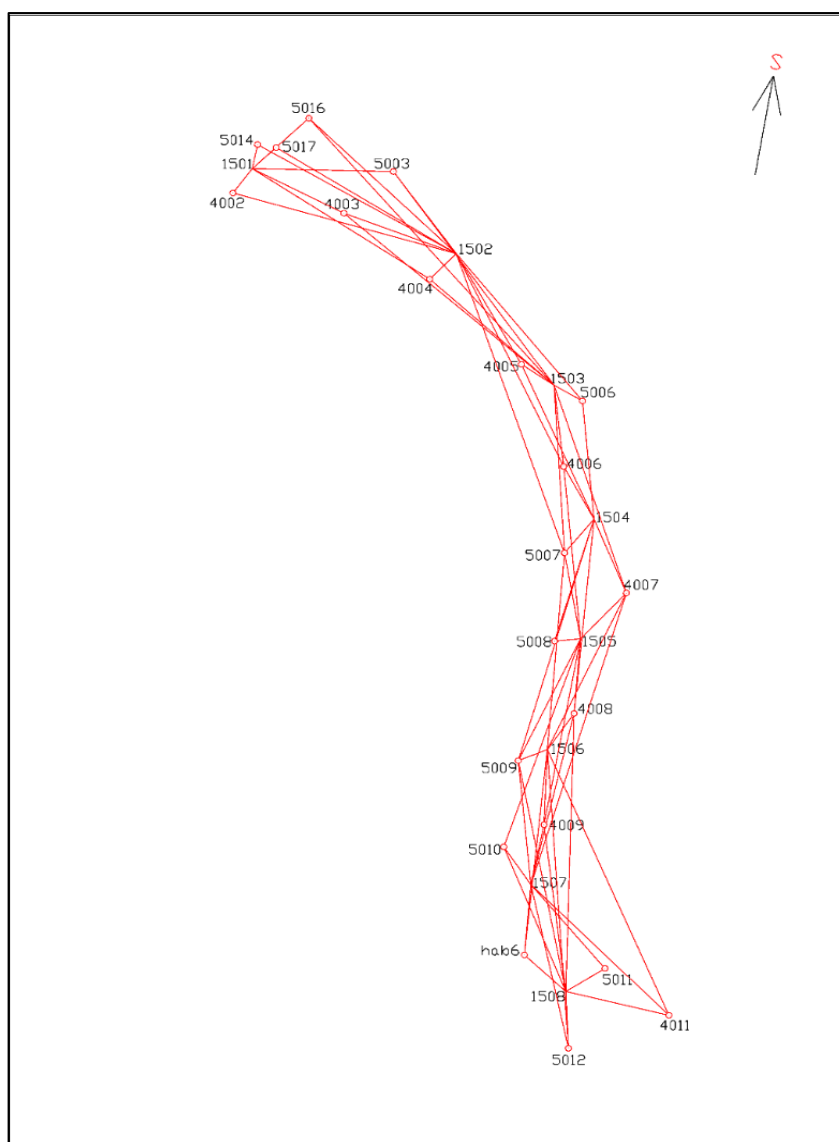
Č.b.	Očekávané sm. odch. [mm]				Dosažené směrodatné odchylky [mm]							
	PrecisPlanner 3D				GROMA				EasyNET			
	σ_Y	σ_X	σ_{XY}	σ_Z	σ_Y	σ_X	σ_{XY}	σ_Z	σ_Y	σ_X	σ_{XY}	σ_Z
4001	2,5	2,1	2,3	0,4	4,2	4,3	4,2	-	3,7	3,9	3,8	2,9
4002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4003	1,2	1,2	1,2	0,3	3,1	4,8	4,0	-	2,2	4,3	3,4	2,6
4004	1,8	2,1	2,0	0,4	5,0	6,3	5,7	-	3,7	5,4	4,6	3,6
4005	2,2	2,7	2,5	0,5	6,8	6,7	6,8	-	5,1	5,2	5,2	4,7
4006	2,3	2,9	2,6	0,5	8,8	6,4	7,7	-	6,8	4,5	5,8	4,8
4007	2,3	3,0	2,7	0,5	10,8	6,0	8,7	-	8,7	4,1	6,8	4,6
4008	1,9	2,6	2,3	0,5	10,6	4,9	8,3	-	9,2	3,2	6,9	4,1
4009	1,2	2,1	1,7	0,4	7,7	4,0	6,1	-	7,0	2,4	5,2	3,5
4010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4011	2,9	2,1	2,5	0,6	6,7	9,7	8,3	4,8	6,1	9,1	7,7	5,4
5001	0,8	1,0	0,9	0,3	3,9	3,3	3,6	2,7	3,5	2,9	3,2	2,5
5002	1,6	1,7	1,7	0,6	5,4	5,4	5,4	3,3	4,8	4,7	4,8	4,1
5003	1,5	1,8	1,7	0,4	4,2	6,6	5,5	2,7	3,4	5,8	4,8	3,5
5004	3,7	3,1	3,4	0,9	6,0	8,3	7,3	3,4	4,6	6,7	5,7	5,5
5005	2,6	2,9	2,8	0,5	6,6	7,5	7,1	2,7	5,1	6,0	5,6	5,2
5006	2,4	2,8	2,6	0,5	8,3	7,1	7,7	2,5	6,4	5,4	5,9	5,1
5007	2,5	2,8	2,7	0,5	10,1	6,4	8,9	2,7	8,8	4,7	7,1	5,0
5008	2,3	2,7	2,5	0,5	11,7	5,8	9,2	2,7	9,8	4,1	7,5	4,7
5009	1,8	2,3	2,1	0,5	10,5	5,2	8,3	2,5	9,4	3,7	7,1	4,2
5010	2,9	2,7	2,8	0,5	7,7	5,5	6,7	2,8	7,1	4,1	5,8	4,0
5011	2,9	1,3	2,2	0,2	3,8	4,3	4,1	3,0	3,4	4,0	3,7	2,2
5012	1,2	3,2	2,4	0,5	8,7	3,9	6,8	4,3	8,2	3,4	6,3	4,3

7. Metoda volných stanovisek

V této kapitole bude rozebrán postup určení geodetické sítě metodou volných stanovisek. Struktura kapitoly bude stejná, jako kapitola předchozí.

7.1. Rozvržení sítě

Rozvržení sítě je obdobné jako v případě polygonového pořadu. Některé body byly bohužel zničeny stavbou. Místo nich byly vytvořeny nové body na vybudovaných propustcích. Zničeny byly body 4001, 4010, 5001, 5002, 5004, 5005. Nové body byly hab6, 5014, 5016, 5017. Volná stanoviska byla číslována od čísla 1501. Jako fixované body byly zvoleny body 5016 a 5012. Detailní schéma sítě je naznačeno v (Obr. 18). Měření bylo realizováno v únoru roku 2020.



Obr. 18 - Schéma sítě určené metodou volných stanovisek

7.2. Rozbory přesnosti před měřením

V programu PrecisPlanner 3D byly vypočteny očekávané souřadnice, směrodatné odchylky a poloosy elips chyb. Rozborem před měřením při stanovené směrodatné odchylce měřeného úhlu definované výrobcem, požadované přesnosti a nejdelší délky bylo vypočteno, že nutný počet skupin je roven jedné. Po zhodnocení výsledků z předešlé metody, kde se některé směrodatné odchylky nebezpečně přibližovaly požadovaným hodnotám a některé směrodatné odchylky výšek požadovanou hodnotu dokonce překročily, bylo přistoupeno (rozhodnutí vedoucího práce) k přidání jedné skupiny, což při měření pomocí robotické totální stanice přináší pouze malé zdržení. Měření tedy bylo realizováno ve dvou polohách dalekohledu, dvou skupinách a čtyřikrát měřené šikmé délky. Jako vstupující přesnosti přístroje byly ponechány jako v předchozí metodě. Směrodatné odchylky přístroje byly stanoveny na $0,5 \text{ mgon}$ a $3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$. Očekávané hodnoty jsou v Tab. 17. Díky navýšení počtu nadbytečných měření a přidáním jedné skupiny měření úhlů lze pozorovat vyšší kvalitu určení sítě metodou volných stanovisek než polygonovým pořadem. Dále jsou uvedeny hodnoty jednotlivých volných stanovisek, které nebyly fyzicky stabilizovány.

Tab. 17 - Očekávané přesnosti sítě určenou metodou volných stanovisek

Č.b.	Očekávané souřadnice [m]			Směrodatné odchylky [mm]				Parametry elipsoidu chyb [mm]		
	Y	X	Z	σ_Y	σ_X	σ_{XY}	σ_Z	a	b	c
1501	848 599,5799	1 066 234,4718	433,3850	1,0	0,6	0,8	0,2	1,1	0,5	0,2
1502	848 396,1199	1 066 323,5040	446,9210	0,8	0,8	0,8	0,3	0,9	0,8	0,3
1503	848 298,5690	1 066 461,5130	458,5049	1,1	1,1	1,1	0,3	1,1	1,1	0,3
1504	848 258,7351	1 066 601,7260	468,5780	1,2	1,3	1,3	0,3	1,3	1,1	0,3
1505	848 272,1711	1 066 727,1260	473,4109	1,2	1,2	1,2	0,3	1,3	1,1	0,3
1506	848 305,2961	1 066 843,1999	474,1869	1,1	1,0	1,1	0,2	1,2	0,9	0,2
1507	848 321,6910	1 066 984,6951	473,3089	1,2	0,7	1,0	0,2	1,2	0,7	0,2
1508	848 286,8700	1 067 096,6310	472,6389	1,2	0,3	0,9	0,2	1,2	0,3	0,2
4002	848 618,8899	1 066 259,9908	433,8470	0,9	0,9	0,9	0,2	1,0	0,7	0,2
4003	848 508,2940	1 066 281,1128	438,7190	0,9	1,5	1,2	0,3	1,7	0,6	0,3
4004	848 422,5219	1 066 350,2709	445,3210	0,8	0,9	0,9	0,2	1,0	0,8	0,2
4005	848 331,1930	1 066 439,4709	455,4499	1,0	1,3	1,2	0,3	1,3	1,0	0,3
4006	848 288,9710	1 066 546,5681	464,9500	1,3	1,3	1,3	0,3	1,3	1,2	0,3
4007	848 226,5041	1 066 679,1800	474,1400	1,1	1,3	1,2	0,3	1,4	1,1	0,2
4008	848 278,6482	1 066 805,3811	473,9789	1,2	1,1	1,2	0,2	1,3	1,0	0,2
4009	848 308,6981	1 066 921,8499	472,2669	1,4	0,8	1,1	0,2	1,4	0,8	0,2
4011	848 184,0730	1 067 121,6479	469,5199	1,2	1,0	1,1	0,3	1,4	0,7	0,3
5003	848 458,7949	1 066 237,5740	440,9270	0,8	0,8	0,8	0,3	0,9	0,6	0,3
5006	848 270,2510	1 066 477,8920	461,9589	1,1	1,3	1,2	0,3	1,3	1,1	0,3
5007	848 288,2021	1 066 637,1629	470,0420	1,2	1,3	1,3	0,2	1,5	1,1	0,2
5008	848 298,1841	1 066 729,5860	473,2629	1,2	1,3	1,3	0,2	1,4	1,1	0,2
5009	848 334,3051	1 066 854,7580	475,5870	1,1	1,0	1,1	0,2	1,2	1,0	0,2
5010	848 348,7710	1 066 945,0971	473,4049	1,2	0,8	1,0	0,2	1,2	0,8	0,2
5011	848 247,8801	1 067 072,5780	472,2119	1,1	0,6	0,9	0,2	1,1	0,6	0,2
5012	848 284,2910	1 067 156,0990	472,6070	-	-	-	-	-	-	-
5014	848 594,2929	1 066 209,2829	432,6890	1,1	0,6	0,9	0,2	1,1	0,6	0,2
5016	848 543,1490	1 066 181,6440	433,7260	-	-	-	-	-	-	-
5017	848 575,7109	1 066 212,3379	433,2710	0,7	0,7	0,7	0,2	0,9	0,4	0,2
Hab6	848 328,2640	1 067 058,3340	471,8709	1,2	0,5	0,9	0,2	1,2	0,5	0,2

7.3. Postup měření a výpočet přibližných souřadnic

Přístroj byl horizontován přibližně uprostřed šíře komunikace. Následně bylo cíleno na všechny viditelné body sítě ve dvou polohách dalekohledu a dvou skupinách. Ke stabilizaci výtyčky s odrazným hranolem (Obr. 19) byl využit klips. Po zaměření všech bodů sítě byl přístroj přesunut o přibližně 150 m dál po trase nově budované silnice a opět bylo měřeno na všechny viditelné body sítě. Celá síť byla takto zaměřena z celkem 8 volných stanovišek. Zápisník z měření je součástí: Příloha 7.



Obr. 19 - Z měření volných stanovišek

Měření metody volných stanovišek probíhalo se zaregistrovanými souřadnicemi v totální stanici. (vypočítané souřadnice z PP). Během měření byla kontrolována přesnost určení volného stanoviška. Opravy v poloze vůči orientaci se pohybovaly v jednotkách milimetrů, lokálně až 2 cm. Ve výšce se opravy pohybovaly do 10 mm. Tyto odchylky jsou vzhledem k přibližným souřadnicím z polygonového pořadu, které nebyly ještě vyrovnány, akceptovatelné a nebylo proto využito testování opakovaných měření.

Programem GROMA byly vypočteny souřadnice volných stanovišek na bázi transformace (kap. 3.3.4). Nejprve proběhl import zápisníku a jeho kompletní zpracování. Posléze z naměřených polárních dat proběhl dávkový výpočet souřadnic pravoúhlých v tzv. místní soustavě souřadnic, souřadnice orientací pak udávají výslednou soustavu (často S-JTSK). Výsledky byly opět testovány mezními hodnotami definující bývalou 2. třídu přesnosti. Výpočetní protokol je součástí Příloha 8. Souřadnice volných stanovišek (viz. Tab. 18)

Tab. 18 - Souřadnice volných stanovišek

Č. bodu	Y [m]	X [m]	Z [m]
1501	848 599,5783	1 066 234,4674	433,3870
1502	848 396,1333	1 066 323,4848	446,9232
1503	848 298,5840	1 066 461,4844	458,5097
1504	848 258,7469	1 066 601,6960	468,5813
1505	848 272,1788	1 066 727,1017	473,4130
1506	848 305,3004	1 066 843,1844	474,1844
1507	848 321,6949	1 066 984,6877	473,3014
1508	848 286,8677	1 067 096,6316	472,6346

7.4. Vyrovnání geodetické sítě

Vyrovnání probíhalo stejným způsobem, jako u polygonového pořadu. Nejprve budou vypsány výsledky vypočtené z programu GROMA, v další kapitole pak z programu EasyNET.

7.4.1. Vyrovnání pomocí programu GROMA

Přesnosti přístroje byly ponechány obdobné hodnoty jako v předešlém případě, protože byla použita stejná výtyčka během měření. Pro vzdálenost $4 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ a přesnost směru je $1,5 \text{ mgon}$. Fixní body v poloze jsou 5016 a 5012. Ve výšce jsou fixní body 4002 a nivelační bod Hab6. Parametry polohové a výškové sítě jsou následující: Tab. 19, Tab. 20

Tab. 19 - Parametry polohové sítě

Parametr	Hodnota
Počet bodů v síti	29
Počet fixních bodů	2
Počet stanovisek	9
Počet měřených délek	69
Počet měřených směrů	69
Způsob připojení sítě	Vázaná síť

Tab. 20 - Parametry výškové sítě

Parametr	Hodnota
Počet bodů v síti	29
Počet fixovaných bodů	2
Počet stanovisek	9
Počet určovaných převýšení	69
Způsob připojení sítě	Vázaná síť

Po uskutečnění výpočtu byly získány údaje (Tab. 21, Tab. 22) o průměrných směrodatných odchylkách měření, počtu nadbytečných měření, aposteriorní směrodatné odchylce a průměrné směrodatné odchylce souřadnicové pro polohové a výškové vyrovnání. Ve výsledcích polohového vyrovnání je patrný efekt zvýšení počtu měření a skupin, díky kterému byla dosažena vyšší přesnost než v případě polygonového pořadu. U průměrné souřadnicové směrodatné odchylky zpřesnění činí 2,5 mm, u výšky 0,9 mm.

Tab. 21 - Zpráva o polohovém vyrovnání

Parametr	Hodnota
Průměrná sm. odch délky	3,04 mm
Průměrná sm. odch směru	0,91 mgon
Počet nadbytečných měření	76
Apriorní sm. odch jednotková	7,07
Aposterioerní sm. odch jednotková	7,48
Poměr: Apriorní / Aposteriorní	0,95
Průměrná souřadnicová. sm. odch.	3,88 mm

Tab. 22 - Zpráva o výškovém vyrovnání

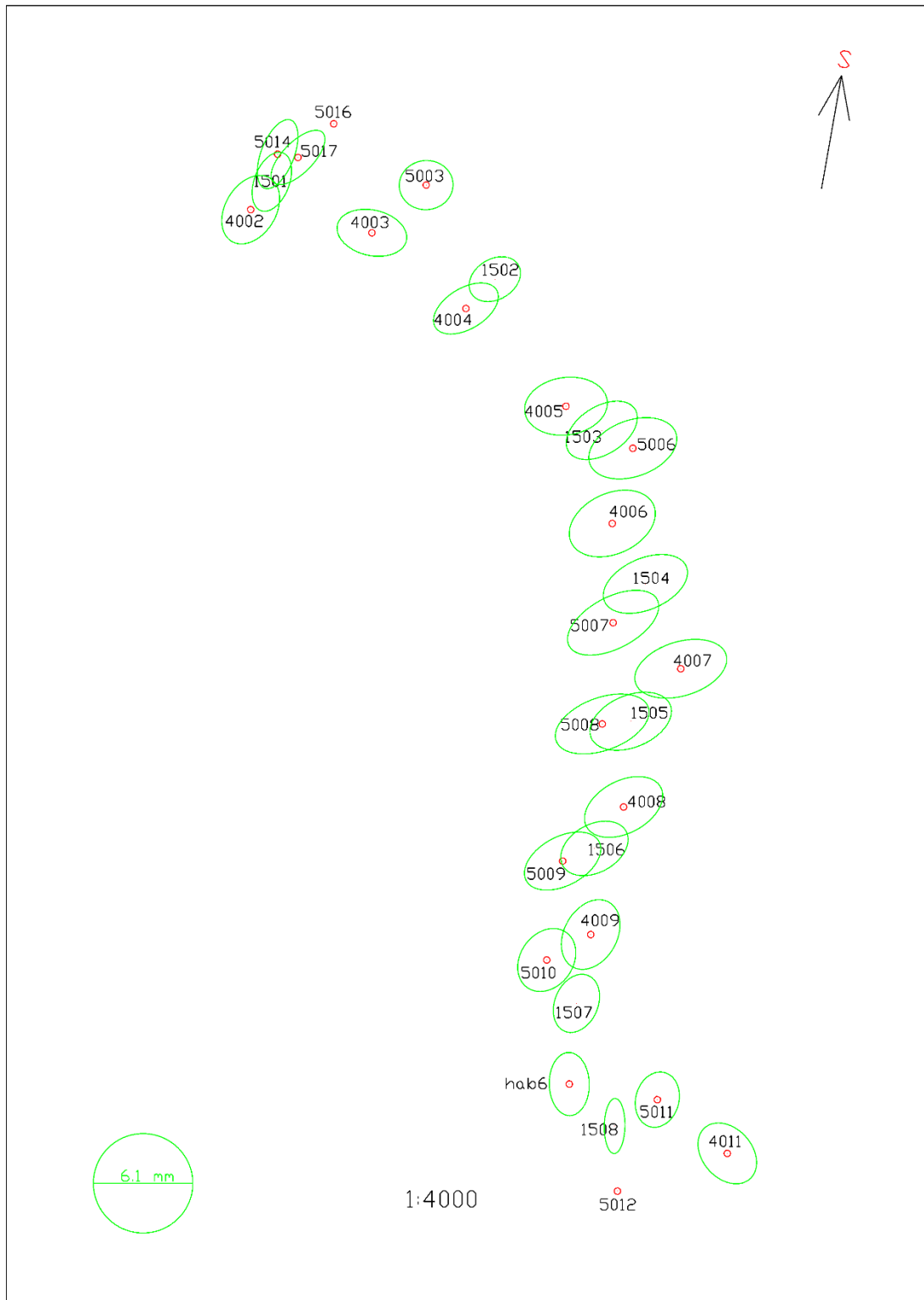
Parametr	Hodnota
Průměrná sm. odch. měř. převýšení	2,29 mm
Počet nadbytečných měření	42
Apriorní sm. odch jednotková	10,00
Aposteriorní sm. odch jednotková	11,02
Poměr: Apriorní / Aposteriorní	0,91
Průměrná souřadnicová. sm. odch.	2,53 mm

Výsledné souřadnice jsou obsaženy v Tab. 23. Obsaženy jsou také souřadnice volných stanovišek z důvodu kontroly jejich přesností. Při pohledu na jednotlivé směrodatné odchylky souřadnic je vyšší přesnost výraznější. Maximální směrodatná odchylka v polohových souřadnicích je 5,6 mm. U výšek je nejvyšší směrodatná odchylka 3,1 mm. Požadované přesnosti byly s jistotou splněny.

Tab. 23 - Vyrovnané souřadnice určené metodou volných stanovišek v SW GROMA

Číslo bodu	Vyrovnané souřadnice [m]			Směrodatné odchylky [mm]			
	Y	X	Z	σ_Y	σ_X	σ_{XY}	σ_Z
1501	848 599,5790	1 066 234,4732	433,3837	2,4	3,6	3,1	1,7
1502	848 396,1338	1 066 323,4847	446,9217	3,1	2,7	3,0	2,2
1503	848 298,5831	1 066 461,4818	458,5098	4,3	3,6	4,0	2,4
1504	848 258,7443	1 066 601,6953	468,5829	5,1	3,6	4,4	2,4
1505	848 272,1759	1 066 727,1030	473,4151	5,0	3,6	4,3	2,3
1506	848 305,2998	1 066 843,1848	474,1874	4,1	3,3	3,7	2,1
1507	848 321,6933	1 066 984,6905	473,3059	2,8	3,6	3,2	1,9
1508	848 286,8673	1 067 096,6306	472,6400	1,3	3,4	2,6	1,9
4002	848 618,8754	1 066 259,9990	433,8470	3,5	4,2	3,9	-
4003	848 508,3018	1 066 281,1009	438,7220	4,3	2,9	3,6	2,9
4004	848 422,5316	1 066 350,2386	445,3221	4,0	3,1	3,6	2,7
4005	848 331,2120	1 066 439,4404	455,4517	5,1	3,6	4,4	2,8
4006	848 288,9828	1 066 546,5316	464,9512	5,3	4,1	4,7	2,7
4007	848 226,5095	1 066 679,1499	474,1393	5,6	3,6	4,7	2,6
4008	848 278,6578	1 066 805,3656	473,9790	4,8	3,7	4,3	2,4
4009	848 308,6985	1 066 921,8456	472,2641	3,6	4,3	3,9	2,5
4011	848 184,0638	1 067 121,6444	469,5270	3,6	3,7	3,7	3,1
5003	848 458,8183	1 066 237,5560	440,9269	3,3	3,0	3,2	3,0
5006	848 270,2686	1 066 477,8547	461,9671	5,4	3,8	4,6	2,7
5007	848 288,2098	1 066 637,1212	470,0491	5,6	4,0	4,8	2,6
5008	848 298,1915	1 066 729,5704	473,2676	5,7	3,7	4,8	2,8
5009	848 334,3082	1 066 854,7499	475,5875	4,7	3,6	4,2	2,4
5010	848 348,7692	1 066 945,0912	473,3985	3,6	3,9	3,7	2,4
5011	848 247,8881	1 067 072,5854	472,2132	2,7	3,4	3,1	2,7
5012	848 284,2910	1 067 156,0990	472,6123	-	-	-	2,8
5014	848 594,2915	1 066 209,2803	432,6874	2,5	4,2	3,5	2,4
5016	848 543,1490	1 066 181,6440	433,7238	-	-	-	2,9
5017	848 575,7270	1 066 212,3326	433,2697	3,3	3,3	3,3	2,5
hab6	848 328,2538	1 067 058,3306	471,8710	2,5	3,9	3,2	-

Následné elipsy chyb (Obr. 20) ukazují, že při větším počtu měření z různých pozic již nejsou tak zploštělé. To znamená, že chyba byla „rozprostřena rovnoměrněji v prostoru“. Součástí Příloha 11 je výpočetní protokol o průběhu vyrovnání.



Obr. 20 - Elipsy chyb sítě určené metodou volných stanovišek

7.4.2. Vyrovnání pomocí programu EasyNET

Mezní odchylky pro měření byly nastavovány stejně jako v předchozí metodě experimentálně. Mezní směrodatná odchylka měřené délky byla stanovena na 5,5 mm opět z důvodu nesvislosti výtyčky. Měřenému směru byla stanovena 1,5 mgon a zenitovému úhlu na hodnotu 1 mgon. Síť má tyto parametry: (Obr. 21)

Základní informace o vyrovnání sítě			
Vyloučení odlehlých hodnot		Vyrovnání sítě	
Metoda robustního odhadu:	Huber	Apriorní jednotková směrodatná odchylka:	1.000
Hladina významnosti:	0.05	Aposteriorní jednotková směrodatná odchylka:	0.744
Počet vyloučených odlehlých hodnot:	21/417 [0.050]	Počet fixních bodů:	2
Vodorovný směr:	9/139 [0.065]	Počet vyrovnaných bodů:	27
Zenitový úhel:	5/139 [0.036]	Počet vyrovnaných orientačních posunů:	8
Šikmá délka:	7/139 [0.050]	Počet vyrovnaných měření:	396
Šikmá délka (doplňek):	-	Vodorovný směr:	130
Směrník:	-	Zenitový úhel:	134
Převýšení:	-	Šikmá délka:	132
Svislé provažování:	-	Šikmá délka (doplňek):	0
		Směrník:	0
		Převýšení:	0
		Svislé provažování (X + Y):	0 (0)
		Počet nadbytečných měření:	307

Obr. 21 - Informace o vyrovnání sítě určené metodou volných stanovisek

Zde můžeme pozorovat výrazně vyšší celkový počet nadbytečných měření, protože EasyNET pracuje i s druhými polohami a skupinami. Oproti první metodě zde můžeme sledovat výsledné přesnější směrodatné odchylky. Průměrné hodnoty jsou uvedeny v (Tab. 24). V porovnání s GROMOU vykazuje vyrovnání z EasyNETu kvalitnější směrodatné odchylky za cenu horšího poměru mezi apriorní a aposteriorní odchylkou. Nižší aposteriorní odchylka značí podcenění apriorních přesností přístroje, avšak při snížení odchylek EasyNET následně vyloučil příliš mnoho měření. Proto bylo přistoupeno k „symbióze“ mezi počtem vyloučených měření a aposteriorní směrodatnou odchylkou jednotkovou.

Tab. 24 - Zpráva o vyrovnání sítě SW EasyNET

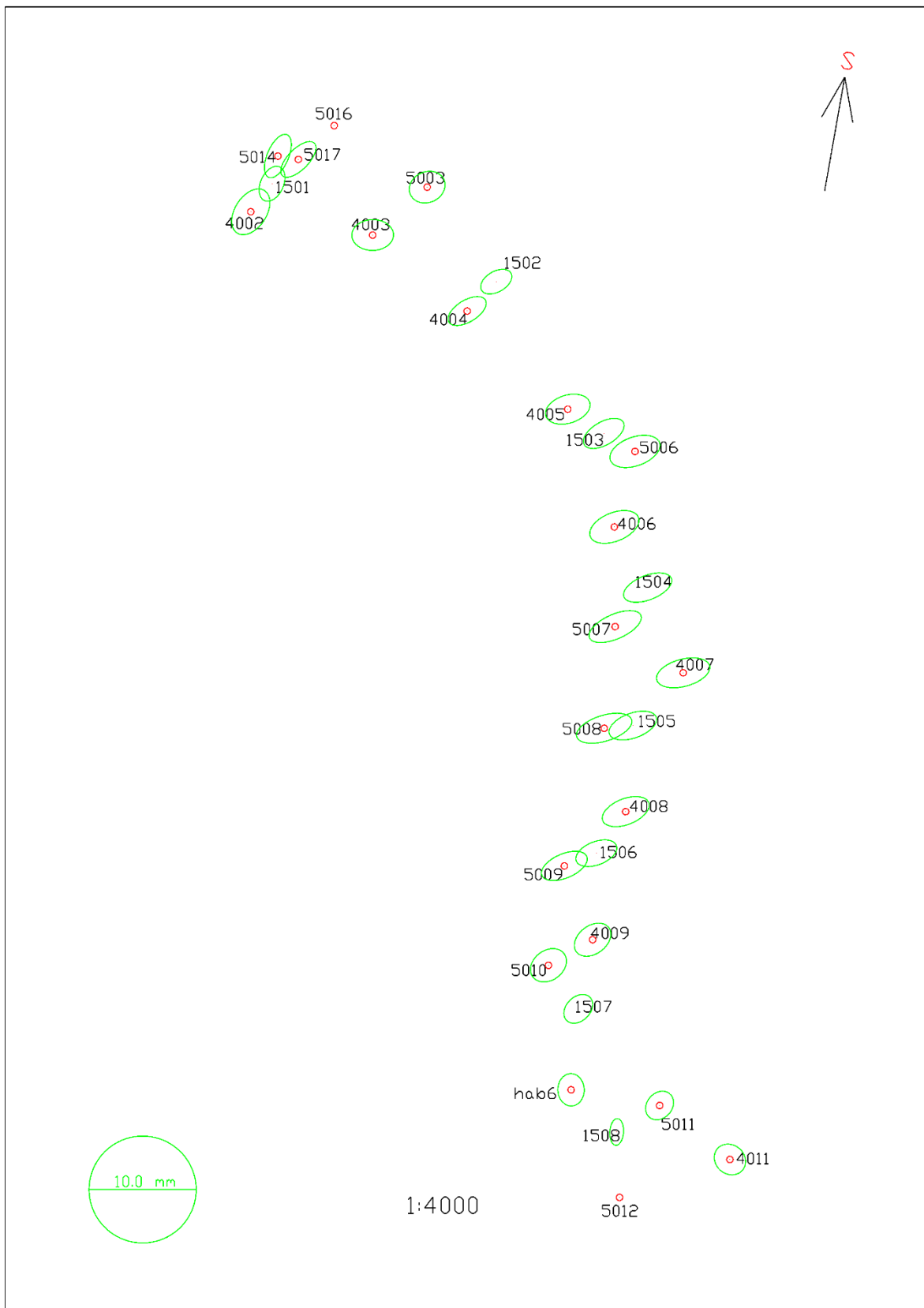
Parametr	Hodnota
Průměrná sm. odch směru	0,66 mgon
Průměrná sm. odch zenitového úhlu	0,31 mgon
Průměrná sm. odch šikmé délky	1,71 mm
Poměr: Apriorní / Aposteriorní	1,34
Průměrná sm. odch souřadnicová	2,39 mm
Průměrná sm. odch výšek	0,69 mm

Program EasyNET byly vypočteny tyto vyrovnané souřadnice (Tab. 25), kde opět jsou uvedeny i souřadnice volných stanovišek. Ve výsledcích je patrné ono využití všech měření včetně druhých poloh a skupin. Rozdíl je nejvíce patrný hlavně u výšek, kde byla zvýšena přesnost určení zenitového úhlu.

Tab. 25 - Vyrovnané souřadnice určené metodou volných stanovišek v SW EasyNET

Číslo bodu	Vyrovnané souřadnice [m]			Směrodatné odchylky [mm]			
	Y	X	Z	σ_y	σ_x	σ_{xy}	σ_z
1501	848 599,5767	1 066 234,4707	433,3869	1,7	2,3	2,0	0,6
1502	848 396,1314	1 066 323,4841	446,9226	2,1	1,7	1,9	0,7
1503	848 298,5802	1 066 461,4817	458,5090	2,7	2,0	2,4	0,7
1504	848 258,7439	1 066 601,6954	468,5804	3,2	2,0	2,7	0,7
1505	848 272,1758	1 066 727,1006	473,4124	3,2	2,0	2,7	0,7
1506	848 305,2989	1 066 843,1837	474,1854	2,7	1,8	2,3	0,6
1507	848 321,6923	1 066 984,6871	473,3027	1,9	2,0	2,0	0,6
1508	848 286,8664	1 067 096,6298	472,6357	0,9	1,8	1,4	0,4
4002	848 618,8725	1 066 259,9954	433,8527	2,5	3,1	2,8	0,7
4003	848 508,3004	1 066 281,0987	438,7235	2,8	2,1	2,5	0,9
4004	848 422,5287	1 066 350,2395	445,3231	2,5	1,9	2,2	0,7
4005	848 331,2118	1 066 439,4383	455,4516	3,1	2,0	2,6	0,8
4006	848 288,9839	1 066 546,5298	464,9501	3,3	2,2	2,8	0,8
4007	848 226,5087	1 066 679,1508	474,1382	3,5	2,0	2,9	0,8
4008	848 278,6574	1 066 805,3654	473,9772	3,1	2,0	2,6	0,7
4009	848 308,6977	1 066 921,8437	472,2633	2,4	2,2	2,3	0,7
4011	848 184,0628	1 067 121,6429	469,5233	2,1	2,0	2,1	0,8
5003	848 458,8144	1 066 237,5551	440,9278	2,4	2,1	2,3	1,0
5006	848 270,2673	1 066 477,8539	461,9666	3,3	2,1	2,8	0,8
5007	848 288,2090	1 066 637,1208	470,0486	3,5	2,2	2,9	0,7
5008	848 298,1910	1 066 729,5681	473,2651	3,7	2,0	3,0	0,7
5009	848 334,3079	1 066 854,7481	475,5872	3,0	2,0	2,5	0,6
5010	848 348,7680	1 066 945,0885	473,3961	2,4	2,3	2,4	0,6
5011	848 247,8848	1 067 072,5833	472,2094	1,8	1,9	1,9	0,6
5012	848 284,2900	1 067 156,0980	472,6080	-	-	-	-
5014	848 594,2885	1 066 209,2754	432,6904	1,8	2,9	2,4	0,6
5016	848 543,1490	1 066 181,6440	433,7260	-	-	-	-
5017	848 575,7205	1 066 212,3310	433,2723	2,3	2,4	2,4	0,6
hab6	848 328,2563	1 067 058,3270	471,8648	1,7	2,2	2,0	0,6

Pro porovnání přesností obou metod byl ponechán stejný koeficient zvětšení elips ve výkresu. Jednotlivé elipsy chyb jsou součástí Obr. 22. Detaily o vyrovnaní jsou pak v: (Příloha 12)



Obr. 22 - Elipsy chyb sítě určené metodou volných stanovišek

7.5. Rozbory přesnosti po měření

Rozdíly dosažených přesností oproti očekávaných (Tab. 26) se oproti polygonovému pořadu zmenšily. Průměrný rozdíl odchylek činí 1-2 mm. Prokázala se výhoda měření na více skupin, více nadbytečných měření a využití volných stanovišek místo pevných. Vyšší směrodatné odchylky je možné sledovat u výsledků z programu GROMA. Výšky u programu EasyNET se pohybují s přesností pod 1 mm.

Tab. 26 - Tabulka rozborů po měření sítě určené metodou volných stanovišek

Č.b.	Očekávané sm. odch. [mm]				Dosažené směrodatné odchylky [mm]								
	PrecisPlanner 3D				GROMA				EasyNET				
	σ_Y	σ_X	σ_{XY}	σ_Z	σ_Y	σ_X	σ_{XY}	σ_Z	σ_Y	σ_X	σ_{XY}	σ_Z	
1501	1,0	0,6	0,8	0,2	2,4	3,6	3,1	1,7	1,7	2,3	2,0	0,6	
1502	0,8	0,8	0,8	0,3	3,1	2,7	3,0	2,2	2,1	1,7	1,9	0,7	
1503	1,1	1,1	1,1	0,3	4,3	3,6	4,0	2,4	2,7	2,0	2,4	0,7	
1504	1,2	1,3	1,3	0,3	5,1	3,6	4,4	2,4	3,2	2,0	2,7	0,7	
1505	1,2	1,2	1,2	0,3	5,0	3,6	4,3	2,3	3,2	2,0	2,7	0,7	
1506	1,1	1,0	1,1	0,2	4,1	3,3	3,7	2,1	2,7	1,8	2,3	0,6	
1507	1,2	0,7	1,0	0,2	2,8	3,6	3,2	1,9	1,9	2,0	2,0	0,6	
1508	1,2	0,3	0,9	0,2	1,3	3,4	2,6	1,9	0,9	1,8	1,4	0,4	
4002	0,9	0,9	0,9	0,2	3,5	4,2	3,9	-	2,5	3,1	2,8	0,7	
4003	0,9	1,5	1,2	0,3	4,3	2,9	3,6	2,9	2,8	2,1	2,5	0,9	
4004	0,8	0,9	0,9	0,2	4,0	3,1	3,6	2,7	2,5	1,9	2,2	0,7	
4005	1,0	1,3	1,2	0,3	5,1	3,6	4,4	2,8	3,1	2,0	2,6	0,8	
4006	1,3	1,3	1,3	0,3	5,3	4,1	4,7	2,7	3,3	2,2	2,8	0,8	
4007	1,1	1,3	1,2	0,3	5,6	3,6	4,7	2,6	3,5	2,0	2,9	0,8	
4008	1,2	1,1	1,2	0,2	4,8	3,7	4,3	2,4	3,1	2,0	2,6	0,7	
4009	1,4	0,8	1,1	0,2	3,6	4,3	3,9	2,5	2,4	2,2	2,3	0,7	
4011	1,2	1,0	1,1	0,3	3,6	3,7	3,7	3,1	2,1	2,0	2,1	0,8	
5003	0,8	0,8	0,8	0,3	3,3	3,0	3,2	3,0	2,4	2,1	2,3	1,0	
5006	1,1	1,3	1,2	0,3	5,4	3,8	4,6	2,7	3,3	2,1	2,8	0,8	
5007	1,2	1,3	1,3	0,2	5,6	4,0	4,8	2,6	3,5	2,2	2,9	0,7	
5008	1,2	1,3	1,3	0,2	5,7	3,7	4,8	2,8	3,7	2,0	3,0	0,7	
5009	1,1	1,0	1,1	0,2	4,7	3,6	4,2	2,4	3,0	2,0	2,5	0,6	
5010	1,2	0,8	1,0	0,2	3,6	3,9	3,7	2,4	2,4	2,3	2,4	0,6	
5011	1,1	0,6	0,9	0,2	2,7	3,4	3,1	2,7	1,8	1,9	1,9	0,6	
5012	-	-	-	-	-	-	-	2,8	-	-	-	-	
5014	1,1	0,6	0,9	0,2	2,5	4,2	3,5	2,4	1,8	2,9	2,4	0,6	
5016	-	-	-	-	-	-	-	2,9	-	-	-	-	
5017	0,7	0,7	0,7	0,2	3,3	3,3	3,3	2,5	2,3	2,4	2,4	0,6	
hab6	1,2	0,5	0,9	0,2	2,5	3,9	3,2	-	1,7	2,2	2,0	0,6	

8. Zhodnocení výsledků

V této kapitole dojde k finálním zhodnocením výsledků. Nejprve budou porovnány měřické postupy z hlediska náročnosti a časového zatížení z hlediska měření. Dále budou porovnány jednotlivé softwary z hlediska uživatele a vzájemnému porovnání GROMY a EasyNETu z hlediska vyrovnání geodetické sítě a na samý závěr zhodnocení rozdílů z hlediska souřadnic.

8.1. Porovnání měřických postupů

Z hlediska nutných pomůcek vychází lépe vsadit na metodu volných stanovisek. V tomto případě není potřeba použít nivelační přístroj, stačí pouze totální stanice (případně GNSS aparatura, pokud není v oblasti založené bodové pole). Problém ovšem přichází v centraci a horizontaci cíle. Během výpočtů bylo zjištěno, že pravděpodobně výtyčka s hranolem je nejspíše nahnuta a krabicová libela není ideálně zrektifikována. Pro vyšší přesnost by tedy přicházelo v úvahu použít nucenou centraci. Tu lze aplikovat u polygonového pořadu v podobě trojpodstavcové soupravy. Ovšem u metody volných stanovisek tato aplikace není možná. Další reálné nebezpečí spočívá v refrakci. I tak se přesnost metody volných stanovisek výrazně zvyšuje vysokým počtem nadbytečných měření.

Z hlediska časové náročnosti opět vítězí metoda volných stanovisek. Měření trvalo přibližně $\frac{3}{4}$ pracovního dne. U druhé metody trvalo jeden den změřit polygonový pořad a další den provedení nivelace. Nesmí se ovšem zapomenout na stabilizaci bodů. To by z mého hlediska u první metody zabralo časově poslední čtvrtinu, která by v pracovním dni zbývala, pokud by už byla představa o rozvržení sítě jako celku.

Z ekonomického hlediska také vychází lépe metoda volných stanovisek. Jak z důvodu zmíněné časové náročnosti, tak z hlediska počtu pracovních sil. Pro realizaci nivelace jsou potřeba 2 osoby, na měření s robotizovanou totální stanicí vystačí pouze 1 měřič.

8.2. Porovnání použitých softwarů k vyrovnání sítě

Program GROMA je hodně rozšířený a ostřílený software. Hlavně je poměrně jednoduchý na ovládání z hlediska intuitivnosti, takže uživatel se s tímto programem velice snadno, rychle a dostatečně seznámí pro základní výpočetní účely. Vyrovnání probíhá stejným způsobem jako ostatní výpočty. Trochu problém bylo najít možnost exportu grafiky vykreslených elips chyb do DXF souboru pro další zpracování v CAD softwarech.

EasyNET vypadá z hlediska uživatele hodně přehledně. Dokáže odhalit měření, která jsou odlehlá a díky kterým je výsledná přesnost vyšší, ovšem ne vždy. V případě polygonového pořadu byl trochu problém zmíněná měření odhalit. Výpočet většinou buď zkolaboval, nebo vyloučil příliš mnoho měření, takže najít ideální symbiózu bylo obtížnější. Dále je pro uživatele nepříliš přívětivá nutnost držet pořadí bodů podle měření skupiny, i když program díky tomu dokáže pak najít podezřelá měření v rámci skupin ještě před vstupem do vyrovnání.

Jasně říci, který software použít pro vyrovnání je poněkud obtížné, protože každý má své klady i zápory. U GROMY shledávám jako klad jednoduchost a známost softwaru jako takového. Jako zápor vidím absenci robustního vyrovnání, takže výsledky mohou vyjít o něco hůře vůči EasyNETu. Dále hlavní rozdíl těchto 2 programů je způsob vyrovnání. GROMA rozděluje vyrovnání na polohové a výškové. Z jednoho hlediska je výhodné, že můžeme zvolit pro každý bod zvlášť fixaci polohy a výšky (toto bylo využito zejména u bodů, které byly nivelovány), z druhého úhlu pohledu ovšem body ztrácí spojitost s prostorovým měřením jako takovým (vyrovnávána jsou vypočtená převýšení) a nemusí být pak odhaleny některé chyby, nebo naopak můžeme výpočtem další chyby způsobit. EasyNET tedy oproti GROMĚ vyrovnává síť najednou ve 3D a je ve vyrovnání jako takovým o mnoho komplexnější. Jako hlavní přednost je i ta, že EasyNET použije do vyrovnání každé měření, GROMA bohužel neakceptuje jednotlivé záměry a musí být nejprve provedeno zpracování ve dvou polohách dalekohledu, redukce, zpracování opakovaných měření atd., díky čemuž ztrácíme počty nadbytečných měření a celkovou přesnost. Tento problém je patrný ve výsledcích z metody volných stanovisek.

8.3. Posouzení dosažených souřadnic

Souřadnicové rozdíly z pohledu výsledků jednotlivých softwarů se u polygonového pořadu pohybují v jednotkách milimetrů až dvou centimetrů. Rozdíl může být dán rozdílným způsobem výpočtu vyrovnání. Další aspekt je také nízký počet nadbytečných měření. U metody volných stanovisek jsou rozdíly v řádech milimetrů až desetin milimetrů, kde se průměrně liší o 1 mm a největší lokální rozdíl je 6,5 mm. (viz. Tab. 27, Tab. 28)

Rozdíl souřadnicových rozdílů mezi metodami vypočtených programem GROMA se pohybuje v jednotkách milimetrů až centimetrů (maximální rozdíl je 23 mm). Menší odchylky mezi metodami vykazuje program EasyNET (do 16 mm). Rozdíl může být způsoben vyšším počtem měření a rozdílným počtem měřených skupin úhlů. Může být dán dále pak zvolením jiných fixovaných bodů v rámci metody. (viz. Tab. 29, Tab. 30).

Postupně se dostáváme k posouzení výšek a stanovení, zda je nutné body nivelovat (uvažujeme-li přesnost nivelace $10 \text{ mm} * \sqrt{R}$) či nikoliv. Pokud budeme uvažovat dosažené hodnoty výšek metodou volných stanovisek a porovnáme je s hodnotami určené z nivelace, můžeme vidět rozdíly v jednotkách milimetrů. Lze tedy konstatovat, že pokud máme správně určené výšky fixních bodů, dostatečný počet nadbytečných měření a zároveň dobré atmosférické podmínky, lze nivelaci nahradit trigonometrickým měřením totální stanicí. (viz. Tab. 31)

Tab. 27 - Porovnání softwarů dosažených výsledků sítě určené polygonovým pořadem

Č. bodu	Dosažené souřadnice [m] GROMA			Dosažené souřadnice [m] EasyNET			Souřadnicové rozdíly [mm]		
	Y	X	Z	Y	X	Z	dY	dX	dZ
4001	848 672,4898	1 066 215,1953	427,4010	848 672,4841	1 066 215,2056	427,4005	5,7	-10,3	0,5
4002	848 618,8980	1 066 259,9830	433,8470	848 618,8900	1 066 259,9910	433,8470	8,0	-8,0	0,0
4003	848 508,3181	1 066 281,0848	438,7190	848 508,3081	1 066 281,0877	438,7204	10,0	-2,9	-1,4
4004	848 422,5484	1 066 350,2321	445,3210	848 422,5348	1 066 350,2309	445,3245	13,6	1,2	-3,5
4005	848 331,2243	1 066 439,4295	455,4500	848 331,2115	1 066 439,4276	455,4519	12,8	1,9	-1,9
4006	848 288,9974	1 066 546,5262	464,9500	848 288,9880	1 066 546,5278	464,9625	9,4	-1,6	12,5
4007	848 226,5306	1 066 679,1468	474,1400	848 226,5236	1 066 679,1478	474,1420	7,0	-1,0	-2,0
4008	848 278,6735	1 066 805,3643	473,9790	848 278,6658	1 066 805,3636	473,9780	7,7	0,7	1,0
4009	848 308,7151	1 066 921,8423	472,2670	848 308,7071	1 066 921,8423	472,2667	8,0	0,0	0,3
4010	848 296,1440	1 067 052,9290	471,4820	848 296,1360	1 067 052,9290	471,4820	8,0	0,0	0,0
4011	848 184,0720	1 067 121,6391	469,5248	848 184,0643	1 067 121,6390	469,5212	7,7	0,1	3,6
5001	848 599,0265	1 066 197,2266	431,1716	848 599,0210	1 066 197,2337	431,1693	5,5	-7,1	2,3
5002	848 515,0566	1 066 163,5107	435,7927	848 515,0528	1 066 163,5136	435,7900	3,8	-2,9	2,7
5003	848 458,8249	1 066 237,5392	440,9245	848 458,8170	1 066 237,5395	440,9246	7,9	-0,3	-0,1
5004	848 261,2910	1 066 348,0062	459,8189	848 261,2788	1 066 348,0018	459,8187	12,2	4,4	0,2
5005	848 287,4961	1 066 407,3701	456,5358	848 287,4827	1 066 407,3667	456,5415	13,4	3,4	-5,7
5006	848 270,2802	1 066 477,8496	461,9566	848 270,2721	1 066 477,8558	461,9621	8,1	-6,2	-5,5
5007	848 288,2286	1 066 637,1254	470,0386	848 288,2212	1 066 637,1267	470,0427	7,4	-1,3	-4,1
5008	848 298,2124	1 066 729,5616	473,2627	848 298,2057	1 066 729,5616	473,2608	6,7	0,0	1,9
5009	848 334,3265	1 066 854,7483	475,5871	848 334,3182	1 066 854,7480	475,5843	8,3	0,3	2,8
5010	848 348,7872	1 066 945,0919	473,4031	848 348,7790	1 066 945,0918	473,4014	8,2	0,1	1,7
5011	848 247,8869	1 067 072,5742	472,2143	848 247,8790	1 067 072,5742	472,2135	7,9	0,0	0,8
5012	848 284,2911	1 067 156,0980	472,6082	848 284,2832	1 067 156,0977	472,6055	7,9	0,3	2,7

Tab. 28 - Porovnání softwarů dosažených výsledků sítě určené metodou volných stanovisek

Č. bodu	Dosažené souřadnice [m] GROMA			Dosažené souřadnice [m] EasyNET			Souřadnicové rozdíly [mm]		
	Y	X	Z	Y	X	Z	dY	dX	dZ
4002	848 618,8754	1 066 259,9990	433,8470	848 618,8725	1 066 259,9954	433,8527	2,9	3,6	-5,7
4003	848 508,3018	1 066 281,1009	438,7220	848 508,3004	1 066 281,0987	438,7235	1,4	2,2	-1,5
4004	848 422,5316	1 066 350,2386	445,3221	848 422,5287	1 066 350,2395	445,3231	2,9	-0,9	-1,0
4005	848 331,2120	1 066 439,4404	455,4517	848 331,2118	1 066 439,4383	455,4516	0,2	2,1	0,1
4006	848 288,9828	1 066 546,5316	464,9512	848 288,9839	1 066 546,5298	464,9501	-1,1	1,8	1,1
4007	848 226,5095	1 066 679,1499	474,1393	848 226,5087	1 066 679,1508	474,1382	0,8	-0,9	1,1
4008	848 278,6578	1 066 805,3656	473,9790	848 278,6574	1 066 805,3654	473,9772	0,4	0,2	1,8
4009	848 308,6985	1 066 921,8456	472,2641	848 308,6977	1 066 921,8437	472,2633	0,8	1,9	0,8
4011	848 184,0638	1 067 121,6444	469,5270	848 184,0628	1 067 121,6429	469,5233	1,0	1,5	3,7
5003	848 458,8183	1 066 237,5560	440,9269	848 458,8144	1 066 237,5551	440,9278	3,9	0,9	-0,9
5006	848 270,2686	1 066 477,8547	461,9671	848 270,2673	1 066 477,8539	461,9666	1,3	0,8	0,5
5007	848 288,2098	1 066 637,1212	470,0491	848 288,2090	1 066 637,1208	470,0486	0,8	0,4	0,5
5008	848 298,1915	1 066 729,5704	473,2676	848 298,1910	1 066 729,5681	473,2651	0,5	2,3	2,5
5009	848 334,3082	1 066 854,7499	475,5875	848 334,3079	1 066 854,7481	475,5872	0,3	1,8	0,3
5010	848 348,7692	1 066 945,0912	473,3985	848 348,7680	1 066 945,0885	473,3961	1,2	2,7	2,4
5011	848 247,8881	1 067 072,5854	472,2132	848 247,8848	1 067 072,5833	472,2094	3,3	2,1	3,8
5012	848 284,2910	1 067 156,0990	472,6123	848 284,2900	1 067 156,0980	472,6080	1,0	1,0	4,3
5014	848 594,2915	1 066 209,2803	432,6874	848 594,2885	1 066 209,2754	432,6904	3,0	4,9	-3,0
5016	848 543,1490	1 066 181,6440	433,7238	848 543,1490	1 066 181,6440	433,7260	0,0	0,0	-2,2
5017	848 575,7270	1 066 212,3326	433,2697	848 575,7205	1 066 212,3310	433,2723	6,5	1,6	-2,6
Hab6	848 328,2538	1 067 058,3306	471,8710	848 328,2563	1 067 058,3270	471,8648	-2,5	3,6	6,2

Tab. 29 - Porovnání výsledků použitých metod vypočtených v programu GROMA

Č. bodu	Souřadnice určené polygonovým pořadem [m]			Souřadnice určené metodou volných stanovišek [m]			Souřadnicové rozdíly [mm]		
	Y	X	Z	Y	X	Z	dY	dX	dZ
4002	848 618,8980	1 066 259,9830	433,8470	848 618,8754	1 066 259,9990	433,8470	22,6	-16,0	0,0
4003	848 508,3181	1 066 281,0848	438,7190	848 508,3018	1 066 281,1009	438,7220	16,3	-16,1	-3,0
4004	848 422,5484	1 066 350,2321	445,3210	848 422,5316	1 066 350,2386	445,3221	16,8	-6,5	-1,1
4005	848 331,2243	1 066 439,4295	455,4500	848 331,2120	1 066 439,4404	455,4517	12,3	-10,9	-1,7
4006	848 288,9974	1 066 546,5262	464,9500	848 288,9828	1 066 546,5316	464,9512	14,6	-5,4	-1,2
4007	848 226,5306	1 066 679,1468	474,1400	848 226,5095	1 066 679,1499	474,1393	21,1	-3,1	0,7
4008	848 278,6735	1 066 805,3643	473,9790	848 278,6578	1 066 805,3656	473,9790	15,7	-1,3	0,0
4009	848 308,7151	1 066 921,8423	472,2670	848 308,6985	1 066 921,8456	472,2641	16,6	-3,3	2,9
4011	848 184,0720	1 067 121,6391	469,5248	848 184,0638	1 067 121,6444	469,5270	8,2	-5,3	-2,2
5003	848 458,8249	1 066 237,5392	440,9245	848 458,8183	1 066 237,5560	440,9269	6,6	-16,8	-2,4
5006	848 270,2802	1 066 477,8496	461,9566	848 270,2686	1 066 477,8547	461,9671	11,6	-5,1	10,5
5007	848 288,2286	1 066 637,1254	470,0386	848 288,2098	1 066 637,1212	470,0491	18,8	4,2	10,5
5008	848 298,2124	1 066 729,5616	473,2627	848 298,1915	1 066 729,5704	473,2676	20,9	-8,8	-4,9
5009	848 334,3265	1 066 854,7483	475,5871	848 334,3082	1 066 854,7499	475,5875	18,3	-1,6	-0,4
5010	848 348,7872	1 066 945,0919	473,4031	848 348,7692	1 066 945,0912	473,3985	18,0	0,7	4,6
5011	848 247,8869	1 067 072,5742	472,2143	848 247,8881	1 067 072,5854	472,2132	-1,2	-11,2	1,1
5012	848 284,2911	1 067 156,0980	472,6082	848 284,2910	1 067 156,0990	472,6123	0,1	-1,0	-4,1

Tab. 30 - Porovnání výsledků použitých metod vypočtených v programu EasyNET

Č. bodu	Souřadnice určené polygonovým pořadem [m]			Souřadnice určené metodou volných stanovišek [m]			Souřadnicové rozdíly [mm]		
	Y	X	Z	Y	X	Z	dY	dX	dZ
4002	848 618,8900	1 066 259,9910	433,8470	848 618,8725	1 066 259,9954	433,8527	17,5	-4,4	-5,7
4003	848 508,3081	1 066 281,0877	438,7204	848 508,3004	1 066 281,0987	438,7235	7,7	-11,0	-3,1
4004	848 422,5348	1 066 350,2309	445,3245	848 422,5287	1 066 350,2395	445,3231	6,1	-8,6	1,4
4005	848 331,2115	1 066 439,4276	455,4519	848 331,2118	1 066 439,4383	455,4516	-0,3	-10,7	0,3
4006	848 288,9880	1 066 546,5278	464,9625	848 288,9839	1 066 546,5298	464,9501	4,1	-2,0	12,4
4007	848 226,5236	1 066 679,1478	474,1420	848 226,5087	1 066 679,1508	474,1382	14,9	-3,0	3,8
4008	848 278,6658	1 066 805,3636	473,9780	848 278,6574	1 066 805,3654	473,9772	8,4	-1,8	0,8
4009	848 308,7071	1 066 921,8423	472,2667	848 308,6977	1 066 921,8437	472,2633	9,4	-1,4	3,4
4011	848 184,0643	1 067 121,6390	469,5212	848 184,0628	1 067 121,6429	469,5233	1,5	-3,9	-2,1
5003	848 458,8170	1 066 237,5395	440,9246	848 458,8144	1 066 237,5551	440,9278	2,6	-15,6	-3,2
5006	848 270,2721	1 066 477,8558	461,9621	848 270,2673	1 066 477,8539	461,9666	4,8	1,9	-4,5
5007	848 288,2212	1 066 637,1267	470,0427	848 288,2090	1 066 637,1208	470,0486	12,2	5,9	-5,9
5008	848 298,2057	1 066 729,5616	473,2608	848 298,1910	1 066 729,5681	473,2651	14,7	-6,5	-4,3
5009	848 334,3182	1 066 854,7480	475,5843	848 334,3079	1 066 854,7481	475,5872	10,3	-0,1	-2,9
5010	848 348,7790	1 066 945,0918	473,4014	848 348,7680	1 066 945,0885	473,3961	11,0	3,3	5,3
5011	848 247,8790	1 067 072,5742	472,2135	848 247,8848	1 067 072,5833	472,2094	-5,8	-9,1	4,1
5012	848 284,2832	1 067 156,0977	472,6055	848 284,2900	1 067 156,0980	472,6080	-6,8	-0,3	-2,5

Tab. 31 - Porovnání výšek určené nivelací a metodou volných stanovišek

Č. b.	Nivelace [m]	Metoda volných stanovišek [m]		Výškové rozdíly [mm]	
		GROMA	EasyNET	Niv. - GROMA	Niv. - EasyNET
4002	433,847	433,8470	433,8527	0,0	-5,7
4003	438,719	438,7220	438,7235	-3,0	-4,5
4004	445,321	445,3221	445,3231	-1,1	-2,1
4005	455,450	455,4517	455,4516	-1,7	-1,6
4006	464,950	464,9512	464,9501	-1,2	-0,1
4007	474,140	474,1393	474,1382	0,7	1,8
4008	473,979	473,9790	473,9772	0,0	1,8
4009	472,267	472,2641	472,2633	2,9	3,7

9. Závěr

Závěrem můžeme konstatovat, že byla určena geodetická síť pro stavbu silnice „2/230 Stříbro – D5, úsek 1“ dvěma geodetickými metodami, které byly vyrovnány dvěma vyrovnávacími softwary.

Nejprve byly stanoveny dvě geodetické metody (polygonový pořad + nivelace a metoda volných stanovisek) o odlišném způsobu měření, počtu skupin a počtu nadbytečných měření. Byla provedena stabilizace bodů vytyčovací sítě. Pro obě metody byly vypracovány rozборы přesnosti programem PrecisPlanner 3D. Po provedení měření byly vypočteny přibližné souřadnice sítě zvolenými metodami v programu GROMA. Následně byla uskutečněna vyrovnání v programech GROMA a EasyNET včetně vykreslení elips chyb jednotlivých bodů sítě.

Vyšší efektivita použité geodetické metody pro určení souřadnic bodů vytyčovací sítě byla shledána u metody volných stanovisek. Za stejně podobný časový rozptyl jako u polygonového pořadu bylo provedeno výrazně více nadbytečných měření, navíc bylo přistoupeno k přidání jedné měřické skupiny měření úhlů a tím byly dosaženy vyšší výsledné přesnosti. Lze tedy na základě této skutečnosti konstatovat, že se rozhodně vyplatí provádět měření podobného rozsahu ve více měřických skupinách než pouze v jedné.

Kvalitnější výsledky v podobě vyrovnaných souřadnic a jejich směrodatných odchylek z pohledu použitých softwarů vykazuje program EasyNET. Zejména u metody volných stanovisek se projevily přednosti s obsaženým robustním vyrovnáním, díky kterému mohla být identifikována odlehlá měření. Další výhoda spočívala ve způsobu vyrovnání, kde jednotlivá vyrovnání probíhala ve 3D a nebyla porušena vazba mezi vodorovnými směry, zenitovými úhly a šikmými délkami. Tím byly zejména u výšek dosaženy přesnosti, kde směrodatné odchylky nepřekročily hodnotu 1 mm.

Během výpočtů byla zjištěna chyba z nesvislosti výtyčky hranolu a špatné rektifikace její libely. Proto muselo být přistoupeno ke snížení apriorních přesností přístroje vůči hodnotám deklarovaným výrobcem, které vstupovaly do vyrovnání.

Jako finální výsledky s nejvyšší přesností byly stanoveny vyrovnané souřadnice ze sítě určené metodou volných stanovisek a vyrovnané v programu EasyNET. Tato skutečnost je dána zejména vyšším počtem nadbytečných měření, kdy zaměření probíhalo ve dvou skupinách, což při použití robotické totální stanice neznamena velké zdržení. Tato skutečnost byla zmíněna již výše. Z výsledků vyšla najevo i informace, že v případě použití této metody lze nahradit nivelaci měřenou s přesností $10 \text{ mm} * \sqrt{R}$ trigonometrií měřenou totální stanicí. Průměrná souřadnicová odchylka byla dosažena $2,39 \text{ mm}$. Průměrná směrodatná odchylka výšky $0,69 \text{ mm}$. Všechny body splňují požadovanou přesnost, kterou udává souřadnicová odchylka v poloze $\sigma_{XY} = 10 \text{ mm}$ a směrodatná odchylka výšky $\sigma_Z = 5 \text{ mm}$. Jednotlivé souřadnice určených bodů jsou obsaženy viz: (Tab. 32) a (Příloha 13).

Tab. 32 - Výsledné souřadnice geodetické sítě pro stavbu silnice

Číslo bodu	Vyrovnané souřadnice [m]			Stabilizace
	Y	X	Z	
4002	848 618,8725	1 066 259,9954	433,8527	Trn
4003	848 508,3004	1 066 281,0987	438,7235	Trn
4004	848 422,5287	1 066 350,2395	445,3231	Trn
4005	848 331,2118	1 066 439,4383	455,4516	Trn
4006	848 288,9839	1 066 546,5298	464,9501	Trn
4007	848 226,5087	1 066 679,1508	474,1382	Trn
4008	848 278,6574	1 066 805,3654	473,9772	Trn
4009	848 308,6977	1 066 921,8437	472,2633	Trn
4011	848 184,0628	1 067 121,6429	469,5233	Trn
5003	848 458,8144	1 066 237,5551	440,9278	Hřeb
5006	848 270,2673	1 066 477,8539	461,9666	Kolík
5007	848 288,2090	1 066 637,1208	470,0486	Kolík
5008	848 298,1910	1 066 729,5681	473,2651	Kolík
5009	848 334,3079	1 066 854,7481	475,5872	Kolík
5010	848 348,7680	1 066 945,0885	473,3961	Kolík
5011	848 247,8848	1 067 072,5833	472,2094	Štítek VN
5012	848 284,2900	1 067 156,0980	472,6080	Hřeb
5014	848 594,2885	1 066 209,2754	432,6904	Hřeb
5016	848 543,1490	1 066 181,6440	433,7260	Hřeb
5017	848 575,7205	1 066 212,3310	433,2723	Hřeb
hab6	848 328,2563	1 067 058,3270	471,8648	Niv. bod

Seznam použitých zkratek

S-JTSK	Systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
Bpv	Balt po vyrovnání
GNSS	Global Navigation Satellite System
RTK	Real Time Kinematic
RMS	Root Mean Square
PP	Polygonový pořad
VN	Vysoké napětí
TUVR	Trigonometrické určování výškových rozdílů
SW	Software
MNČ	Metoda nejmenších čtverců
Sm. odch.	Směrodatná odchylka
Obs.	Observace

Seznam příloh na CD

Příloha 1	Protokol o rozborech přesnosti pro síť určenou polygonovým pořadem
Příloha 2	Protokol o rozborech přesnosti pro síť určenou metodou volných stanovisek
Příloha 3	Protokol GNSS (RTK) měření
Příloha 4	Zápisník měření polygonového pořadu
Příloha 5	Protokol o výpočtech polygonového pořadu
Příloha 6	Nivelační zápisník
Příloha 7	Zápisník měření metody volných stanovisek
Příloha 8	Protokol o výpočtech metody volných stanovisek
Příloha 9	Protokol o vyrovnání sítě určené polygonovým pořadem (GROMA)
Příloha 10	Protokol o vyrovnání sítě určené polygonovým pořadem (EasyNET)
Příloha 11	Protokol o vyrovnání sítě určené metodou volných stanovisek (GROMA)
Příloha 12	Protokol o vyrovnání sítě určené metodou volných stanovisek (EasyNET)
Příloha 13	Vyrovnané souřadnice geodetické sítě pro stavbu silnice 2/230 Stříbro – D5, úsek 1

Seznam obrázků

- Obr. 1 - Lokalizace města Stříbra [2]
- Obr. 2 - Trasa přeložky [4]
- Obr. 3 - Schéma vytyčovací sítě s projektem stavby na ortofoto podkladu
- Obr. 4 - Stabilizace bodů primární sítě a jeho ochranné pásmo
- Obr. 5 - Nivelační bod Hab-6
- Obr. 6 - Robotizovaná totální stanice [7]

- Obr. 7 - GNSS aparatura [8]
- Obr. 8 - Digitální nivelační přístroj [7]
- Obr. 9 - Stabilizační materiál [10]
- Obr. 10 - Ukázka prostředí SW PrecisPlanner 3D [11]
- Obr. 11 - Ukázka prostředí SW GROMA [15]
- Obr. 12 - Ukázka prostředí softwaru EasyNET [16]
- Obr. 13 - Schéma sítě určené polygonovým pořadem s nivelací
- Obr. 14 - Dialogové okno pro vyrovnání sítě [15]
- Obr. 15 - Elipsy chyb geodetické sítě určené polygonovým pořadem
- Obr. 16 - Informace o vyrovnání sítě určené polygonovým pořadem
- Obr. 17 - Elipsy chyb geodetické sítě určené polygonovým pořadem
- Obr. 18 - Schéma sítě určené metodou volných stanovišek
- Obr. 19 - Z měření volných stanovišek
- Obr. 20 - Elipsy chyb sítě určené metodou volných stanovišek
- Obr. 21 - Informace o vyrovnání sítě určené metodou volných stanovišek
- Obr. 22 - Elipsy chyb sítě určené metodou volných stanovišek

Seznam tabulek

- Tab. 1 - Huberův robustní odhad
- Tab. 2 - Očekávané přesnosti sítě určenou polygonovým pořadem
- Tab. 3 - Jednotlivé observace měření GNSS – RTK
- Tab. 4 - Odchytky polygonového pořadu
- Tab. 5 - Souřadnice vrcholových bodů
- Tab. 6 - Přesnost nivelace
- Tab. 7 - Výšky bodů určené nivelací
- Tab. 8 - Souřadnice určené polární metodou a TUVR
- Tab. 9 - Parametry polohové sítě GROMA
- Tab. 10 - Parametry výškové sítě GROMA
- Tab. 11 - Zpráva o polohovém vyrovnání GROMA
- Tab. 12 - Zpráva o výškovém vyrovnání GROMA
- Tab. 13 - Vyrovnané souřadnice určené polygonovým pořadem v SW GROMA
- Tab. 14 - Zpráva o vyrovnání sítě SW EasyNET
- Tab. 15 - Vyrovnané souřadnice určené polygonovým pořadem v SW EasyNET
- Tab. 16 - Tabulka rozborů po měření sítě určené polygonovým pořadem
- Tab. 17 - Očekávané přesnosti sítě určenou metodou volných stanovišek

- Tab. 18 - Souřadnice volných stanovišek
- Tab. 19 - Parametry polohové sítě
- Tab. 20 - Parametry výškové sítě
- Tab. 21 - Zpráva o polohovém vyrovnání
- Tab. 22 - Zpráva o výškovém vyrovnání
- Tab. 23 - Vyrovnané souřadnice určené metodou volných stanovišek v SW GROMA
- Tab. 24 - Zpráva o vyrovnání sítě SW EasyNET
- Tab. 25 - Vyrovnané souřadnice určené metodou volných stanovišek v SW EasyNET
- Tab. 26 - Tabulka rozborů po měření sítě určené metodou volných stanovišek
- Tab. 27 - Porovnání softwaru dosažených výsledků sítě určené polygonovým pořadem
- Tab. 28 - Porovnání softwaru dosažených výsledků sítě určené metodou volných stanovišek
- Tab. 29 - Porovnání výsledků použitých metod vypočtených v programu GROMA
- Tab. 30 - Porovnání výsledků použitých metod vypočtených v programu EasyNET
- Tab. 31 - Porovnání výšek určené nivelací a metodou volných stanovišek
- Tab. 32 - Výsledné souřadnice geodetické sítě pro stavbu silnice

Seznam použitých zdrojů

- [1] Základní informace o městě Stříbře. Oficiální stránky města Stříbra [online]. Stříbro: Galileo Corporation, 2020 [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <http://www.mustribro.cz/mesto/zakladni-informace-o-meste/zakladni-informace-o-meste/>
- [2] Stříbro. Mapy Google [online]. San Francisco: Google, 2020 [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/place/349+01+St%C5%99%C3%ADbro/@49.7509466,12.9199062,21903m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x470a9a93dc7d9863:0x7e4711aedffa7546!8m2!3d49.7529483!4d13.0041032>
- [3] Historie města Stříbra. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/St%C5%99%C3%ADbro_\(okres_Tachov\)#Historie](https://cs.wikipedia.org/wiki/St%C5%99%C3%ADbro_(okres_Tachov)#Historie)
- [4] II/230 Stříbro – dálnice D5, úsek 1. SPRÁVA A ÚDRŽBA SILNIC PLZEŇSKÉHO KRAJE [online]. Plzeň: id-sign, 2020 [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <https://www.silnice-rop.cz/projekt/ii-230-stribro-dalnice-d5-usek-1/>
- [5] II/230 Stříbro – dálnice D5, úsek 1. BERGER Česká republika [online]. Passau: BERGER Holding, 2020, 2019 [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <https://bergerholding.eu/cs/node/3500>
- [6] Ortofoto ČÚZK – metadata. ČÚZK [online]. Praha: ČÚZK, 2020 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(ooh3v3ormpwjfw2b3euu5vzs\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&text=ortofoto_info&side=ortofoto](https://geoportal.cuzk.cz/(S(ooh3v3ormpwjfw2b3euu5vzs))/Default.aspx?mode=TextMeta&text=ortofoto_info&side=ortofoto)

- [7] Geotronics Praha [online]. Praha: Geotronics Praha, 2016 [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://geotronics.cz/>
- [8] Technický popis – Trimble R4 GNSS systém. Raunheim, 2010. Dostupné také z: http://www.geotronics.sk/wp-content/uploads/2014/10/CZE_TrimbleR4GNSS_DS.pdf
- [9] GPS: Přesnost měření – RMS. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/GPS>
- [10] Stabilizační materiál. <http://www.radekhavlin.cz/> [online]. Jindřichův Hradec: Webio, 2020 [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: <http://www.radekhavlin.cz/stabilizacni-material.html>
- [11] ŠTRONER, Martin. Projekt PreciPlanner 3D. Praha, 2020. Dostupné také z: <http://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/PPlanner/index.html>. Výpočetní software. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.
- [12] Terminologický slovník VÚGTK [online]. Zdiby: VÚGTK, 2020 [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <https://www.vugtk.cz/slovník/index.php>
- [13] RATIBORSKÝ, Jan. Geodézie 10. Vyd. 2. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03332-5.
- [14] ČADA, Václav. Přednáškové texty z Geodézie: 8.5. Výpočet podrobných bodů polohopisu [online]. Plzeň, 2020 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://kgm.zcu.cz/studium/gen1/html/ch08s05.html>. Syllabus. Západočeská univerzita v Plzni.
- [15] SEHNAL, Jan. GROMA [online]. Praha: Geoline, 2017 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://www.groma.cz/cz/>
- [16] ŠTRONER, Martin a Pavel TŘASÁK. EasyNET. Adjustsolutions.cz [online]. Praha: adjustsolutions.cz, 2016 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <http://adjustsolutions.cz/easynet/>
- [17] Novák, Z.-Procházka, J. Inženýrská geodézie 10, ISBN 80-01-02407-5, ČVUT, Praha 2006
- [18] ŠTRONER, Martin. Robustní metody vyrovnání: m – odhady: Huberův m-odhad [online]. Praha, 2019 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: http://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/TCH2/Tch2_pred_4_Robust.pdf. Syllabus. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.
- [19] ŠTRONER, Martin. Metoda nejmenších čtverců. Vyrovnání měření zprostředkujících. [online]. Praha, 2019 [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: http://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/TCH1/tch_pred_5.pdf. Přednáška. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.
- [20] ŠTRONER, Martin. Vyrovnání geodetické sítě volné, vázané. [online]. Praha, 2019 [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: http://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/TCH1/tch_pred_5.pdf. Přednáška. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.
- [21] TŘASÁK, Pavel. EasyNET verze 3.5.1: Softwarová dokumentace [online]. Praha, 2016 [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: http://adjustsolutions.cz/wp-content/uploads/download/easynet_doc_cz.pdf. Softwarová dokumentace. Adjust Solutions.