



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

URČENÍ SOUŘADNIC A VÝŠEK BODŮ KALIBRAČNÍHO POLE

DETERMINATION OF COORDINATES AND HEIGHTS OF CALIBRATION FIELD POINTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Pospíšil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. RADOVAN MACHOTKA, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646R003 Geodézie, kartografie a geoinformatika
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Ondřej Pospíšil
Název	Určení souřadnic a výšek bodů kalibračního pole
Vedoucí práce	doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2021
Datum odevzdání	27. 5. 2022

V Brně dne 30. 11. 2021

doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Relevantní odborná literatura týkající se měření a zpracování účelových měřických sítí.
Manuály použitých přístrojů a softwarů.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Provedte rekognoskaci aktuálního stavu kalibračních bodových polí pro kalibrace mobilních mapovacích systémů v areálu AdMaS. Po konzultaci s vyučujícím zvolte technologii nového určení souřadnic a výšek kalibračních bodů a to se střední souřadnicovou chybou a střední chybou ve výšce nepřesahující 10mm. Body zaměřte, určete jejich souřadnice a výšky a tyto porovnejte s původními. Analyzujte případný výskyt systematických rozdílů.

Množina určovaných kalibračních bodů bude upřesněna vedoucím práce.

Přílohou práce bude technická zpráva o určení souřadnic a výšek bodů.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce popisuje určení souřadnic a výšek bodů kalibračního pole v areálu AdMaS. V zadané lokalitě byla vybudována pomocná měřická síť. Z vrcholů této sítě následovalo podrobné zaměření bodů kalibračního pole. Stěžejní část práce se zabývá testováním přesnosti určení souřadnic a výšek bodů. Závěrečná část práce se zabývá porovnáním a testováním přesnosti určení souřadnic a výšek bodů mezi novým určením bodů kalibračního pole a určením z předchozích etap měření. Veškeré protokoly, výpočty, seznamy souřadnic, přehledky, včetně technické zprávy jsou umístěny v přílohách k této bakalářské práci.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kalibrační pole, vlíčovací bod, vyrovnání sítě, testování přesnosti, přehledka bodů

ABSTRACT

The bachelor's thesis describes the determination of coordinates and heights of calibration field points in the AdMaS complex. An auxiliary measuring network was built in the specified locality. From the tops of this network, a detailed survey of the calibration field points followed. The main part of the work deals with testing the accuracy of determining the coordinates and heights of points. The final part of the work deals with the comparison and testing of the accuracy of determining the coordinates and heights of points between the new determination of the points of the calibration field and the determination from the previous stages of measurement. All protocols, calculations, lists of coordinates, overviews, including a technical report are located in the appendices to this bachelor's thesis.

KEYWORDS

Calibration field, control point, network alignment, testing of the accuracy, overview of points

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Ondřej Pospíšil *Určení souřadnic a výšek bodů kalibračního pole*. Brno, 2022. 43 s., 7 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Určení souřadnic a výšek bodů kalibračního pole* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 9. 5. 2022

Ondřej Pospíšil
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Určení souřadnic a výšek bodů kalibračního pole* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9. 5. 2022

Ondřej Pospíšil
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

V úvodu bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Radovanovi Machotkovi, Ph. D. za důležité rady v průběhu měření a následného vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat mému otci, který mi pomáhal se zaměřením bakalářské práce a podporoval v rámci celého studia.

V Brně dne 9. 5. 2022

OBSAH

1 Úvod	- 10 -
2 Lokalita	- 11 -
3 Teoretická část	- 12 -
3.1 Geodetická síť	- 12 -
3.1.1 Volná síť	- 12 -
3.1.2 Vázaná síť	- 12 -
3.1.3 Horizontální síť	- 13 -
3.1.4 Výškové síť	- 13 -
3.2 Metody měření v účelových sítích	- 13 -
3.3 Použitá technologie měření	- 14 -
3.3.1 Použité metody měření v horizontální a výškové síti	- 15 -
3.3.2 Technologie GNSS	- 16 -
3.4 Systematické vlivy ovlivňující přesnost měření úhlu	- 17 -
3.4.1 Přístrojové systematické vlivy	- 18 -
3.4.2 Vlivy vnějšího prostředí	- 18 -
3.4.3 Vlivy centrační	- 18 -
3.5 Systematické vlivy ovlivňující přesnost měření délky	- 19 -
3.6 Kalibrační základna	- 19 -
3.6.1 Kalibrační pole UAS	- 20 -
3.6.2 Kalibrační pole MMS	- 20 -
4 Měřické práce	- 21 -
4.1 Přípravné práce	- 21 -
4.2 Rekognoskace	- 22 -
4.3 Přístrojové vybavení	- 23 -
4.3.1 Totální stanice Sokkia SX 103T	- 24 -
4.3.2 GNSS přijímač Trimble R6-4 a Trimble R12i	- 24 -
4.3.3 Pomůcky	- 25 -
4.4 Měřické práce	- 26 -
4.4.1 Ověření součtové konstanty hranolu	- 27 -
4.4.2 Zaměření pomocné měřické sítě	- 27 -
4.4.3 Zaměření vlčovacích bodů kalibrační základny	- 28 -
4.4.4 Zaměření místopisů bodů technologií GNSS	- 29 -
5 Výpočetní práce	- 30 -
5.1 Použitý software	- 30 -

5.1.1	<i>Groma</i>	- 30 -
5.1.2	<i>Microstation</i>	- 30 -
5.1.3	<i>Microsoft Excel</i>	- 30 -
5.2	Vyrovnaní pomocné měřické sítě	- 31 -
5.3	Výpočet podrobné měření	- 31 -
5.4	Testování přesnosti	- 31 -
5.4.1	<i>Testování přesnosti zaměření podrobných bodů</i>	- 32 -
5.4.2	<i>Porovnání s předchozími etapami měření</i>	- 33 -
5.5	Analýza výskytu systematických rozdílů	- 34 -
6	Grafické zpracování	- 36 -
6.1	Geodetické údaje	- 36 -
6.2	Přehledný náčrt pomocné měřické sítě	- 37 -
6.3	Přehledný náčrt kalibračních bodových polí	- 37 -
7	Závěr	- 39 -
8	Přílohy	- 40 -
8.1	Seznam použitých zkratk	- 40 -
8.2	Seznam obrázků	- 40 -
8.3	Seznam tabulek	- 41 -
8.4	Seznam příloh k praktické části bakalářské práce	- 41 -
9	Seznam použitých zdrojů	- 42 -

1 ÚVOD

Určování souřadnic a výšek bodů kalibračního pole má v dnešní době stále větší využití. Kalibrační pole se v současnosti využívají hlavně v oboru fotogrammetrie, při leteckém snímkování, skenování nebo mobilním mapováním. Výhodou těchto metod je, že nám poskytují velké množství dat za krátký časový interval. [1]

Bakalářská práce se zabývá určením souřadnic a výšek bodů kalibračního pole pro letecké snímkování a mobilní mapování. Cílem této práce je doplnit stávající pomocnou měřickou síť z předchozích etap měření a následně provést nové nezávislé zaměření již vybudovaných vlícovacích bodů.

Přesnost kalibračního bodového pole je závislá na mnoha faktorech. Hlavním faktorem, který ovlivňuje přesnost zaměření kalibračního pole je přesnost vybudování pomocné měřické sítě. Proto bylo důležité v této části zvolit vhodný technologický postup a metodu měření, abychom odstranily vliv nežádoucích systematických chyb.

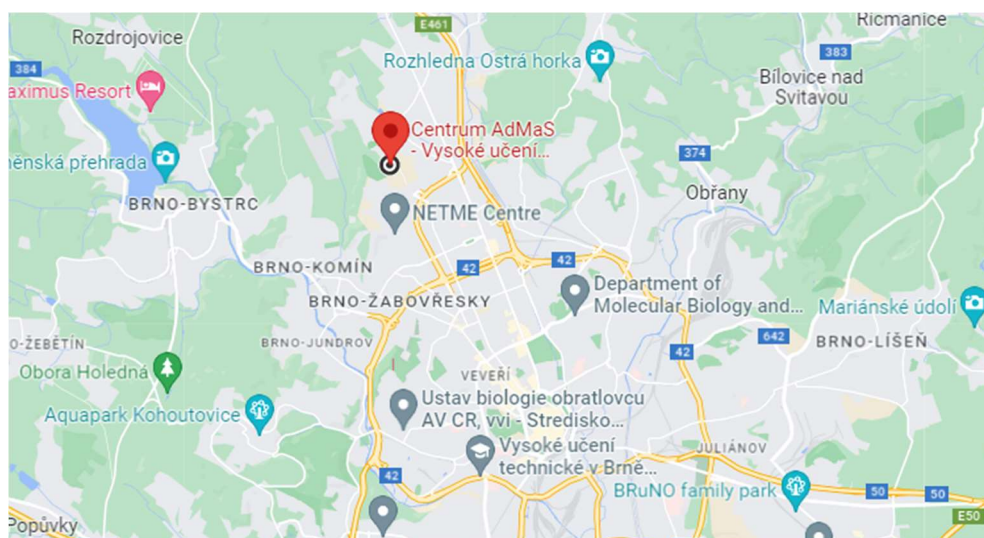
Další postup se skládal z vhodného zaměření vlícovacích bodů ze dvou měřických stanovisek, tak abychom se vyvarovaly chyb ze strmé záměry dalekohledu. Případně aby nám nevznikaly příliš ostré úhly mezi bodovou, na které je umístěná vertikální síť MMS, a spojnicí stanoviška a měřeného bodu. Je to z důvodu, že tyto body byly měřeny v bezhranolovém módu, nikoliv na odrazný hranol.

V této části se práce zabývá vyrovnáním pomocné měřické sítě a výpočtem podrobných bodů z dvojího určení. Cílem tohoto měření bylo stanovit přesnost určení souřadnic a výšek kalibračních bodových polí. Výsledné souřadnice byly následně porovnány s předchozími etapami měření a byla stanovena jejich nejistota.

V závěrečné části byla provedena analýza případných systematických rozdílů.

2 LOKALITA

Centrum AdMaS (Advanced Materials, Structures and Technologies) se nachází na severu Brna v městské části Medlánky. Taktéž leží v katastrálním území Medlánky [6117473]. Areál slouží jako vědecké centrum Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně. V areálu se nachází tři pavilony s názvem P1, P2, P4 a testovací hala s označením H. Tento areál slouží jako vědecké centrum a komplexní instituce v oblasti stavebnictví. [2]



Obrázek 1 - umístění centra AdMas vzhledem k městu Brnu



Obrázek 2 - centrum AdMaS 3D vizualizace

3 TEORETICKÁ ČÁST

3.1 Geodetická síť

Geodetická síť je soubor trvale nebo dočasně stabilizovaných bodů, které obvykle formou jednoduchých geometrických trojúhelníků nebo čtyřúhelníků pokrývají měřenou lokalitu. Geodetické sítě jsou využívány zejména při vytyčovací práci, v takovém případě by se jednalo o primární systém stavby neboli vytyčovací síť. Geodetické sítě se budují s velkými nároky na přesnost, jelikož od přesnosti vybudované sítě se odvíjí přesnost následného měření ať už by se jednalo o vytyčovací práce nebo práce měřické.[11]

Geodetické síť může být vyrovnávána jako volná nebo vázaná. Každá z těchto metod vyrovnání mají své jisté výhody případně nevýhody

3.1.1 Volná síť

Při vyrovnání volné sítě považujeme souřadnice všech bodů za neznámé. V takovém případě geodetická síť není umístěna v prostoru a je nutné doplnit další informace o prostorovém umístění sítě. [3]

- Výhoda takto vyrovnané sítě je, že není přizpůsobená žádným pevným bodům a tudíž nedochází k následné deformaci této sítě. Volné sítě se používají zejména pro práce, které vyžadují vysokou přesnost měření a není pro ně dostačující již existující geodetická síť jako např. S – JTSK.
- Nevýhoda je že výsledek takto vyrovnané sítě nenavazuje na stávající body, protože vyrovnáním volné sítě se změní souřadnice všech bodů.

3.1.2 Vázaná síť

V případě vyrovnání vázané sítě považujeme dostatečný počet bodů jako body pevné. Jsou to body, které jsou součástí geodetické sítě, ale jejich souřadnice se neurčují. Pro vyrovnání takové sítě je minimálně počet pevných bodů dva. Toto vyrovnání sítě se používá zejména při měření u kterých neklademe vysoké požadavky na přesnost měření.

- Výhoda takto vyrovnané sítě je, že vázaná síť je umístěna do referenčního systému za pomoci pevných bodů, zároveň nedojde ke změně souřadnic těchto bodů, a proto je výhodné tuto metodu vyrovnání používat například v katastru nemovitostí.
- Nevýhoda tohoto vyrovnání je, že ji nemůžeme použít při přesnějších měřeních jelikož uvažujeme souřadnice pevných bodů za bezchybné, a proto velice často dochází k následné deformaci našeho měření. V současné době jsme schopni se dostat na výrazně větší vnitřní přesnost měření, než kdybychom si naše měření nechaly deformovat např.

připojením na body PPBP $m_{x,y} = 0,06\text{m}$ a považovaly souřadnice tohoto bodu za bezchybné. [13]

3.1.3 Horizontální síť

Vytvoření projektu a vypracování horizontální sítě patří mezi nejdůležitější činnosti geodeta. Je to z toho důvodu, že jakákoliv chyba při vytváření této sítě se nám bude projevat ve všech dalších navazovacích pracích, a proto je nutné tento úkon vytvářet s náležitou pečlivostí. Horizontální síť můžeme dále rozdělit podle návaznosti na státní souřadnicový systém na vložené a místní. Dále je můžeme také rozdělovat podle tvaru a rozsahu na objektové liniové a plošné. [11]

3.1.4 Výškové síť

Výškové sítě bývají obvykle doplňkem horizontálních sítí. Výškové sítě bývají obvykle ve výškovém systému Balt po vyrovnání. Tyto sítě tvoří soustava hlavních výškových bodů z nichž jsou dále vytyčovány, případně zaměřovány výšky a výškové úrovně všech objektů stavby. [11]

3.2 Metody měření v účelových sítích

Pro určování souřadnic bodů geodetické sítě musíme tuto síť vyrovnat metodou nejmenších čtverců. Data, které nám mohou vstupovat do následného vyrovnání jsou následující:

- Vektory získané z relativních měření GNSS
- Měřením vodorovných, svislých směrů a délek
- Měřením vodorovných směrů, délek a převýšení, které vzniklo některou metodou geometrickou nivelací např. přesné nivelace nebo technické nivelace. Další metodou určení převýšení může být například trigonometrická nivelace.

Metodu měření v účelových sítích volíme podle požadavků na přesnost této sítě, přesnosti s jakou mají být vyhotoveny navazující měřické práce, časové a finanční náročnosti. Pro dosažení požadovaných nároků počítáme rozbor přesnosti před měřením, který nám stanoví počet měřických skupin při měření vodorovných a svislých směrů, dále také počet opakování měření délek.

V současné době se při měření v účelových sítích velmi často využívají robotické totální stanice. Měření vodorovných a svislých směrů probíhá ve 2 polohách dalekohledu a ve více skupinách. Počet těchto skupin se odvozuje z rozboru přesnosti před měřením. Dále jsou měřené šikmé délky, které jsou následně opraveny o různé systematické korekce. V minulosti se pro přesné měření délek používaly ocelová pásma, případně měření na základnovou lať BALA, která dosahovala přesnost měření délek v rámci desetin milimetru. Avšak kvůli časové

náročnosti této metody se v současnosti používá jen velice omezeně při velmi přesných pracích.

Metody měření ve výškových sítích se odvíjí od požadovaných nároků na přesnost. Mezi metody měření převýšení můžeme zařadit různé varianty geometrické nivelace ze středu případně trigonometrické nivelace.

Metody geometrické nivelace:

- Zvlášť přesná nivelace
- Velmi přesná nivelace
- Přesná nivelace
- Technická nivelace

Při výběru metody nivelace je důležité přihlížet k požadované přesnosti budování výškové sítě, protože čím přesnější použitá metoda tím je kladen větší důraz na přesnost a kvalitu samotných pomůcek, abychom dodržely požadovanou přesnost měření. Dalším důležitým faktorem při tomto výběru je časová náročnost každé metody, jelikož se zvyšující přesností použité metody roste i doba měření. Nejrychlejší, ale zároveň i nejméně přesnou metodou určení převýšení je trigonometrická nivelace ze středu.

3.3 Použitá technologie měření

Pro polohové zaměření geodetické sítě v areálu AdMaS bylo zvolena metoda měření vodorovných a svislých směrů ve dvou polohách dalekohledu. Měření ve dvou polohách dalekohledu bylo zejména výhodné pro odstranění vlivu systematických chyb jako např. vliv indexové chyby. Po konzultaci s vedoucím bakalářské práce doc. Ing. Radovanem Machotkou Ph. D bylo zvoleno, z důvodu časové náročnosti, měření vodorovných a svislých směrů pouze v jedné skupině. Orientováno bylo vždy na všechny viditelné body geodetické sítě a vzdálenosti byly měřeny vždy oboustranně. Pro dosažení vysokých nároků na přesnost zaměření vlícovacích bodů, bylo pro zaměření sítě použita trojpodstavcová souprava a podrobné body byly zaměřeny ze dvou různých stanovisek na vytyčovací minihranol, aby se minimalizovala chyba z centrace.

3.3.1 Použité metody měření v horizontální a výškové síti

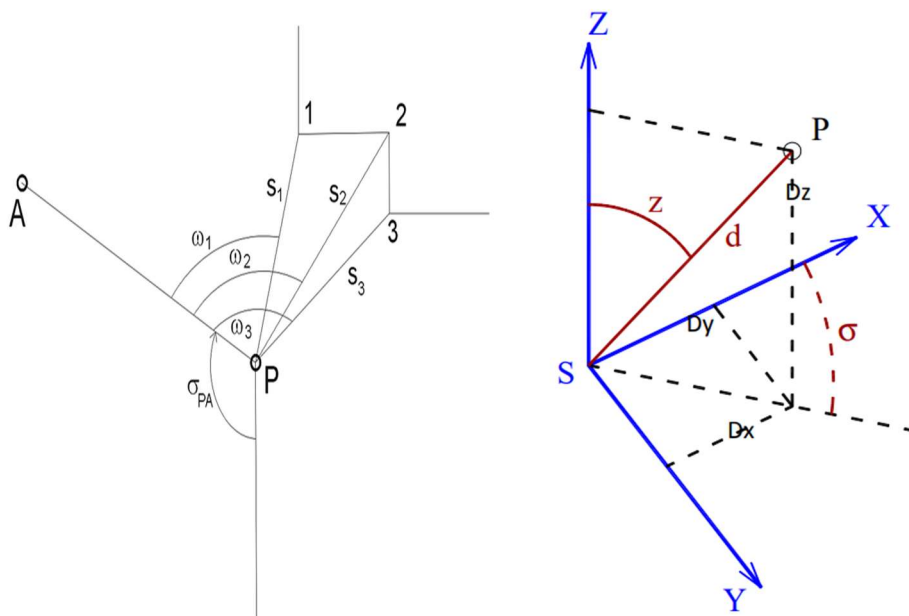
Metody měření pro horizontální a výškové sítě se mohou lišit podle požadované přesnosti měření, časové a finanční náročnosti.

Mezi metody měření v horizontální síti můžeme zařadit metody jako polární, ortogonální. Tyto metody bývají často doplňovány metodami doplňkovými jako třeba metodou konstrukčních oměrných.

Jako základní úlohy měření ve výškové síti můžeme považovat prostorovou polární metodu (tachymetrie s elektronickými dálkoměry), případně trigonometrickou nivelaci nebo některou z variant geometrické nivelace ze středu.

3.3.1.1 Polární metoda

Měření polárních souřadnic bodů je základní terestrickou metodou mapování. [5] Jednotlivé body jsou zaměřeny třemi veličinami a těmi jsou: svislého úhlu, vodorovný směr a šikmá délka.



Obrázek 3 - Schéma polární metody a schéma prostorové polární metody

Dříve se polární metoda potýkala s daleko nižší přesností jelikož délky a převýšení nebyly měřeny elektronickými dálkoměry, ale tyto veličiny byly měřeny nitkovými tachymetry. Nitkové tachymetry fungovaly na principu čtení spodního, horního, středního vlákna a zenitového úhlu na svislé lati. Pomocí náležitých výpočetních vztahů bylo možné taktéž určit délku a převýšení.

3.3.2 Technologie GNSS

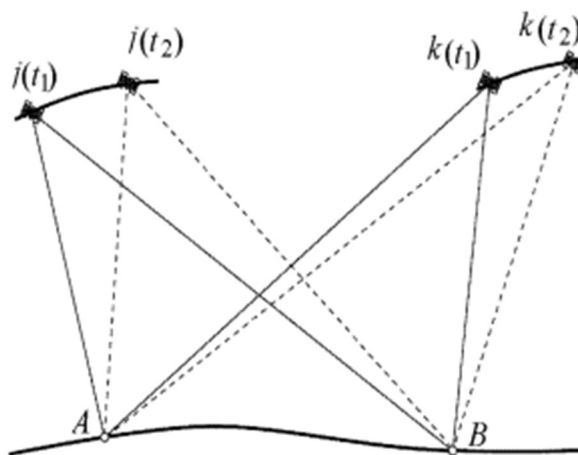
Technologie GNSS (Global Navigation Satellite System), Globální navigační satelitní systém je technologie, která nám umožňuje využívat data z družicového měření pro určování prostorového polohy na Zemi. [4]

Současné družicové systémy rozdělujeme na tři základní složky kosmický, řídicí a uživatelský segment.

Princip určování polohy technologií GNSS je založen na trilaterální metodě, což je matematický výpočet polohy bodu pomocí známých délek. Ve skutečnosti potřebujeme znát polohu bodu v trojrozměrném prostoru tím pádem pro 3D trilateraci vyžadujeme znát 3 body, které leží na povrchu tří koulí. V takovém to případě by nám stačilo mít pro vyřešení 3 neznámých (X, Y, Z) měření pouze ze 3 satelitů. V systémech GNSS potřebuje měření na 4 satelity, je to z toho důvodu, že měření na 3 satelity určíme neznáme (X, Y, Z) a pomocí 4 satelitu jsme schopni synchronizovat čas pro opravu chyby hodin přijímače. [16]

Při určování polohy přijímače je prvním krokem určit, které satelity budou použity do měření. Závisí to na geometrii mezi každým satelitem a přijímačem, a také na stavu přijímaného satelitního signálu. Dále je potřeba překonat problém se synchronizací hodin přijímače a poté je nutné určit pseudovzdálenost mezi přijímačem a satelitem. Pseudovzdálenost se pak odchyluje od skutečné délky díky vlivům atmosféry zejména ionosféry, troposféry dále také díky chybě hodin přijímače a vícecestnému šíření. [16] Tyto systematické chyby se dají eliminovat nebo podstatně zmenšit pomocí diferencovaných měření GNSS.

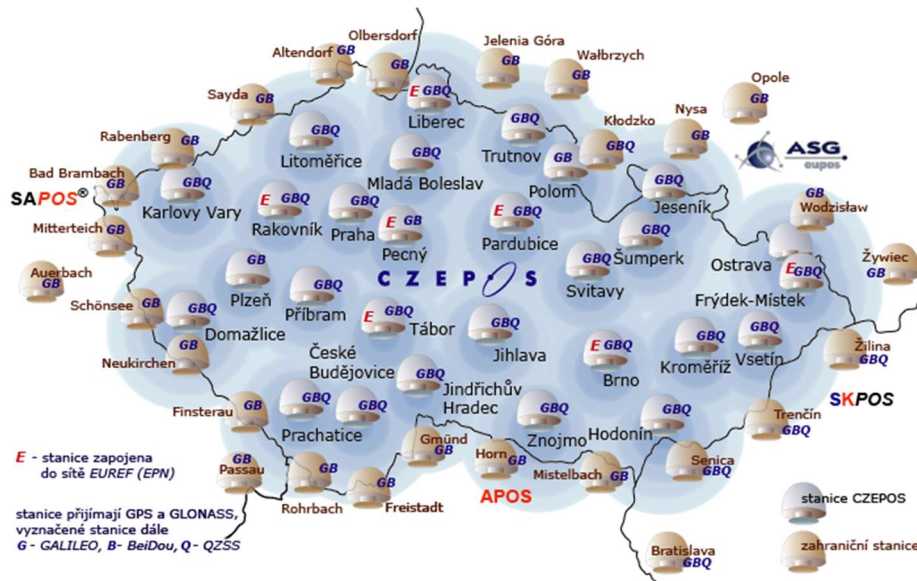
Princip diferencovaných měření GNSS je založený na simultánním měření dvojice přijímačů. Díky tomu způsobu měření jsme schopni eliminovat případně zmenšit vliv celé řady systematických chyb. Jedná se především o chyby korekce časové základny družice, přijímače a zmenšení chyb způsobených neznalostí přesných hodnot ionosférického a troposférického zpoždění a polohy družice. [17].



Obrázek 4 - Ukázka trojitě difference

Diference poté rozlišujeme na jednoduché, dvojité a trojité

- Jednoduchá diference – dva přijímače a jedna družice
- Dvojitá diference – dva přijímače a dvě družice = rozdíl jednoduchých diferencí
- Trojitá diference – dva přijímače a dvě družice = rozdíl dvojitých diferencí ve dvou etapách



Obrázek 5 - Ukázka sítě permanentních stanic GNSS České republiky

Síť permanentních stanic GNSS poskytuje uživatelům GNSS korekční data pro přesné určení pozice na území České republiky.

3.4 Systematické vlivy ovlivňující přesnost měření úhlu

Při měření úhlů působí celá řada systematických vlivů, které můžeme rozdělit do tří hlavních skupin [10]

- **Vlivy přístrojové** – tyto vlivy vznikají nedokonalostí konstrukce a seřízení úhломěrného přístroje [10]
- **Vlivy prostředí** – tyto vlivy mění dráhu záměrného optického paprsku. [10]
- **Vlivy centrační** – jsou způsobeny nepřesností centrace přístroje a cílových značek. [10]

3.4.1 Přístrojové systematické vlivy

Kolimační chyba je způsobena nekolmostí záměrné osy a točné osy dalekohledu [10], tato chyba se při měření ve dvou polohách dalekohledu vyloučí. V případě, že se měření nebo vytyčení provádí pouze v jedné poloze dalekohledu je nutné tento příslušný směr korigovat.

Chyba ze sklonu točné osy dalekohledu je způsobena nekolmostí točné osy dalekohledu a svislé osy alhidády [10]. Je to další chyba, která se při měření ve dvou polohách dalekohledu vyloučí. V případě, že se měření nebo vytyčení provádí pouze v jedné poloze dalekohledu je nutné tento směr korigovat.

Chyba z nesvislosti osy alhidády je způsobena nesvislou polohou osy, kolem které se otáčí alhidáda přístroje [10]. Problém tohoto systematického vlivu je, že se při měření ve dvou polohách dalekohledu, v jejich průměru nevyloučí.

3.4.2 Vlivy vnějšího prostředí

Mezi vlivy vnějšího prostředí patří hlavně atmosférické a fyzikální ovlivnění průběhu záměrného paprsku a těmi jsou boční refrakce a ohyb záměry na překážce [10]

Boční refrakce je jev, který je vyvoláván horizontálním teplotním gradientem. Vzniká v blízkosti stěn nebo jiných vertikálních konstrukcí, které mají teplotu rozdílnou od okolního prostředí. [10]

Ohyb záměry nastává v případě, že záměra probíhá v těsné blízkosti nějaké hrany. Ideální minimální odstup záměrného paprsku od překážek a stěn by měl být 0,15 – 0,25m. [10]

3.4.3 Vlivy centrační

Centrační chyby jsou systematické a vznikají nepřesnou centrací přístroje a cílových značek. Velikost těchto chyb je závislá na způsobu centrace, kvalitě seřízení centračních pomůcek, a taktéž na zkušenosti měřiče. [10]

Tab. 1 - Používané způsoby centrace a jejich přesnost

způsob centrace	střední polohová chyba $m_{p(e)}$
olovnice	2 – 5 mm
centrační tyč	1 – 2 mm
optický dostředovač	0,3 – 0,7 mm
nucená centrace	0,1 – 0,2 mm

3.5 Systematické vlivy ovlivňující přesnost měření délky

Při měření délky elektronickými dálkoměry je nutné tuto délku opravit o různé systematické vlivy. Je to z toho důvodu, že šíření elektromagnetického záření prochází atmosférou, která je však prostředí různorodé a značně proměnlivé.

Atmosféru charakterizuje zejména teplota, tlak a vlhkost vzduchu. Tato skupině parametrů se také nazývá jako fyzikální redukce. Tuto skupinu parametrů je možné zadat do přístroje před začátkem měření.

Další systematický vliv ovlivňující měření délek je z ověření součtové konstanty dálkoměru a odrazného systému. Hodnota této redukce je známa přímo od výrobce těchto systémů. Hodnotu této redukce je však nutné ověřovat ve vhodném časovém intervalu na kalibrační základně.

3.6 Kalibrační základna

Kalibrační bodové pole je vhodné zřídit v místech, ve kterém by nemělo dojít k jejímu poškození. Kalibrační základna je velmi vhodným zařízením k určení prvků vnitřních parametrů kamer pro snímkování. [6]

Kalibrační základna se skládá z vysokého množství vlíčovacích bodů. Tyto vlíčovaci body jsou umístěné na vozovce, dřevěných terčích na nepevněném povrchu, stěnách budov případně na střechách jednotlivých pavilonů.

Hlavní výhodou kalibrační základny je, že nám umožňuje porovnat přesnost určení souřadnic ať už mobilních mapovacích systémů nebo leteckého snímkování.

Je to z toho důvodu, že kontrolní zaměření této sítě je s významně větší přesností než je přesnost určení souřadnic metodami mobilního mapování nebo leteckého snímkování.



Obrázek 6- Ukázka signalizace terčů

Dále také pro určení prvků vnitřní orientace neměřických kamer a pro následnou analýzu těchto změn v čase. Jako prvky vnitřní orientace řadíme konstantu kamery, polohu hlavního snímkové bodu, radiální a tangenciální zkreslení. Při měření v kalibrační poli jsme schopni zjistit s dostatečnou přesností vlastnosti použitého přístroje a vyhotovit protokol o kalibraci [15], avšak tyto měření nejsou součástí této bakalářské práce.

V případě této bakalářské práce byly zaměřeny a následně porovnávány výsledky měření dvou kalibračních bodových polí v areálu AdMaS. Tyto dvě pole jsou složené z kalibračního pole pro systém bezpilotních letadel a kalibračního pole pro mobilní mapovací systémy.

3.6.1 Kalibrační pole UAS

Kalibrační pole pro systémy bezpilotních letadel bylo vybudováno pro účely testování přesnosti určení souřadnic z bezpilotních prostředků a určení kalibračních parametrů použitých kamer. Vlícovací body tohoto kalibračního pole jsou signalizovány šachovnicovým terčem na dřevěné desce o rozměrech 20 x 20 cm, který je umístěn přibližně 20 cm nad terénem na dřevěné nebo kovové tyči. Některé vlícovací body byly signalizovány a obdobným terčem, který byl nalepený na poklopech šachet a na střešní krytině jednotlivých pavilonů. Vlícovací body, které byly umístěny na střešní krytině jednotlivých pavilonů nebyly součástí měření. Celkový počet všech vlícovacích bodů kalibračního pole UAS je 92. Ukázka přehledného náčrtu kalibračního pole UAS v areálu AdMaS je obsažena v kapitole „6 GRAFICKÉ ZPRACOVÁNÍ“.



Obrázek 7 - Ukázka stabilizace fotogrammetrických terčů na nezpevněném povrchu

3.6.2 Kalibrační pole MMS

Kalibrační pole pro mobilní mapovací systémy bylo vybudováno pro obdobné účely jako kalibrační pole UAS. V tomto kalibračním poli byly vlícovací body signalizovány pomocí fotogrammetrických terčů o rozměru 20x20cm taktéž ve tvaru šachovnice. Tyto body jsou signalizovány nástřikem na vozovku pomocí spreje a šablony. Dále byly body umístěny na fasádách budov pomocí plastových fotogrammetrických terčů o rozměrech 20x20 cm. Celkový počet všech vlícovacích

bodů v tomto kalibračním poli je 213, z toho 119 horizontálních a 94 vertikálních. Ukázka přehledného náčrtu kalibračního pole MMS v areálu AdMaS je obsažena v kapitole „6 GRAFICKÉ ZPRACOVÁNÍ“.

4 MĚŘICKÉ PRÁCE

Tato kapitola se zabývá praktickou částí bakalářské práce. V rámci této kapitoly budou podrobně popsány veškeré přípravné a měřické práce na této bakalářské práci.

Jedná se především o vybudování pomocné měřické sítě a následném podrobném zaměření vlíčovacích bodů kalibrační základny. Každopádně jsou zde uvedeny i další náležitosti mající návaznost na měřické práce.

4.1 Přípravné práce

V rámci přípravných prací bylo nutné získat potřebné materiály od doc. Ing. Radovana Machotky. Ph.D. Součástí těchto materiálů byly technické zprávy a seznamy souřadnic z předchozích měření v areálu AdMaS. Jelikož se má bakalářská práce zabývat i porovnáním vlastního měření s měřením z předchozích etap, bylo nezbytné zvolit vhodný postup měření a vyrovnání. Je to z toho důvodu aby bylo vůbec možné tyto výsledky porovnávat jelikož potřebujeme zachovat vnitřní přesnost sítě a tudíž nebylo možné zavádět korekce ze zobrazení.

Dalším krokem byla konzultace ohledně měřických prací, vyrovnání sítě a rozsahu lokality s vedoucím bakalářské práce. Tato konzultace probíhala přímo v areálu AdMaS. V rámci této konzultace byl zvolen rozsah měření bodů kalibračního pole. Po dohodě s vedoucím bakalářské práce bylo dohodnuto, že součástí měření budou body kalibrační základny pro drony i body kalibrační základny pro mobilní mapování. Součástí této konzultace byla i volba bodů, na které se měřická síť připojí. Tyto body byly převzaty z projektu specifického výzkumu „FAST-S-19-5704 Geometrická přesnost mobilních mapovacích systémů“.

Poslední součástí přípravných prací byla výpůjčka vhodného vybavení, které by mi umožnilo dodržet požadovanou přesnost měření. Následně bylo nutné ohlásit správci areálu AdMaS ve, kterých dnech budou prováděny měřické práce. A jako poslední část přípravných prací bylo nutné nahrát do aparatury GNSS seznamy souřadnic stávajících bodů pomocných měřických sítí aby bylo možné provést jejich revizi a případné doplnění.

4.2 Rekognoskace

Dne 10.9.2021 byla provedena rekognoskace měřené lokality. V rámci rekognoskace byl sestaven seznam souřadnic rušených bodů. Tyto body byly z měření vyloučeny, protože je nebylo možné zaměřit z důvodu překrytu bodu stavební konstrukcí, stavebním materiálem nebo úplné absence bodu. Následně byla provedena rekognoskace dosavadní pomocné měřické sítě. Pomocí technologie GNSS a metody RTK byly vyhledány, následně signalizovány barevným sprejem, body dosavadní pomocné měřické sítě.



Obrázek 8 - Ukázka poškozeného fotogrammetrického terče

V následujícím kroku bylo nutné provést návrh nových bodů pomocné měřické sítě, jelikož stávající síť byla nedostatečná pro nové měření.

Stabilizace nových bodů pomocné měřické sítě se skládala z měřických hřebu, dřevěných kolíků, rohem šachty a fotogrammetrických terčů.

V posledním kroku bylo nezbytné ověřit polohu 3 bodů určených technologií GNSS, které byly určeny statickou metodou. Tyto body byly převzaty z projektu specifického výzkumu „FAST-S-19-5704 Geometrická přesnost mobilních mapovacích systémů“. Poloha těchto bodů byla ověřena GNSS přijímačem Trimble R6-4, výrobní číslo 5417463209.

Tab. 2 – Výsledky ověření polohy bodů technologií GNSS

Vytyčené body

Číslo bodu 4005

Datum:	10.09.2021	Čas	16:39
Výška Ant.:	1.70	Antena od	SZ
Přesnost YX:	0.011	Up:	0.01
Přesnost Z:	0.019	PDOP:	1.89
Počet sat.:	15	Doba měření:	20

Přesnost vytyčení:

Dané souřadnice	Rozdíly souřadnic	Vytyčené souřadnice
Y: 600329.03	dY: -0.01	Yv: 600329.04
X: 1156134.51	dX: 0.00	Xv: 1156134.52
Z: 294.73	dZ: -0.02	Zv: 294.75

Číslo bodu 4002

Datum:	10.09.2021	Čas	16:54
Výška Ant.:	1.70	Antena od	SZ
Přesnost YX:	0.008	Up:	0.01
Přesnost Z:	0.014	PDOP:	1.55
Počet sat.:	15	Doba měření:	21

Dané souřadnice	Rozdíly souřadnic	Vytyčené souřadnice
Y: 600382.20	dY: -0.02	Yv: 600382.22
X: 1155958.55	dX: 0.00	Xv: 1155958.55
Z: 293.96	dZ: -0.03	Zv: 293.98

Číslo bodu 4001

Datum:	10.09.2021	Čas	17:17
Výška Ant.:	1.70	Antena od	SZ
Přesnost YX:	0.010	Up:	0.02
Přesnost Z:	0.018	PDOP:	1.47
Počet sat.:	15	Doba měření:	21

Dané souřadnice	Rozdíly souřadnic	Vytyčené souřadnice
Y: 600319.87	dY: -0.02	Yv: 600319.88
X: 1156039.66	dX: -0.01	Xv: 1156039.67
Z: 292.96	dZ: -0.03	Zv: 292.99

V rámci ověření polohy převzatých bodů byl sestaven protokol „Ověření polohy bodů“, který je součástí příloh k bakalářské práci (02.1_Protokol ověření polohy bodů). Obsahem tohoto protokolu jsou další podrobnosti o měření technologií GNSS včetně Statutů stanic a ověřených souřadnic pro den 10.9.2021.

4.3 Přístrojové vybavení

Pro měřické práce bylo nezbytné zvolit vhodné přístrojové vybavení a pomůcky. Přístroje a pomůcky jsem volil podle požadavků na přesnost podrobného měření. Další důvodem pro výběr těchto pomůcek byla jejich snadná ovladatelnost a předchozí zkušenosti z terénu.

Mezi geodetické přístroje se řadila robotická totální stanice Sokkia SX 103T, (výrobní číslo Z80142), GNSS přijímač Trimble R6-4 + výtyčka, (výrobní číslo 5417463209) a GNSS přijímač Trimble R12i + výtyčka (výrobní číslo 6114F01579).

Dále byly použity geodetické pomůcky: 3x stativ dřevěný, 2x odrazný hranol s třínožkou, 1x výtyčka s odrazným hranolem a 1x vytyčovací minihranol. Tyto geodetické pomůcky byly ještě doplněny svinovacím metrem, kladivem, sprejem, dřevěnými kolíky a měřickými hřeby.

Geodetické přístroje a pomůcky byly zapůjčeny od firmy Kvadrant, spol. S R.o., kromě GNSS přijímače Trimble R6-4 + výtyčka, (výrobní číslo 5417463209), který byl zapůjčen z fakultního skladu.

4.3.1 Totální stanice Sokkia SX 103T

Tuto totální stanici jsem zvolil z důvodu snadné ovladatelnosti a požadovaných vlastností co se týče přesnosti měření délek i úhlů. Vlastnosti totální stanice a podrobné parametry jsou uvedeny [7]. Výhodou této totální stanice je, že se zamyká a automaticky sleduje hranol.



Obrázek 9 - Totální stanice Sokkia SX 103T

4.3.2 GNSS přijímač Trimble R6-4 a Trimble R12i

Další přístrojovým vybavením použitým při měřických pracích byly dva GNSS přijímače. Výběr těchto přijímačů nebyl nějak zvlášť složitý jelikož nebyly použity pro měření v pomocné měřické síti ani při podrobném měření, ale pouze pro doplňkové práce a tudíž na ně nebyly kladeny takové nároky na přesnost jako třeba na výběr totální stanice.

GNSS přijímač Trimble R6-4 byl použit pouze pro rekognoskaci, vyhledání bodů stávajících pomocných měřických sítí a následné ověření polohy 3 bodů převzatých z projektu specifického výzkumu „FAST-S-19-5704 Geometrická přesnost mobilních mapovacích systémů“. Vlastnosti GNSS přijímače a podrobné parametry jsou uvedeny [8].



Obrázek 10 - GNSS přijímač Trimble R6-4

GNSS přijímač Trimble R12i byl použit pouze pro měření místopisů 3 bodů, které byly převzaty z projektu specifického výzkumu „FAST-S-19-5704 Geometrická přesnost mobilních mapovacích systémů“. Vlastnosti GNSS přijímače a podrobné parametry jsou uvedeny [9]



Obrázek 11 - GNSS přijímač Trimble R12i

4.3.3 Pomůcky

Jak již bylo zmíněno v začátku kapitoly, při měření byly použity také další geodetické pomůcky. Za nejdůležitější pomůcky byl označil 2x odrazné hranoly s třínožkou, dále také univerzální 360 stupňový hranol na výtyčce a vytyčovací minihranol.

Vytyčovací minihranol je pomůcka, která se používá zejména v inženýrské geodézii při velmi přesných pracích. Důvodem proč jsem zařadil tento hranol do měření je ten, že průměr hranolu je jen 25mm a má konstantu 0 mm. Dalším podstatným bodem je ten, že hranol je umístěn na krátké výtyčce, která má délku

jen 80 cm a hranol se dá posunout po výtyčce tak, že je jen 5 cm nad podrobným bodem. Díky parametrům tohoto hranolu je možné měřit podrobné body s vysokou přesností a z velké části předejdeme chybě z centrace, která by byla způsobena figurantem držící hranol na klasické výtyčce přibližně ve výšce 1,5 m.



Obrázek 12 – Vytyčovací minihranol a klasický odrazný hranol

Dalšími pomůckami použitých při měření byly dřevěné stativy, které se stavěly na body pomocné měřické sítě. Dále to byl svinovací metr, který byl použit pro měření výšky přístroje a cílů na stanovištích. Sloužil také k ověření výšky hranolu na výtyčce. A neposlední řadě tady patří pomůcky pro stabilizaci a signalizace pomocné měřické sítě a těmi jsou dřevěné kolíky, nastřelovací hřebky, barevný sprej a kladivo.

4.4 Měřické práce

V této kapitole jsou podrobně popsány měřické činnosti a postupy použité pro zaměření pomocné měřické sítě, vlivovacích bodů kalibrační základny a místopisů tří bodů pomocné měřické, na které je připojena pomocná měřická síť.

Před zahájením samotného měření bylo nezbytné zkontrolovat stav přístroje a následně také použitých geodetických pomůcek. U všeho vybavení byla zkontrolována chyba z centrace, dále byla také ověřena svislost výtyček. V neposlední řadě byly také ověřeny součtové konstanty hranolu.

V posledním kroku byly takové nastaveny hodnoty pro výpočet fyzikálních redukcí přímo do totální stanice. Těmito hodnotami byly teplota, tlak a vlhkost vzduchu je měřena přímo totální stanicí. Problém nastal během dne, protože měření trvalo zhruba 13 hodin, a proto bylo nutné hodnoty teploty a tlaku v průběhu dne měnit v totální stanicí.

4.4.1 Ověření součtové konstanty hranolu

Ověření součtové konstanty hranolu je nedílnou součástí přípravných prací před samotným měřením. Je to díky tomu, že hodnota konstanty hranolů se může po čase změnit a z nejistoty, že tyto hranoly mi byly pouze zapůjčeny a se dvěma z nich jsem neměl předchozí zkušenost.

Ověření součtové konstanty proběhlo na měřické základně před samotným měřením. Testovány byly všechny 4 hranoly. Délky byly měřeny vždy obousměrně a výsledky ověření těchto konstant včetně rozboru přesnosti jsou sestaveny do přehledných tabulek v příloze (03.1_Ověření součtové konstanty hranolů).

Tab. 3 - Výsledky ověření součtové konstanty pro hranol č. 1

Ověření součtové konstanty hranolu

Hranol č. 1 – na stativu [konstanta hranolu -30 mm]

Úsek	Vodorovná délka TAM [m]	Vodorovná délka ZPĚT [m]	$\bar{x}$ [m]	Rozdíl TAM-ZPĚT d
a	15,523	15,524	15,5235	-0,0010
b	15,986	15,987	15,9862	-0,0008
c	31,511	31,510	31,5105	0,0002

Výpočet součtové konstanty PSM:

$$PSM = c - (a + b) = 31,5105 - (15,5235 + 15,9862) = 0,0008 \text{ m}$$

Výběrová směrodatná odchylka jednoho měření délky ve dvojici:

$$m_{d'} = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{2n}} = 0,0005 \text{ m}, n = 3$$

Přesnost aritmetického průměru dvojice:

$$m_d = \frac{m_{d'}}{\sqrt{2}} = 0,0004 \text{ m}$$

Přesnost určení PSM:

$$m_{PSM} = m_d \times \sqrt{3} = 0,0006 \text{ m}$$

$$\delta_{PSM} = t \times m_{PSM} = 2 \times 0,0006 = 0,0012 \text{ m}$$

$$PSM \leq \delta_{PSM} \gg 0,8 \text{ mm} \leq 1,2 \text{ mm}$$

Konstanta hranolu se nepřenastavuje.

4.4.2 Zaměření pomocné měřické sítě

Zaměření bodů pomocné měřické sítě probíhalo ve dnech 11.9. a 12.9. 2021. Body, které byly převzaty z projektu specifického výzkumu „FAST-S-19-5704 Geometrická přesnost mobilních mapovacích systémů“ byly zaměřeny 11. 3. 2019 technologií GNSS. Na bodech bylo měřeno statickou metodou o délce měření přibližně 80 minut.

K měření GNSS byly využity přijímače pro jednotlivé body

- 4001 - TRIMBLE R4-3 (v. č. 5329440578)
- 4002 - TRIMBLE R8S (v. č. 5722R02206)
- 4005 - TRIMBLE R8S (v. č. 5742R00539)

Pro zaměření pomocné měřické sítě byla využita trojpodstavcová souprava. Měření v pomocné měřické síti bylo provedeno ve 2 polohách dalekohledu a měřeny byly také oboustranně délky mezi jednotlivými vrcholy sítě. Výšky byly určeny trigonometricky. Fyzikální redukce byly zavedeny před samotným měřením a poté byly v průběhu dne měněny z důvodu velkého rozdílu teplot a vlhkosti vzduchu. Sít byla řešena jako volná.



Obrázek 13 - Ukázka postavení stativu s odrazným hranolem na bodu PMS

Souhrn stabilizací bodů PMS

- 9x měřický hřeb
- 1x harpun
- 1x roh šachty
- 4x měřický fotogrammetrický terč
- 4x dřevěný kolík

4.4.3 Zaměření vlíčovacích bodů kalibrační základny

Zaměření vlíčovacích bodů kalibrační základny probíhalo ve dnech 11.9. a 12.9. 2021. měřeno bylo vždy z vrcholů pomocné měřické sítě. Všechny body byly zaměřeny polární metodou ve dvou polohách dalekohledu. Pro zaměření vlíčovacích bodů byl použit vytyčovací minihranol, výtyčka s odrazným hranolem a bezhranolové měření.



Obrázek 14 - Ukázka podrobného měření pomocí vytyčovacího minihranolu

Kontrolní určení vlíčovacích bodů kalibrační základny bylo provedeno vždy ze dvou stanovisek PMS ve dvou polohách dalekohledu. Pro kontrolní určení vlíčovacích bodů nebyla vybudována druhá kontrolní síť z důvodu vysoké časové náročnosti celého měření.

4.4.4 Zaměření místopisů bodů technologií GNSS

Zaměření místopisů bodů kalibrační základny probíhalo dne 26.9.2021. Po dohodě s vedoucím bakalářské práce byly zaměřeny místopisy pouze 3 bodů. Jsou to body, které byly převzaty z projektu specifického výzkumu „FAST-S-19-5704 Geometrická přesnost mobilních mapovacích systémů“. Tyto body jsou stabilizovány měřickými hřeby v asfaltovém povrchu vozovky. Důvodem proč byly vytvořeny místopisy pouze pro tyto body je ten, že navazují na předchozí měřické práce a neexistoval k nim místopis bodů.

Místopisy byly měřeny GNSS přijímačem Trimble R12i metodou RTK.

5 VÝPOČETNÍ PRÁCE

Výpočetní práce jsou nezbytnou součástí zeměměřických aktivit. V této kapitole popisují jaký byl zvolen software použitý pro výpočetní práce. Dále tato kapitola obsahuje výpočetní postup při vyrovnání pomocné měřické sítě a podrobného měření. Součástí této kapitoly jsou také výsledky vyrovnání sítě ze softwaru Groma. V neposlední řadě je zde také popsáno jakým způsobem bylo řešeno testování přesnosti zaměření kalibrační základny a následná analýza systematických korekcí.

5.1 Použitý software

V rámci této bakalářské práce byly použity dva výpočetní a jeden grafický software. Volba těchto softwarů byla přizpůsobena požadavkům na geodetické výpočty, grafickou stránku a následnou analýzu výsledku měření. Proto byly zvoleny odlišné SW pro různé body této práce.

5.1.1 Groma

Groma je geodetický systém pracující v prostředí MS Windows. Systém je určen ke komplexnímu zpracování geodetických dat od surových údajů přenesených z totální stanice až po výsledné seznamy souřadnic, výpočetní protokoly a kontrolní kresbu.

5.1.2 Microstation

Microstation je grafický software, který je základem řešení pro architekturu, stavební inženýrství a dopravu. Microstation umožňuje vytváření 2D a 3D výkresů, a proto je vhodný pro vytváření veškerých grafických výstupů v rámci geodetické dokumentace.

5.1.3 Microsoft Excel

Microsoft excel je velice rozšířený tabulkový procesor. Excel umožňuje provádění velkého množství úkonů, který jsou např.:

- Tvorba tabulek a grafů
- Analýzu dat
- Automatické výpočty
- Tvorbu databází
- Tvorbu kontingenčních tabulek a grafů

5.2 Vyrovnání pomocné měřické sítě

Pomocná měřická síť byla počítána a vyrovnávána v softwaru Groma v.12.2. Do prostředí SW Groma byl naimportován zápisník měření. Dále proběhlo zpracování zápisníku aby bylo možné následně vyrovnat pomocnou měřickou síť. Do výpočtu nebyly zavedeny matematické korekce z důvodu zkreslení vzdálenosti, které by nám následně síť deformovaly a zhoršily vnitřní přesnost sítě. I když výsledné souřadnice mají podobu souřadnic S-JTSK tuto síť bych označil za místní jelikož zde není zaveden měřítkový koeficient. Dalším důvodem proč byl zvolen tento postup byl ten, aby bylo možné porovnávat výsledné souřadnice podrobných bodů s předchozími etapami měření, které použily obdobný výpočetní postup. Poté už byl jen naimportován seznam souřadnic s přibližnými souřadnicemi stanovisek a dopočteny polární metodou přibližné souřadnice stanovisek nových. V tomto kroku byly nastaveny parametry sítě a následně síť byla vyrovnávána jako volná. Nakonec byl už jen vytvořen seznam souřadnic vyrovnaných stanovisek pomocné měřické sítě.

Dosažená střední souřadnicová chyba $m_{x,y} = 2,5$ [mm]

Dosažená střední chyba vyrovnaných výšek $m_h = 2,7$ [mm]

Podrobný výpočetní protokol o vyrovnání pomocné měřické sítě je obsažen v příloze (04.1_Protokol vyrovnání sítě) k bakalářské práci.

5.3 Výpočet podrobné měření

Výpočet podrobného měření probíhal taktéž v softwaru Groma v.12.2. Do prostředí tohoto SW byl naimportován zápisník podrobného měření, který byl upraven o hrubé chyby, které vznikly nepozorností při měření. Dále byl také naimportován seznam souřadnic vyrovnaných bodů pomocné měřické sítě. I v tomto případě nebylo zavedeno měřítko zkreslení jako tomu bylo u vyrovnání pomocné měřické sítě. Poté proběhlo zpracování zápisníku a výpočet podrobných bodů kalibrační základny. Všechny podrobné body byly počítány pomocí polární metody. Zápisník obsahoval jak měření podrobných bodů kalibrační základny tak kontrolní zaměření těchto bodů, proto vypočtené souřadnice byly ukládány do dvou různých seznamů souřadnic (Seznam souřadnic podrobných bodů a seznam souřadnic kontrolních bodů). Důvodem proč nebyl přímo ukládán aritmetický průměr dvojice souřadnic byl ten aby bylo možné provést důkladnější rozbor tohoto souboru měření. Tento rozbor je popsán v kapitole testování přesnosti.

5.4 Testování přesnosti

Testování přesnosti určení souřadnic a výšek bodů je nezbytnou kontrolou našeho měření. Naše měření nestačí kontrolovat pouze v průběhu měření, jestli není zatíženo vlivem hrubých chyb, ale je nutné výsledné měření testovat jako celek. Kontrolní určení podrobných bodů by mělo probíhat ve stejné nebo vyšší třídě přesnosti a mělo by být nezávislé.

Postup, který byl zvolen pro kontrolní určení souřadnic i výšek bodů není zcela nezávislý. Je to způsobeno rozsahem měřené lokality a časové náročnosti, která by vznikla při budování druhé nezávislé sítě. Proto po domluvě s vedoucím bakalářské práce kontrolní určení podrobných bodů probíhalo ze stávajících bodů pomocné měřické sítě a to tak, že každý kontrolní bod byl zaměřený z jiného stanoviska této sítě než při jeho prvním určení.

Kontrolní měření a měření původního určení podrobných bodů, bylo testováno podle ČSN 013410 pro 1. třídu přesnosti [12]. V této normě jsou uvedeny použité vzorce, které byly použity pro testování přesnosti určení souřadnic i výšek.

5.4.1 Testování přesnosti zaměření podrobných bodů

Testování přesnosti proběhlo v sw. Excel dle ČSN 01 3410. Testování přesnosti podrobných bodů vychází ze vzorců uvedených v této normě. Testovány byly podrobné body z dvojího určení polohově i výškově podle 1. třídy přesnosti. Toto kritérium splnilo 203 bodů z 203 testovaných. Výsledky dvojího určení jsou přehledně sestaveny v tabulkové editoru Microsoft Excel.

Tab. 4 - Ukázka testování přesnosti podrobných bodů v sw. Excel

Bod	Podrobné měření		Kontrolní měření		ΔY [m]	ΔX [m]	$ \Delta p \leq 1,7 \cdot u_{xy}$
	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]			
1	600351,028	1156109,455	600351,048	1156109,459	-0,020	-0,004	0,020
2	600342,709	1156078,104	600342,712	1156078,108	-0,003	-0,004	0,005
6	600404,161	1156058,068	600404,165	1156058,079	-0,004	-0,011	0,012
7	600389,384	1156073,785	600389,390	1156073,790	-0,006	-0,005	0,008
8	600376,049	1156087,774	600376,045	1156087,779	0,004	-0,005	0,006

Tab. 5 - Výsledek testování přesnosti podrobných bodů

Testování přesnosti dle ČSN 01 3410 pro 1. třídu přesnosti

$S_y = \sqrt{\frac{1}{k \cdot N} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta Y_i^2}$	0,006	$S_{xy} = \sqrt{0,5 \cdot (s_x^2 + s_y^2)}$	0,006
$S_x = \sqrt{\frac{1}{k \cdot N} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta X_i^2}$	0,006	$S_{xy} \leq \omega_{2N} \cdot u_{xy}$	0,006 ≤ 0,044
$\Delta p_{\max} =$	0,039	$ \Delta p \leq 0,068$	
$S_H = \sqrt{\frac{1}{k \cdot N} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta H_i^2}$	0,005	$ \Delta H \leq u_h \cdot \sqrt{k}$	$ \Delta H \leq 0,085$
$\Delta H_{\max} =$	0,018	$S_H \leq \omega_N \cdot u_h$	0,005 ≤ 0,033

Dosažená výběrová směrodatná souřadnicová odchylka $S_{xy} = 0,006$ [m]

Dosažená výběrová směrodatná výšková odchylka $S_H = 0,005$ [m]

5.4.2 Porovnání s předchozími etapami měření

Porovnání s předchozími etapami měření proběhlo v sw. Excel dle ČSN 01 3410. Jako 1. Etapu měření označuji původní zaměření kalibračních bodových polí a 2. Etapa měření je zaměření aktuálního stavu kalibračních bodových polí. Testování přesnosti předchozích etap měření vychází ze vzorců uvedených v této normě. Testovány byly podrobné body z předchozích etap měření a výsledné souřadnice podrobných bodů ze současného měření podle 1. třídy přesnosti. Porovnáno bylo celkem 234 bodů. Testovací kritérium splnilo 233/234 bodů. Následně byl bod č. 71, který nesplnil toto testovací kritérium ze souboru vyloučen z důvodu porušené stabilizace bodu. Výsledky porovnání s předchozími etapami měření jsou přehledně sestaveny v tabulkovém editoru Microsoft Excel.

Tab. 6 - Ukázka porovnání s předchozími etapami měření v sw. Excel

Bod	1. Etapa měření			2. Etapa měření		
	Y [m]	X [m]	H [m]	Y [m]	X [m]	H [m]
1	600351,041	1156109,479	298,370	600351,038	1156109,457	298,384
2	600342,714	1156078,110	297,543	600342,711	1156078,106	297,558
6	600404,159	1156058,098	303,647	600404,163	1156058,074	303,658
7	600389,379	1156073,801	302,674	600389,387	1156073,788	302,686
8	600376,041	1156087,784	301,294	600376,047	1156087,777	301,308

ΔY [m]	ΔX [m]	ΔH [m]	$ \Delta p \leq 1,7 \cdot u_{xy}$	$ \Delta H \leq u_h \cdot \sqrt{k}$
0,003	0,022	-0,014	0,022	0,014
0,003	0,004	-0,015	0,005	0,015
-0,004	0,024	-0,011	0,024	0,011
-0,008	0,013	-0,012	0,015	0,012
-0,006	0,007	-0,014	0,009	0,014

Tab. 7 - Výsledky porovnání s předchozími etapami měření

Testování přesnosti dle ČSN 01 3410 pro 1. třídu přesnosti

$S_y = \sqrt{\frac{1}{k \cdot N} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta Y_i^2}$	0,006	$S_{xy} = \sqrt{0,5 \cdot (s_x^2 + s_y^2)}$	0,006
$S_x = \sqrt{\frac{1}{k \cdot N} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta X_i^2}$	0,006	$S_{xy} \leq \omega_{2N} \cdot u_{xy}$	0,006 ≤ 0,044
$\Delta p_{\max} =$	0,033	$ \Delta p \leq 0,068$	

$S_H = \sqrt{\frac{1}{k \cdot N} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta H_i^2}$	0,007	$ \Delta H \leq u_h \cdot \sqrt{k}$	$ \Delta H \leq 0,085$
$\Delta H_{\max} =$	0,020	$S_H \leq \omega_N \cdot u_h$	0,007 ≤ 0,033

Dosažená výběrová směrodatná souřadnicová odchylka $S_{xy} = 0,007$ [m]

Dosažená výběrová směrodatná výšková odchylka $S_H = 0,007$ [m]

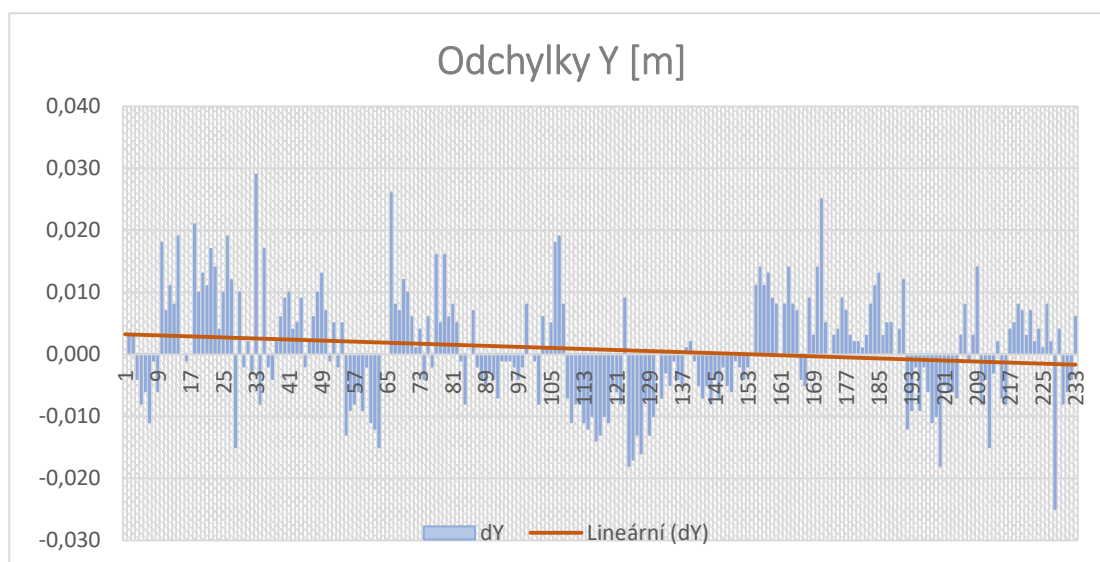
5.5 Analýza výskytu systematických rozdílů

Analýza výskytu systematických rozdílů byla posuzována na základě odchylek mezi souřadnicemi bodů získaných z nového měření kalibračních polí a bodů z původního zaměření. Do této analýzy vstupuje celkem 233 vlíčovacích bodů z toho 34 bodů kalibračního pole UAS a 199 bodů kalibračního pole MMS. V tabulce 8 je možné vidět přesnost určení souřadnic mezi novým a původním zaměřením.

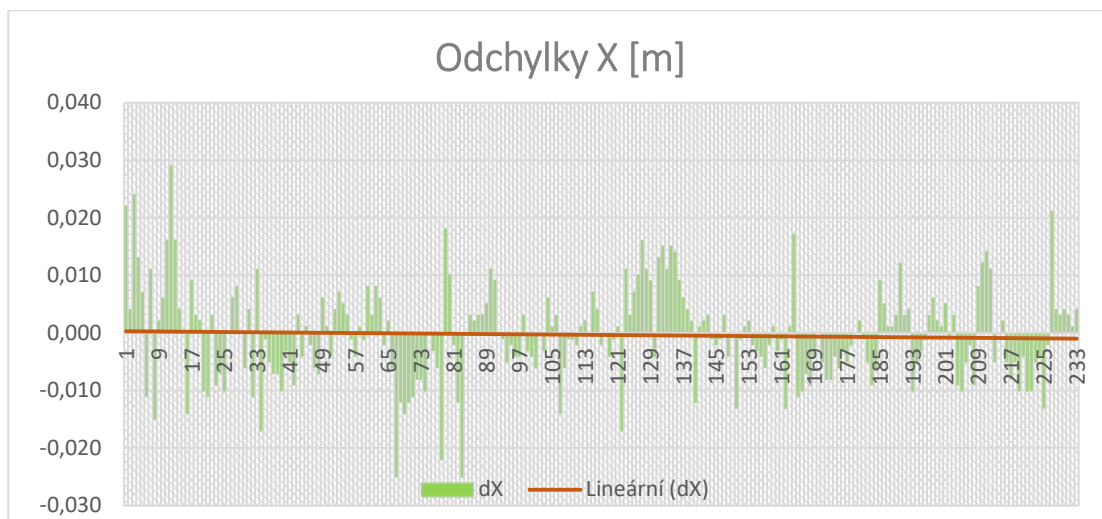
Tab. 8 - Souřadnicové odchylky na bodech kalibračního pole

	ΔY [m]	ΔX [m]	ΔH [m]
Průměr	0,001	0,000	-0,009
Maxima absolutních hodnot	0,029	0,029	0,010
Medián	0,000	0,000	-0,009
Střední chyba	0,006	0,006	0,007

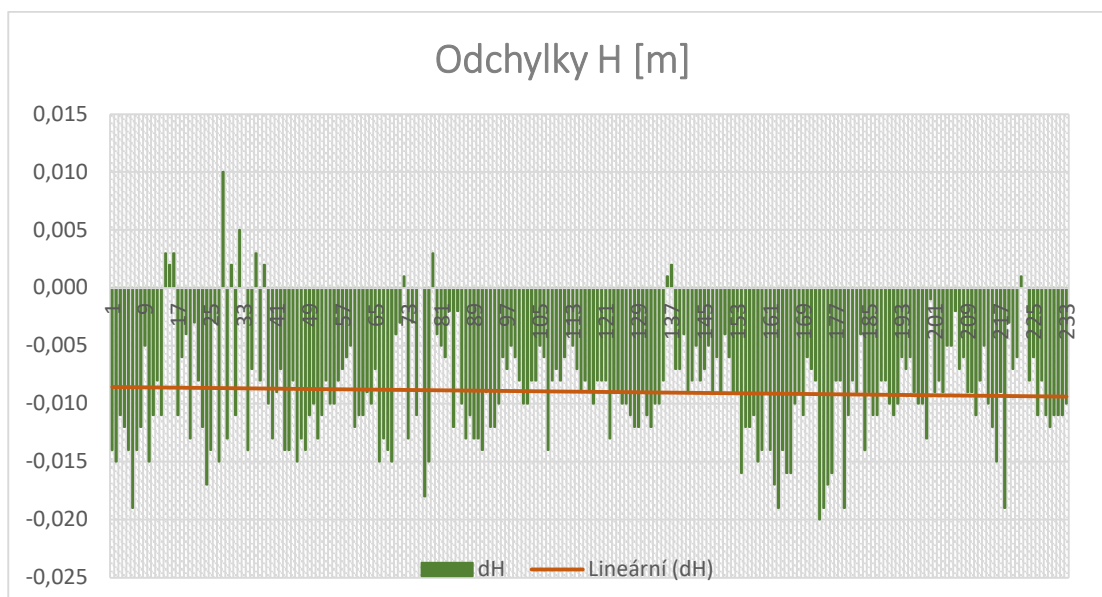
Porovnání výsledků mezi novým a původním zaměřením bodů kalibrační základny bylo interpretováno graficky formou tří sloupcových grafů. Z grafů pro odchylky v souřadnici Y a X obr.24 a obr.25 vyplývá, že porovnání dvojího určení souřadnic Y a X není zatíženo systematickými rozdíly. Rozdíly ve výšce z 1. etapy měření a 2. etapy měření jsou zobrazeny na obr. 26. Z tohoto grafu vyplývá, že mezi původním určením a novým určením podrobných bodů kalibrační základny vzniká zcela jednoznačně systematický rozdíl ve výšce. Velikost tohoto systematického rozdílu je nejpravděpodobněji -0,009 m.



Obrázek 15 - Odchylky mezi souřadnicí Y (1. etapy měření <-> 2. etapy měření)



Obrázek 16 – Odchyly mezi souřadnicí X (1. etapy měření <-> 2. etapy měření)



Obrázek 17 - Odchyly mezi výškami H (1. etapy měření <-> 2. etapy měření)

Na základě této analýzy lze usuzovat, že se v porovnání výšek bodů kalibračního pole mezi 1. a 2. etapou měření (původní měření a nové měření) vyskytuje výrazný systematický rozdíl, téměř u všech podrobných bodů. Velikost tohoto systematického posunu je nejpravděpodobněji -0,009 m.

Jako návrh pro odstranění tohoto systematického rozdílu bych zvolil nové měření technologií GNSS statickou metodou na bodech, které byly převzaty z projektu specifického výzkumu „FAST-S-19-5704 Geometrická přesnost mobilních mapovacích systémů“. Je to z toho důvodu, že mohlo dojít k deformaci těchto bodů, jelikož jsou stabilizovány pouhým nastřelovacím hřebem v asfaltovém povrchu komunikace. A důsledkem průjezdu těžké automobilové dopravy, které se pohybuje v areálu AdMaS se stavebním materiálem mohlo dojít k deformaci těchto bodů a následnému výškovému posunu celého kalibračního bodového pole.

6 GRAFICKÉ ZPRACOVÁNÍ

Po získání vypočtených souřadnic jsem mohl přistoupit k poslední části této bakalářské práce a tím je grafické zpracování. Grafické zpracování probíhalo v softwaru MicroStation V8i. Obsahem tohoto zpracování je vytvoření geodetických údajů, přehledné náčrty kalibračních bodových polí a náčrt pomocné měřické sítě.

6.1 Geodetické údaje

Kot.území: 611743 Medlánky			Obec: 582786 Brno		Str.: 1
Bod 4001	Y	600319,866	Nadm. výška (Bpv)	292,972	SM0-5 Tišnov 0-8
	X	1156039,656	Nárys nebo detail		
Orientace na bod					
Popis, způsob stabilizace Bodem je kovový hřeb o průměru 1 cm. Nachází se v asf. cestě v areálu AdMaS, v Brně.					
Určení bodu: Technologii GNSS					
Bod zřídl, rok: zřízen v roce 2019 Vyhotovl: Ondřej Pospíšil			Poznámky		
Bod 4002	Y	600382,199	Nadm. výška (Bpv)	293,962	SM0-5 Tišnov 0-8
	X	1155958,540	Nárys nebo detail		
Orientace na bod					
Popis, způsob stabilizace Bodem je kovový hřeb o průměru 1 cm. Nachází se v asf. cestě v areálu AdMaS, v Brně.					
Určení bodu: Technologii GNSS					
Bod zřídl, rok: zřízen v roce 2019 Vyhotovl: Ondřej Pospíšil			Poznámky		
Bod 4005	Y	600329,033	Nadm. výška (Bpv)	294,721	SM0-5 Tišnov 0-8
	X	1156134,518	Nárys nebo detail		
Orientace na bod					
Popis, způsob stabilizace Bodem je kovový hřeb o průměru 1 cm. Nachází se v asf. cestě v areálu AdMaS, v Brně.					
Určení bodu: Technologii GNSS					
Bod zřídl, rok: zřízen v roce 2019, Vyhotovl: Ondřej Pospíšil			Poznámky		

Geodézie č. 4.43 - 1986

RSC G16 g1.00 - 2007

Obrázek 18 - Ukázka vyhotovených geodetických údajů

6.2 Přehledný náčrt pomocné měřické sítě

Lokalita: AdMaS
Obec: Brno

Přehledný náčrt pomocné měřické sítě



Legenda:

•56 Bod pomocné měřické sítě
— Oboustranně měřený směr a délka

1:750



Vypracoval: Pospíšil Ondřej

Obrázek 19 - Ukázka pomocné měřické sítě

6.3 Přehledný náčrt kalibračních bodových polí

Lokalita: AdMaS
Obec: Brno

Přehledný náčrt kalibračního pole LMS



Legenda:

- 56 Vlíčovací bod - 2x určený
- 23 Vlíčovací bod - 1x určený

1:750



Vypracoval: Pospíšil Ondřej

Obrázek 20 - Ukázka kalibračního pole LMS



7 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo provést rekognoskaci, zaměření, následné testování přesnosti aktuálního stavu kalibračních bodových polí, pro kalibraci mapovacích systémů v areálu AdMaS. A poté vyhotovit analýzu případných systematických rozdílů v určení souřadnic mezi původním a novým určením těchto bodů.

První část práce je teoreticky zaměřena, popisuje rozdělení geodetických sítí, metody měření v účelových sítích a v neposlední řadě systematické vlivy ovlivňující přesnost při měření úhlů a délek.

V praktické části bakalářské práce je popsán podrobný postup přípravných prací, rekognoskace, budování nových bodů pomocné měřické sítě, kontroly přístroje a geodetických pomůcek před měřením až po samotné zaměření pomocné měřické sítě a podrobného kalibračních bodových polí včetně kontrolního měření.

Stěžejní částí bakalářské práce je vyrovnaní pomocné měřické sítě a následný výpočet podrobného zaměření kalibračních bodových polí a také kontrolního měření. Dále je práce zaměřena na testování přesnosti určení souřadnic a výšek kalibračních bodových polí. Přesnost zaměření kalibračních bodových polí bylo testováno podle ČSN 01 3410 pro 1. třídu přesnosti. Součástí testování přesnosti bylo také porovnat nové určení souřadnic a výšek bodů kalibračních bodových polí s měřením původním. Toto porovnání bylo rovněž testováno podle ČSN 01 3410. V posledním kroku byla provedena analýza případných systematických rozdílů.

Testováním přesnosti se ověřilo, že výsledky nového určení souřadnic a výšek bodů splňují kritéria pro 1. třídu přesnosti dle ČSN 01 3410 včetně porovnání s původním určením souřadnic a výšek bodů. Následná analýza výskytu systematických rozdílů odhalila posun celého kalibračního pole ve výšce o 9 mm. Předmětem této analýzy bylo porovnání původního zaměření kalibračních bodových polí a zaměřením aktuálního stavu kalibračních bodových polí. Dále byl popsán návrh řešení tohoto systematického rozdílu.

Výsledkem bakalářské práce jsou protokoly o výpočtech, seznamy souřadnic, soubory s testováním přesnosti, přehledné náčrty kalibračních bodových polí a pomocné měřické sítě a technická zpráva.

8 PŘÍLOHY

8.1 Seznam použitých zkratk

PMS	Pomocná měřická síť
GNSS	Globální navigační satelitní systém
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
SW	Software
MMS	Mobilní mapovací systém
LMS	Letecký mapovací systém
RTK	Real time kinematic
AdMaS	Advanced Materials, Structures and Technologies
FAST	Fakulta stavební
ČSN	Česká státní norma
ČUZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
UAS	Unmanned aircraft systems

8.2 Seznam obrázků

Obrázek 1 - umístění centra AdMas vzhledem k městu Brnu	- 11 -
Obrázek 2 - centrum AdMaS 3D vizualizace	- 11 -
Obrázek 3 - Schéma polární metody a schéma prostorové polární metody	- 15 -
Obrázek 4 - Ukázka trojitě difference	- 16 -
Obrázek 5 - Ukázka sítě permanentních stanic GNSS České republiky	- 17 -
Obrázek 6- Ukázka signalizace terčů	- 19 -
Obrázek 7 - Ukázka stabilizace fotogrammetrických terčů na nezpevněném povrchu....	- 20 -
Obrázek 8 - Ukázka poškozeného fotogrammetrického terče	- 22 -
Obrázek 9 - Totální stanice Sokkia SX 103T	- 24 -
Obrázek 10 - GNSS přijímač Trimble R6-4	- 25 -
Obrázek 11 - GNSS přijímač Trimble R12i	- 25 -
Obrázek 12 – Vytyčovací minihranol a klasický odrazný hranol	- 26 -
Obrázek 13 - Ukázka postavení stativu s odrazným hranolem na bodu PMS	- 28 -
Obrázek 14 - Ukázka podrobného měření pomocí vytyčovacího minihranolu.....	- 29 -
Obrázek 15 - Odchyly mezi souřadnicí Y (1. etapy měření <-> 2. etapy měření)	- 34 -
Obrázek 16 – Odchyly mezi souřadnicí X (1. etapy měření <-> 2. etapy měření)	- 35 -
Obrázek 17 - Odchyly mezi výškami H (1. etapy měření <-> 2. etapy měření)	- 35 -
Obrázek 18 - Ukázka vyhotovených geodetických údajů.....	- 36 -
Obrázek 19 - Ukázka pomocné měřické sítě	- 37 -
Obrázek 20 - Ukázka kalibračního pole LMS	- 37 -
Obrázek 21 - Ukázka kalibračního pole MMS	- 38 -

8.3 Seznam tabulek

Tab. 1 - Používané způsoby centrace a jejich přesnost.....	18 -
Tab. 2 – Výsledky ověření polohy bodů technologií GNSS	23 -
Tab. 3 - Výsledky ověření součtové konstanty pro hranol č. 1	27 -
Tab. 4 - Ukázka testování přesnosti podrobných bodů v sw. Excel.....	32 -
Tab. 5 - Výsledek testování přesnosti podrobných bodů	32 -
Tab. 6 - Ukázka porovnání s předchozími etapami měření v sw. Excel	33 -
Tab. 7 - Výsledky porovnání s předchozími etapami měření	33 -
Tab. 8 - Souřadnicové odchylky na bodech kalibračního pole	34 -

8.4 Seznam příloh k praktické části bakalářské práce

01_Technická zpráva

01.1_Technická zpráva.pdf

02_Zpracování družicových měření

02.1_Protokol ověření polohy bodů.pdf

02.2_Geodetické údaje 4001, 4002, 4005.pdf

03_Ověření součtové konstanty hranolů

03.1_Ověření součtové konstanty hranolů.pdf

04_Protokoly o výpočtech

04.1_Protokol vyrovnání sítě.pdf

04.2_Protokol podrobného měření.pdf

05_Testování přesnosti

05.1_Overeni_YX.xlsx

05.2_Overeni_H.xlsx

05.3_Porovnání opakovaného zaměření podrobných bodů.xlsx

06_Seznamy souřadnic

06.1_Seznam souřadnic – stanoviska.pdf

06.1_Seznam souřadnic – podrobné body určené 1x.pdf

06.1_Seznam souřadnic – podrobné body určené 2x.pdf

06.1_Seznam souřadnic – nezaměřené body.pdf

06.1_Seznam souřadnic – rušených bodů.pdf

07_přehledky

07.1_Přehledka pomocné měřické sítě.dgn

07.2_Přehledka kalibračního pole LMS.dgn

07.3_Přehledka kalibračního pole MMS.dgn

07.1_Přehledka pomocné měřické sítě.pdf

07.2_Přehledka kalibračního pole LMS.pdf

07.3_Přehledka kalibračního pole MMS.pdf

Ortofoto.XWNS

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] [online]. Copyright ©k [cit. 12.05.2022]. Dostupné z: http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/geodezie/geodezie_2018/fotogrammetrie.pdf
- [2] Vzniká další výzkumné centrum VUT v Brně - Tiskové zprávy - VUT v Brně. Wayback Machine [online]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20140720213119/http://www.vutbr.cz/tiskove-zpravy-f19527/vznika-dalsi-vyzkumne-centrum-vut-v-brne-d74509>
- [3] Katedra speciální geodézie – Katedra speciální geodézie, FSv, ČVUT v Praze [online]. Copyright © [cit. 10.05.2022]. Dostupné z: https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/TCH1/tch_pred_A.pdf
- [4] [online]. Copyright © [cit. 10.05.2022]. Dostupné z: http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/geodezie/geodezie_2018/gnss.pdf
- [5] Mário Lenčoš [online]. Copyright © [cit. 10.05.2022]. Dostupné z: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/GE03-Geodezie%20II/Geodezie%20II%20-%20Pruvodce%20predmetem%20Geodezie%20II.pdf>
- [6] VÚGTK, v.v.i. [online]. Copyright ©IU [cit. 10.05.2022]. Dostupné z: http://www.vugtk.cz/euradin/TB02CUZK002/DOC/Z-OT_TB02CUZK002_Technologicke_postupy.pdf
- [7] Sokkia SX-103T Auto-Tracking Total Station. Total Stations From Leica, Sokkia, Spectra, Topcon, Nikon, & Trimble | Xpert Survey [online]. Dostupné z: <https://totalstations.co/sokkia-sx-103t-auto-tracking-total-station-3-sx-series/>
- [8] GNSS & GPS Systems From Leica, Sokkia, Spectra, Topcon, & Trimble | Xpert Survey [online]. Copyright © [cit. 11.05.2022]. Dostupné z: <https://gnssgpsystems.net/pdf/Trimble-R6-Model-4-Edited-1.pdf>
- [9] GEOTRONICS PRAHA - Váš GEOSHOP [online]. Copyright © [cit. 11.05.2022]. Dostupné z: https://geotronics.cz/wp-content/uploads/2020/05/022516-481A_Trimble-R12-GNSS-Receiver_DS_A4_1119_LRsec-1.pdf
- [10] ŠVÁBENSKÝ, Otakar, Alexej VITULA a Jiří BUREŠ. INŽENÝRSKA GEODÉZIE I. Brno, 2006. Základy inženýrské geodézie M01. Vysoké učení technické v Brně.
- [11] ŠVÁBENSKÝ, Otakar, Alexej VITULA a Jiří BUREŠ. INŽENÝRSKA GEODÉZIE I. Brno, 2006. Základy inženýrské geodézie M02. Vysoké učení technické v Brně.
- [12] ČSN 01 3410, Mapy velkých měřítek - Základní a účelové mapy, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 12 s. Třídící znak 01 3410
- [13] Katedra speciální geodézie – Katedra speciální geodézie, FSv, ČVUT v Praze [online]. Copyright © [cit. 12.05.2022]. Dostupné z: https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/GEY1/pred_2_Metrologie.pdf
- [14] FAST-S-19-5704 Geometrická přesnost mobilních mapovacích systémů. Brno. 2020. Specifický výzkum. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav geodézie.
- [15] NOSEK, J.; KALVODA, P.; KURUC, M.; VOLAŘÍK, T.; STRÁNSKÁ, P. Vliv prekalibrace kamery DJI FC300S na přesnost fotogrammetrických výsledků. SBORNÍK PŘÍSPĚVKŮ Juniorstav 2021. Brno: ECON publishing, s.r.o., 2021. s. 707-712. ISBN: 978-80-86433-75-2.

[16] [online]. Copyright © [cit. 19.05.2022]. Dostupné z: https://www.snet.tu-berlin.de/fileadmin/fg220/courses/WS1112/snet-project/gnss-principles-and-comparison_dawoud.pdf

[17] Fakulta stavební VUT v Brně [online]. Copyright ©i [cit. 19.05.2022]. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/ged/opvk/inovace/blok_C/GE07/Texty_GNSS.pdf