

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM: GEODÉZIE A KARTOGRAFIE



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

POROVNÁNÍ PŘESNOSTI MOBILNÍHO SKENOVACÍHO SYSTÉMU RIEGL  
VMX-2HA SE STATICKÝM SKENOVACÍM SYSTÉMEM FARO FOCUS 3D  
X330 A TOTÁLNÍ STANICÍ LEICA TS16

COMPARISON OF THE ACCURACY OF THE RIEGL VMX-2HA MOBILE  
SCANNING SYSTEM WITH THE FARO FOCUS 3D X330 STATIC  
SCANNING SYSTEM AND THE LEICA TS16 TOTAL STATION

Katedra speciální geodézie

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Soukupová	Jméno: Nikola	Osobní číslo: 495056
Zadávající katedra: Katedra speciální geodézie		
Studijní program: Geodézie a kartografie		
Studijní obor:		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Porovnání přesnosti mobilního skenovacího systému Riegl VMX-2HA se statickým skenovacím systémem FARO Focus 3D X330 a totální stanicí Leica TS16	
Název bakalářské práce anglicky: Comparison of the Accuracy of the Riegl VMX-2HA Mobile Scanning System with the FARO Focus 3D X330 Static Scanning System and the Leica TS16 Total Station	
Pokyny pro vypracování: Zaměření vybrané lokality porovnávanými technologiemi. Zpracování naměřených dat. Porovnání výsledných dat mezi technologiemi. Zhodnocení výsledků.	
Seznam doporučené literatury: Štroner, M. a kol.: 3D skenovací systémy. Česká technika - nakladatelství ČVUT, Praha, 2013, ISBN 978-80-01-05371-3. Štroner, M. - Hampacher, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 2. vyd. Praha: CTU Publishing House, 2015. 336 s. ISBN 978-80-01-05843-5.	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 14. 2. 2022	Termín odevzdání BP v IS KOS: 15. 5. 2022 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
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“.

14. 2. 2022	Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
-------------	-----------------------	---------------------

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením vedoucího práce, pana Ing. Tomáše Křemena, Ph.D. Použité zdroje a literatura jsou uvedeny v seznamu použitých zdrojů a literatury.

V Praze dne 13.5.2022

.....

Nikola Soukupová

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucímu práce, panu Ing. Tomáši Křemenovi, Ph.D., za jeho cenné rady, pomoc, ochotu a trpělivost, které mi během zpracování práce věnoval.

Dále bych také ráda poděkovala Geodetické kanceláři Nedoma & Řezník, s.r.o. za možnost tvorby této bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá porovnáním přesnosti vyhodnocení fasády mobilního skenovacího systému RIEGL VMX-2HA se statickým skenovacím systémem FARO FOCUS 3D X330 a totální stanicí Leica TS16. Práce je složena z teoretického seznámení s měřickými přístroji a pomůckami, měřických prací v terénu a samotného zpracování a vyhodnocení dosažených přesností.

## **Klíčová slova**

Laserové skenování, mobilní skenovací systém, statický skener, mračno bodů, vektorový výkres, porovnání přesnosti.

## **Abstract**

The bachelor thesis was used to compare the accuracy of the RIEGL VMX-2HA mobile scanning system with the FARO FOCUS 3D X330 static scanning system and the Leica TS16 total station. The thesis consists of a practical introduction to the measuring instruments and aids, measurement work in the field and the actual processing and evaluation of the achieved accuracies.

## **Key words**

Laser scanning, mobile scanning system, static scanner, point cloud, vector drawing, comparison of the accuracy.

# **Obsah**

1. Úvod .....	8
2. Lokalita měření a objekt.....	9
3. Použité přístroje a pomůcky.....	10
3.1 GNSS přijímače Trimble Geo XR a Trimble R2 .....	10
3.2 Totální stanice Leica TS16 .....	11
3.3. Mobilní mapovací systém RIEGL VMX-2HA.....	12
3.4 Statický skener FARO Focus3D X330.....	17
4. Použité měřické technologie a metody.....	18
4.1 Globální navigační satelitní systémy .....	18
4.2 Prostorová polární metoda .....	19
4.3 Mobilní mapovací systém .....	20
5. Postup práce v terénu / měřické práce.....	21
5.1 Rekognoskace, tvorba identických bodů a jejich zaměření.....	21
5.2 Měření podrobných bodů fasády totální stanicí .....	22
5.3 Měření pomocí mobilního mapovacího systému.....	23
5.4 Měření statickým skenerem.....	25
6. Zpracování v kanceláři.....	27
6.1 Použité programy .....	27
6.2 Zpracování souřadnic identických bodů.....	29
6.3 Výpočet souřadnic podrobných bodů fasády měřených totální stanicí .....	30
6.3.1 Transformace souřadnic .....	30
6.3.2 Protínání z úhlů a trigonometrické určení výšek.....	32
6.4 Zpracování mračna bodů.....	35
6.4.1 Mobilní mapovací systém.....	35
6.4.2 Statický skener .....	36
6.5 Vektorizace výkresů z podrobných bodů a mračen bodů.....	37
7. Vyhodnocení výsledků .....	38
7.1 Porovnání.....	38
7.1.1 Porovnání mračen bodů.....	38
7.1.2 Porovnání vektorizovaných výkresů .....	51
7.1.3 Opakovatelnost vektorizace .....	56
7.2 Celkové shrnutí výsledků.....	59
8. Závěr .....	60
Seznam použitých zkratek .....	62
Seznam zdrojů a použité literatury .....	63
Seznam tabulek .....	64

Seznam obrázků.....	66
Seznam příloh .....	68
Seznam tištěných příloh .....	68
Seznam elektronických příloh.....	68

## 1. Úvod

Tématem této bakalářské práce je porovnání přesnosti mobilního skenovacího systému se statickým skenovacím systémem a totální stanicí.

Toto téma jsem si zvolila z důvodu jeho aktuálního využití při své pracovní činnosti u společnosti Geodetická kancelář Nedoma & Řezník, s.r.o. Téma je využitelné v praxi hlavně při 3D dokumentaci silničních komunikací a jejího bezprostředního okolí. Rovněž je toto téma zajímavé z pohledu využití moderních technologií a novým objevováním způsobu měření.

Pro zaměření fasády byly zvoleny tři technologie měření. První metodou je pomocí mobilního mapovacího systému RIEGL VMX-2HA. Druhou metodou je metoda statická pomocí statického skeneru FARO FOCUS 3D X330 a třetí metoda je pomocí prostorové polární metody totální stanicí Leica TS16. Z jednotlivých technologií budou získána mračna bodů a podrobné body, která se mezi sebou budou porovnávat. A poté bude vytvořena vektorizace fasády z dat získaných jednotlivými technologiemi, která bude také porovnána.

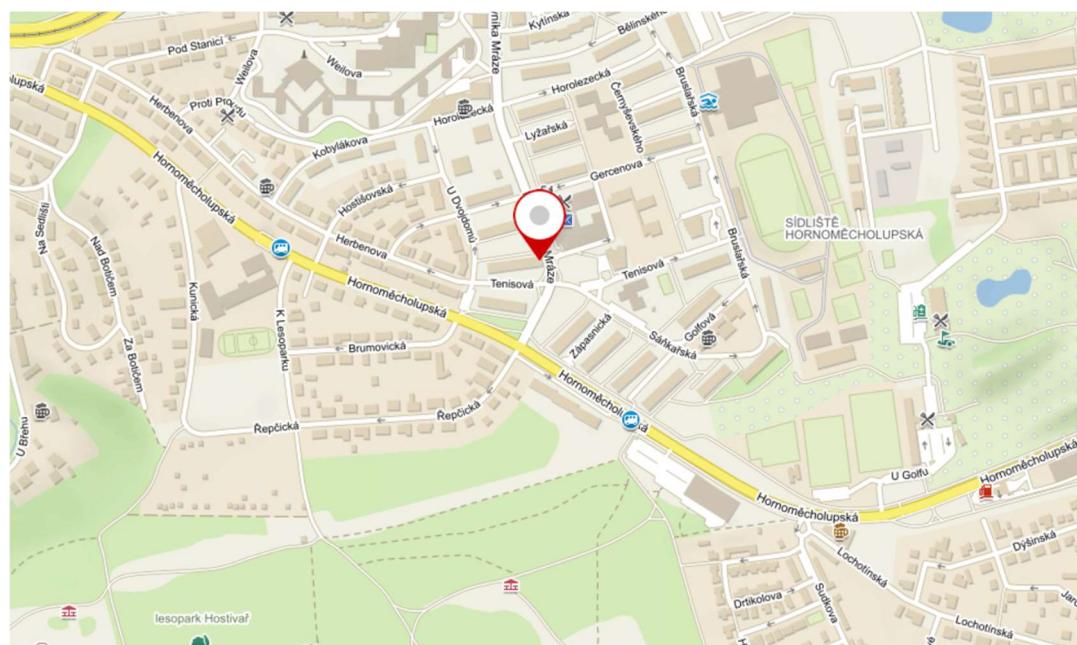
Hlavním cílem bakalářské práce je porovnání přesnosti měření mobilního mapovacího systému s měřením statickým skenovacím systémem a totální stanicí. Zpracování této práce je složeno z několika kapitol. Nejprve bude představena lokalita měření a vyhodnocovaný objekt. Ve třetí kapitole bude čtenář seznámen s použitými přístroji a pomůckami. Čtvrtá kapitola popisuje použité měřické technologie a metody. V kapitole páté je popsán postup práce v terénu. Šestá kapitola byla věnována zpracování dat z naměřených dat při práci v terénu. V sedmé kapitole budou vyhodnoceny výsledky. V osmé kapitole budou tyto výsledky prezentovány a zhodnoceny.

## 2. Lokalita měření a objekt

Měřické práce byly provedeny na fasádě domu Geodetické kanceláře Nedoma & Řezník, s.r.o. (Obrázek 1) v ulici Plukovníka Mráze 1425/1 na Praze 10 (Obrázek 2).



Obrázek 1: Měřená fasáda domu



Obrázek 2: Lokalita měření [1]

### **3. Použité přístroje a pomůcky**

V této kapitole proběhne seznámení s použitými přístroji a pomůckami, které byly k měření použity. Měřické přístroje a pomůcky byly zapůjčeny z Geodetické kanceláře Nedoma & Řezník.

#### **3.1 GNSS přijímače Trimble Geo XR a Trimble R2**

Pro tvorbu bodového pole okolo zájmové oblasti byly použity dva GNSS přijímače. Parametry přijímače Trimble Geo XR (Obrázek 3) jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 1).



Obrázek 3: Přijímač Trimble Geo XR [2]

Tabulka 1: Technické parametry Trimble Geo XR [2]

Sledované družice	GPS, GLONASS
Počet kanálů	220
RTK přesnost měření	Horizontální 5 mm + 0,5 ppm
	Vertikální 6 mm + 0,5 ppm
Hmotnost přijímače	0,925 kg

Parametry přijímače Trimble R2 (Obrázek 4) jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 2).



Obrázek 4: Anténa Trimble R2 [3]

Tabulka 2: Technické parametry Trimble R2 [3]

Sledované družice	GPS, GLONASS
Počet kanálů	220
RTK přesnost měření	Horizontální
	Vertikální
Hmotnost přijímače	1,08 kg

### 3.2 Totální stanice Leica TS16

Pro měření podrobných bodů na fasádě byla použita totální stanice Leica TS16 (Obrázek 5). V tabulce (Tabulka 3) jsou uvedeny parametry této totální stanice při měření úhlů a délek s odraznými štítky a bez odrazných štítků.



Obrázek 5: Leica TS16 [3]

*Tabulka 3: Technické parametry Leica TS16 [3]*

Přesnost měření úhlů		3“ (0,9 mgon)
s odraznými štítky	Přesnost měření délek	2 mm + 1,5 ppm
	Rozptyl svazku paprsku	1,5 mrad x 3 mrad
bez odrazných štítků	Přesnost měření délek	2 mm + 2 ppm
	Dosah měření délek	1,5 m – 1200 m
	Rozbíhavost svazku paprsku	0,2 mrad x 0,3 mrad
	Velikost laserové stopy na vzdálenost 30 m	7 mm x 10 mm

### **3.3. Mobilní mapovací systém RIEGL VMX-2HA**

RIEGL VMX-2HA je vysokorychlostní mobilní mapovací systém s duálním skenerem. Systém umožňuje až 2 miliony měření a 500 řádků skenování za sekundu. Tato technologie se skládá ze dvou snímačů LiDAR VUX-1HA a INS/GNSS jednotky, která je umístěna pod aerodynamickým ochranným krytem. Snímače VUX-1HA jsou vůči sobě umístěny tak, aby zaměřovaný objekt snímaly ze dvou stran (zepředu a ze zadu). Kamerové rozhraní až 9 různých kamer doplňuje skenovaná data o georeferencované snímky. [4]

Vlastnosti mračna závisí na rychlosti vozidla a vzdálenosti objektu od skenerů tak, jak je uvedeno v tabulce (Tabulka 4).

Tabulka 4: Vlastnosti mračna v závislosti na rychlosti a vzdálenosti [4]

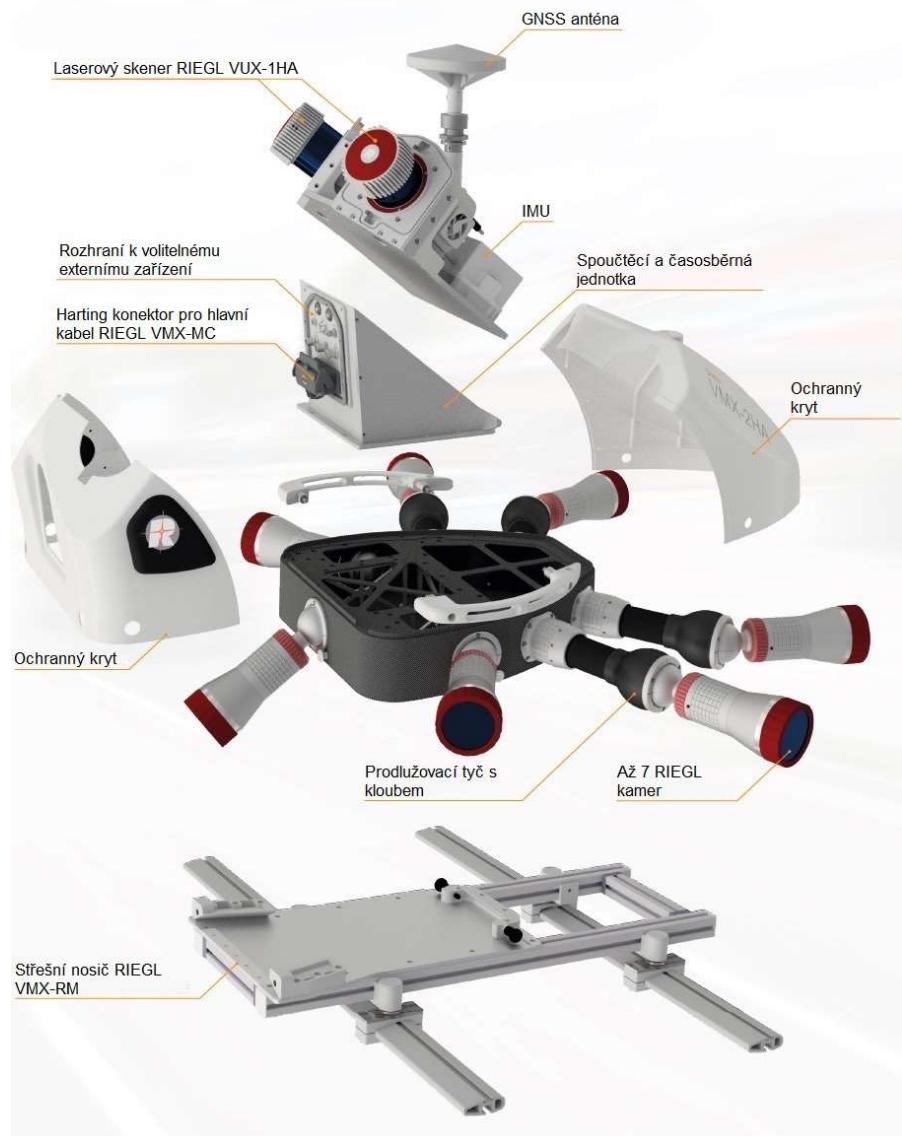
Program 1 MHz		Vzdálenost od skeneru 3 m		Vzdálenost od skeneru 10 m		Vzdálenost od skeneru 50 m	
Rychlosť vozidla	Řádkování jednoho skeneru [mm]	Rozestup bodů v rámci řady jednoho skeneru [mm]	Hustota skenovací řady jednoho skeneru [bod/m <sup>2</sup> ]	Rozestup bodů v rámci řady jednoho skeneru [mm]	Hustota skenovací řady jednoho skeneru [bod/m <sup>2</sup> ]	Rozestup bodů v rámci řady jednoho skeneru [mm]	Hustota skenovací řady jednoho skeneru [bod/m <sup>2</sup> ]
50 km/h	56	4,7	7640	15,7	2300	78,5	458
80 km/h	89	4,7	4774	15,7	1432	78,5	286
120 km/h	133	4,7	3184	15,7	954	78,5	190

Mobilní mapovací systém se využívá například pro: mapování dopravní infrastruktury, měření povrchu silnic, modelování měst, snímání staveňšť a sypkých materiálů, zaměřování povrchových dolů, GIS mapování a jejich správa, dokumentaci skutečného stavu. [4]

### Pracovní prostředí RIEGL [4]

Mapovací systém je ovládán softwarem RIEGL, který je nainstalován na řídící jednotce umístěné ve vozidle. Software je ovládán přes dotykovou obrazovku umístěnou před sedadlem spolujezdce. Toto uspořádání umožňuje obsluze během práce v terénu umožňuje přímou vizualizaci získaných dat v reálném čase.

Software RIEGL nabízí komplexní funkce pro zpracování získaných dat. To mimo jiné zahrnuje funkci sloučení a vyrovnání naskenovaných dat z obou skenerů. Také umožňuje skenovaná data připojit na určité polohově známé objekty, což vede ke zvýšení přesnosti a spolehlivosti v georeferencování. Získaná data lze exportovat do různých formátů, případně přímo propojit se softwarem třetích stran. Jednotlivé komponenty celé jednotky RIEGL VMX-2HA jsou popsány na obrázku (Obrázek 6).



Obrázek 6: Komponenty RIEGL VMX-2HA [4]

### Kamerový systém RIEGL VMX-2HA [4]

Mobilní mapovací systém RIEGL VMX-2HA může být vybaven až 9 externími kamerami a umožňuje jejich libovolnou kombinaci. Lze použít tyto kamery:

- RIEGL kamery 5MP, 9MP a 12MP
- sférická kamera FLIR Ladybug 5+
- digitální zrcadlovka (například Nikon D810 nebo Sony Alpha)

Modulární uspořádání systému umožňuje kdykoli změnit nebo vylepšit konfiguraci kamery. Jednotlivé porty pro kamery umožňují flexibilitu při výběru optimální polohy a orientace kamer pro splnění konkrétních požadavků projektu. Také je možné využít

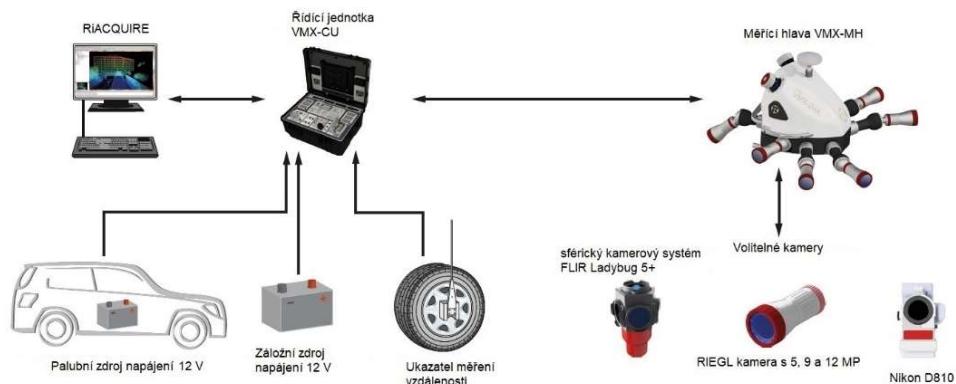
prodlužovací tyče s kloubem pro nastavení polohy kamery. Integrace sférické Ladybug kamery zlepšuje časovou kalibraci a umožňuje plně integrovanou obsluhu v rámci softwaru RIEGL. Lze použít více 5MP, 9MP nebo 12MP kamer RIEGL, které umožňují úplné snímání okolí. Možnosti kamer jsou vyobrazeny v tabulce (Tabulka 5) – maximální počet kamer, počet snímků za sekundu, rozlišení a velikost pixelu, ohniskovou vzdálenost objektivu a zorné pole.

*Tabulka 5: Možnosti kamer RIEGL VMX-2HA [4]*

Kamery	Maximální počet kamer	Maximální počet snímků za sekundu	Rozlišení [px (H) x px (V)]	Ohnisková vzdálenost objektivu [mm]	Zorné pole
5 MP CMOS	9	20	2464 x 2056	5	80,7° x 70,7°
9 MP CMOS	9	10	4112 x 2176	8	83,1° x 50,3°
12 MP CMOS	9	8	4112 x 3008	8	83,1° x 65,9°
FLIR Ladybug 5+	1 jednotka/ 6 objektivů	19	6 x [2048x2448]	4.4	90 % plné koule
Nikon D810	9	1	7360 x 4912	14 / 20	104° x 81° / 83° x 61°

### Blokové schéma systému RIEGL VMX-2HA

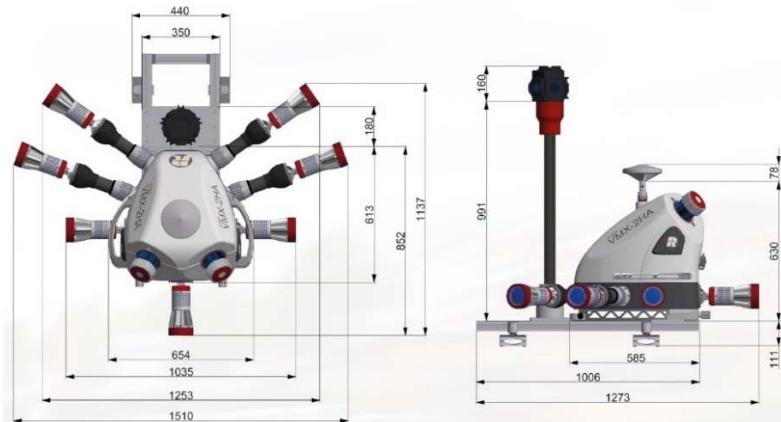
Blokové schéma systému je znázorněno na obrázku (Obrázek 7), na kterém je možné vidět, jak celé zařízení funguje. Systém je poháněn dvěma zdroji napájení (palubní a záložní zdroj). RiACQUIRE je software, který ovládá celý systém a provádí sběr provozních dat a je zodpovědný za jeho ověřování a testování. [4]



*Obrázek 7: Blokové schéma systému RIEGL VMX-2HA [4]*

## Rozměry RIEGL VMX-2HA

Na obrázku (Obrázek 8) jsou rozměry celé jednotky RIEGL VMX-2HA v milimetrech.



Obrázek 8: Rozměry jednotky RIEGL VMX-2HA [4]

## Technická data RIEGL VMX-2HA

Technické parametry skeneru jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 6) – maximální a minimální dosah skeneru v závislosti na frekvenci, přesnost a opakovatelnost, zorné pole a rychlosť skenování.

Tabulka 6: Technické parametry RIEGL VMX-2HA [4]

Efektivní míra měření	600 kHz	1000 kHz	1500 kHz	2000 kHz
Maximální dosah, odrazivost cíle $\rho \geq 80\%$	420 m	330 m	270 m	235 m
Maximální dosah, odrazivost cíle $\rho \geq 10\%$	150 m	120 m	100 m	85 m
Minimální dosah	1,2 m			
Přesnost / opakovatelnost	5 mm / 3 mm			
Zorné pole	360° ("plný kruh")			
Rychlosť skenování (volitelná)	Až 500 skenů za sekundu			

Vlastnosti GNSS/IMU jednotky jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 7).

Tabulka 7: Vlastnosti GNSS/IMU jednotky [4]

Přesnost polohy (absolutní)	20–50 mm
Přesnost náklonu a sklonu	0,005°
Přesnost nastavení směru	0,015°

### **3.4 Statický skener FARO Focus3D X330**

Statický skener od firmy FARO je přístroj pro 3D měření a dokumentaci. FARO Focus3D X330 je vysokorychlostní 3D skener. Skenované objekty mohou být vzdáleny až 330 metrů s velmi nízkou hladinou šumu. Skener FARO Focus3D X330 je také schopen spojit jednotlivá měření do celkového referencovaného projektu a zpracovat do potřebných výstupů pomocí integrovaného přijímače GPS. Pomocí elektronického výškového barometru je automaticky detekována výška skeneru při registraci. [6],[7]

Technické parametry laserového skeneru jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 8).

*Tabulka 8: Technické parametry FARO Focus3D X330 [6]*

Rozsah	0,6 m – 330 m
Rychlosť snímání	Až 976000 bodů/s
Směrodatná odchylka délky	±2 mm/25 m
Zorné pole (vertikální/horizontální)	300°/360°
Třída laseru	I. třída
Vlnová délka	1550 nm
Úhlové rozlišení	10 mgon
Váha	5,2 kg
Rozměr	240 x 200 x 100 mm

Měření skeneru je založeno na prostorové polární metodě. Pro měření délek skener používá fázový dálkoměr. Princip prostorové polární metody je blíže popsán v kapitole 4.2.

## **4. Použité měřické technologie a metody**

V této kapitole budou popsány použité měřické technologie a metody, které byly pro měření použity. Kapitola 4.1 je založena na zdrojích [8] a [9].

### **4.1 Globální navigační satelitní systémy**

Globální navigační satelitní systémy (GNSS) již patří mezi základní způsoby určování prostorové polohy bodů. Prostorová poloha je určena prostorovým protínáním z délek. Jednotlivé družice vysílají navigační zprávu, ve které mimo jiné uvádějí svou polohu a označení družice a čas vyslání. Jednotlivé délky mezi družicí a přijímačem jsou vypočteny z rozdílu přijatého a vyslaného signálu. Pro určení souřadnic X, Y, Z daného přijímače je potřeba obdržet navigační zprávy alespoň od 4 družic. Platí pravidlo, že pro prostorové určování polohy je důležitá správná konfigurace družic a také čím více družic máme, tím je určení polohy přesnější.

Systém GNSS se skládá ze čtyř základních segmentů. Mezi tyto základní segmenty patří: řídící, kosmický, uživatelský a podpůrný segment. Řídící segment zodpovídá za monitorování a řízení satelitů. Obsahuje hlavní řídící stanice a stanice pro monitorování. Nedílným úkolem je také sestavování navigačních zpráv družic a komunikaci s jednotlivými družicemi, ale také zajišťuje komunikaci s uživatelským segmentem. Kosmický segment obsahuje aktivní družice, které neustále obíhají zemi v několika oběžných rovinách. Tyto roviny se pohybují okolo 19 000 až 24 000 km nad Zemí. Do uživatelského segmentu patří jednotlivé stanice přijímačů signálu GPS (Global Positioning System). Mezi hlavní prvky uživatelského segmentu patří také samotní uživatelé zařízení a software, který má každé zařízení. Podpůrný segment zpřesňuje určení prostorové polohy jednotlivých bodů. Dělí se na družicové a pozemní systémy. Družicový systém zpřesňuje prostorovou polohu jednotlivých bodů díky satelitům na geostacionárních drahách. Pozemním systémem jsou nepřetržitě provozované referenční stanice GNSS na území České republiky (síť CZEPOS, VRS Now, TopNET) a jejich poloha je neustále určována z hlediska dlouhodobého měření.

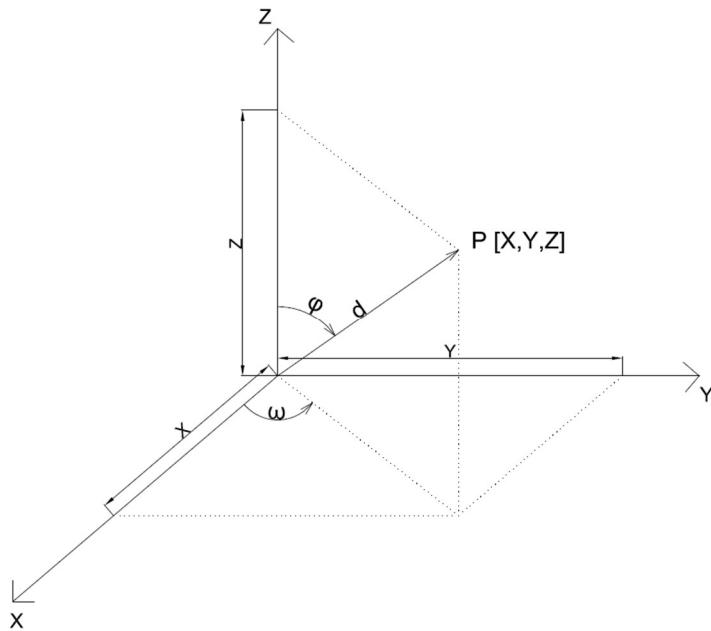
### **Geodetické metody určování polohy a jejich přesnost:**

1. Statická metoda (3 mm – 5 mm)
2. Rychlá statická metoda (5 mm – 10 mm + 1 ppm)
3. Metoda stop and go (10 mm – 20 mm +1 ppm)
4. Kinematická metoda (20 mm – 30 mm + 3 ppm)
5. RTK metoda – Real Time Kinematic (25 mm – 50 mm)

Pro potřeby měření této bakalářské práce byla využita metoda Real Time Kinematic (RTK). Metodou RTK se eliminují chyby z průchodu signálu ionosférou a troposférou. Pro měření touto metodou je potřeba dvou GNSS přijímačů. Prvním přijímačem je přijímač statický, kterým jsou pevné základnové stanice, ty patří do podpůrného segmentu a jsou popsány výše (byla použita síť CZEPOS). Základnová stanice přenáší korekce na pohybující se přijímač. Druhým přijímačem je přijímač pohyblivý, který je umístěn na určovaném bodě. Výsledná poloha určovaného bodu je určována za pomoci známých souřadnic pevné základnové stanice a příjmu satelitních signálů z obou stanic. Tímto způsobem je určena výsledná poloha určovaného bodu.

## **4.2 Prostorová polární metoda**

Prostorovou polární metodu je možné považovat za nejpoužívanější měřickou metodu při zaměřování podrobných bodů v geodézii. Prostorová poloha bodu je určována pomocí vodorovného úhlu, zenitového úhlu a šíkmé vzdálenosti. Schématické znázornění prostorové polární metody je vyznačeno na obrázku (Obrázek 9).



Obrázek 9: Schématické znázornění prostorové polární metody

Prostorové souřadnice jednotlivých bodů jsou počítány ze vzorců:

$$X = d * \sin \varphi * \cos \omega$$

$$Y = d * \sin \varphi * \sin \omega \quad (1)$$

$$Z = d * \cos \varphi$$

Prostorová polární metoda byla používána u měření s totální stanicí a se statickým skenerem.

### 4.3 Mobilní mapovací systém

Mobilní mapovací systém je blíže popsán v kapitole 3.3.

Během jízdy byla sbírána data pro výpočet trajektorie z INS/GNSS jednotky (skládá se z GNSS přijímače, odometru a IMU jednotky). Tato data byla ukládána s časosběrnou známkou. Do časosběrné známky byla ukládána data o poloze pro každý jeden okamžik. Společně s těmito daty bylo prováděno skenování a sběr fotografií. Na rozdíl od statického skeneru je skener pro mobilní mapovací systém upevněn a otáčí se pouze ve své ose. V principu je měřen jeden úhel a šíkmá vzdálenost.

## 5. Postup práce v terénu / měřické práce

V této kapitole bude popsán postup práce v terénu. Měřické práce byly složeny z rekognoskace terénu, tvorby identických bodů a jejich zaměření, měření podrobných bodů fasády totální stanicí, měření pomocí mobilního mapovacího systému a měření statickým skenerem.

### 5.1 Rekognoskace, tvorba identických bodů a jejich zaměření

Tvorba čtyř identických bodů č. 4001-4004 byla provedena nejprve rekognoskací terénu a návrhem umístění těchto čtyř bodů. Umístěné terče identických bodů byly znázorněny v šachovnicovém tvaru a slouží pro spojení jednotlivých měřických metod. Byly použity pro skenování a měření s totální stanicí. Náčrt rozmístění identických bodů je na obrázku (Obrázek 10).



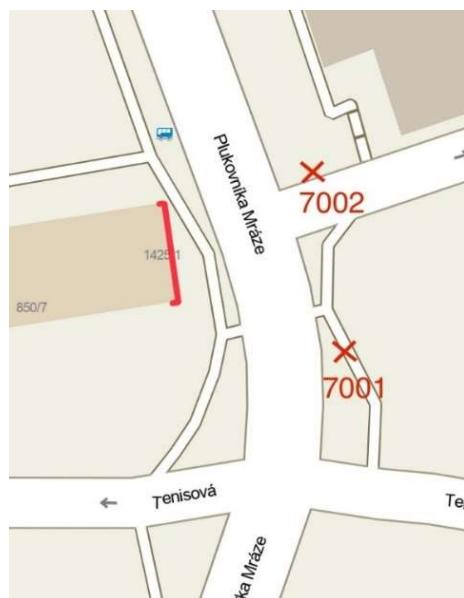
Obrázek 10: Náčrt rozmístění identických bodů [1]

Identické body byly zaměřeny s rozestupem 2 hodin pomocí GNSS přijímače Trimble Geo XR dne 22.10.2021. A dále byly kontrolně zaměřeny také s rozestupem 2 hodin pomocí GNSS přijímače Trimble R2 dne 27.02.2022. Protokoly jsou doloženy v příloze (Adresář 3).

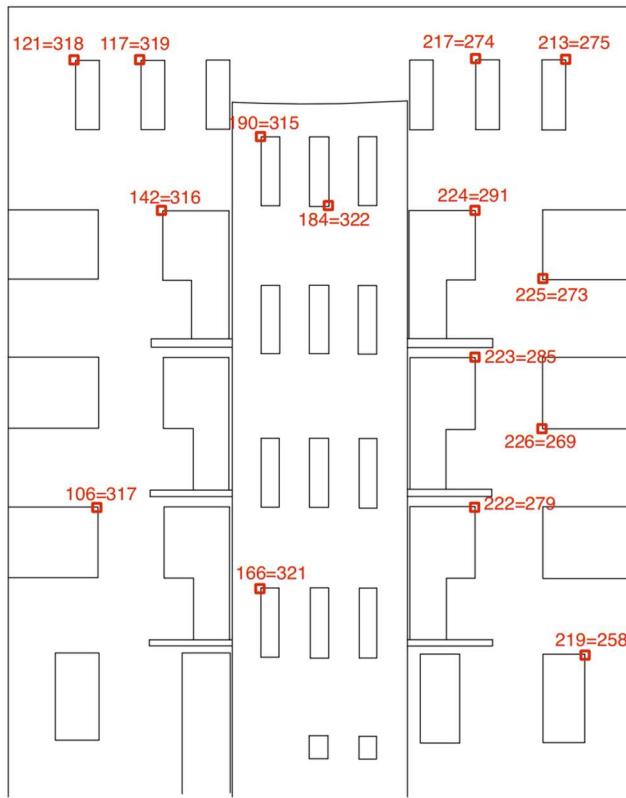
## 5.2 Měření podrobných bodů fasády totální stanicí

Měřické práce s totální stanicí byly provedeny dne 27.10.2021, v příloze (Adresář 4) byl doložen zápisník měření.

Při podrobném zaměření fasády dobu byla použita prostorová polární metoda. Měření bylo provedeno ze dvou volných stanovisek č. 7001 a 7002. Poloha stanovisek viz. situace na obrázku (Obrázek 11). Měření na identické a podrobné body provedeno v jedné poloze dalekohledu. Na stanoviskách byly nejprve zaměřeny identické body č. 4001–4004, poté následovalo zaměření podrobných bodů fasády. Podrobné body, které nebylo možné zaměřit napřímo byly zaměřeny s odsazením. Během měření bylo dále zaměřeno 15 kontrolních bodů (Obrázek 12) z obou stanovisek, tyto kontrolní body budou použity pro porovnání přesnosti měření mezi oběma stanovisky a pro výpočet kontrolních bodů pomocí protínání z úhlů.



Obrázek 11: Stanoviska totální stanice [1]



Obrázek 12: Kontrolní body (první číslo je z levého stanoviska, druhé číslo je z druhého stanoviska)

Průběžně s měřením byl veden náčrt s jednotlivými čísly bodů (Příloha 2). Předmětem tohoto zaměření čelní části fasády byly okenní otvory, dveře, balkóny, hrany. Celkem bylo zaměřeno na čelní části fasády 228 bodů.

### 5.3 Měření pomocí mobilního mapovacího systému

Měření pomocí mobilního mapovacího systému bylo provedeno pro první nájezd 30.11.2021, pro druhý a třetí nájezd bylo měření provedeno 27.2.2022. Celý proces byl započat založením zakázky, následně byla provedena kalibrace GNSS aparatury pomocí rychlé statické metody po dobu 5 minut a byla nastavena frekvence skeneru 1 MHz a trigrovací vzdálenost pro LadyBug kamery: 5 m, trigrovací vzdálenosti se rozumí, že každých 5 m byla pořízena fotografie. Po dokončení toho nastavení bylo provedeno samostatné měření. Před měřenou fasádou byla vždy potřeba spustit skenery, aby záznam skenování byl spuštěn před fasádou. Schématické znázornění jednotlivých tras pro jedno mračno bodů fasády je vyznačeno na obrázku (Obrázek 13). Skenovalo se celkem 12 minut, jelo se rychlostí 30 km/h. Celkem bylo 6 tras pro jedno měření (800 m). Pro všechna 3 měření byl aplikován stejný postup nájezdu.



Obrázek 13: Schéma jednotlivých tras [1]

Struktura adresáře, ve kterém jsou uložená data má 3 úrovně. První úrovňí je složka s názvem projektu, ve kterém se nachází druhá úroveň (Obrázek 14). Ve třetí úrovni se nachází 2-6 složek (Obrázek 15). Výsledný soubor má 5 GB.

Název	Datum změny	Typ	Velikost
01_PLANNING	03.03.2022 18:00	Složka souborů	
02_INS-GPS_RAW	03.03.2022 18:00	Složka souborů	
03_RIEGL_RAW	03.03.2022 18:00	Složka souborů	
04_CAM_RAW	03.03.2022 18:00	Složka souborů	
05_INS-GPS_PROC	03.03.2022 18:00	Složka souborů	
06_RIEGL_PROC	03.03.2022 18:00	Složka souborů	
07_PROTOCOL	01.03.2022 16:07	Složka souborů	
08_RECEIVED	03.03.2022 18:00	Složka souborů	
09_EXPORT	01.03.2022 16:07	Složka souborů	

Obrázek 14: Druhá úroveň adresáře

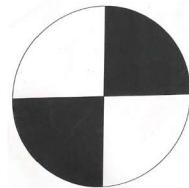
<b>GK_1najezd &gt; 01_PLANNING &gt;</b>	▼ □		
Název	Datum změny	Typ	Velikost
01_PEF	01.03.2022 16:06	Složka souborů	
02_MISSION	01.03.2022 16:06	Složka souborů	
<b>GK_1najezd &gt; 02_INS-GPS_RAW</b>			
Název	Datum změny	Typ	Velikost
01_MON	03.03.2022 18:00	Složka souborů	
02_FULL	03.03.2022 18:00	Složka souborů	
03_BASE	03.03.2022 18:00	Složka souborů	
<b>GK_1najezd &gt; 03_RIEGL_RAW</b>			
Název	Datum změny	Typ	Velikost
01_SDF	01.03.2022 16:06	Složka souborů	
02_RXP	03.03.2022 18:00	Složka souborů	
03_XDD	01.03.2022 16:07	Složka souborů	
04_MON	03.03.2022 18:00	Složka souborů	
05_SYS	03.03.2022 18:00	Složka souborů	
06_ATMOS	03.03.2022 18:00	Složka souborů	
<b>GK_1najezd &gt; 04_CAM_RAW</b>			
Název	Datum změny	Typ	Velikost
01{EIF	03.03.2022 18:00	Složka souborů	
02_MON	03.03.2022 18:00	Složka souborů	
03_IMG	03.03.2022 18:00	Složka souborů	
<b>GK_1najezd &gt; 05_INS-GPS_PROC</b>			
Název	Datum změny	Typ	Velikost
01_POS	01.03.2022 16:07	Složka souborů	
02_PROJECT	01.03.2022 16:07	Složka souborů	
<b>GK_1najezd &gt; 06_RIEGL_PROC</b>			
Název	Datum změny	Typ	Velikost
01_SDC	01.03.2022 16:07	Složka souborů	
02_SDW	01.03.2022 16:07	Složka souborů	
03_OBSERVATIONS	01.03.2022 16:07	Složka souborů	
04_EXPORT	01.03.2022 16:07	Složka souborů	
05_OVERVIEW	03.03.2022 18:00	Složka souborů	
06_GEOIMAGES	01.03.2022 16:07	Složka souborů	

Obrázek 15: Třetí úroveň adresářů

## 5.4 Měření statickým skenerem

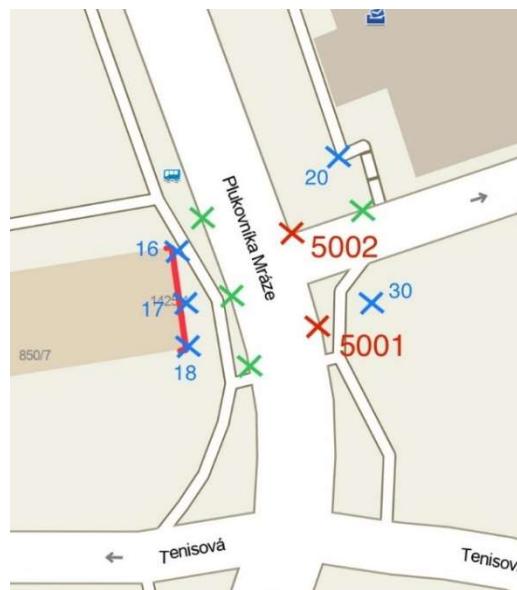
Měření statickým skenerem bylo provedeno 9.2.2022. Před měřením statickým skenerem byla potřeba rozmištit 5 identických bodů šachovnicového tvaru a 4 kulové terče pro správnou transformaci a propojení dvou mračen bodů ze dvou stanovisek.

Identické body šachovnicového tvaru (Obrázek 16) byly zaměřeny totální stanicí z volného stanoviska) s připojením na identické body č. 4001–4004. Směrodatná odchylka volného stanoviska byla 8,5 mm.



Obrázek 16: Šachovnicový tvar identického bodu

Statickým skenerem bylo měřeno ze dvou stanovisek, viz obrázek stanoviska skeneru (Obrázek 17). Skener byl umístěn na stativ do nejvyšší možné polohy 2 m. Nejvyšší možná poloha byla zvolena kvůli rušnému silničnímu provozu. Ve skeneru byla založena nová zakázka a nastavena hustota měření na vzdálenost 10 m od přístroje 6,136 mm a kvalita měření 4. Měření trvalo přibližně 12 minut na jednom stanovisku.



Obrázek 17: Stanoviska statického skeneru (červeně), poloha kulových terčů (zeleně) a identických bodů (modře) [1]

## **6. Zpracování v kanceláři**

V této kapitole budou popsány použité softwary, dále zde bude popsán postup zpracování dat pro přípravu pro vyhodnocení a tvorba jednotlivých výkresů.

### **6.1 Použité programy**

Byly použity programy: Kokeš, Groma, Microstation, CloudCompare, Trimble RealWorks, RiPROCESS.

#### **Kokeš**

Kokeš je program vytvořený společností GEPRO. Slouží pro běžné geodetické práce zpracování měření, výpočty a tvorbu výkresů. Základními formáty dat jsou: seznam souřadnic [.ss], výkres [.vyk], rastr [.cit, .bmp].

Program Kokeš byl použit pro transformaci podrobných bodů měřených totální stanicí.

#### **Groma**

Groma je geodetický program, který pracuje v prostředí MS Windows [10]. Slouží pro základní geodetické výpočty, ke kterým je možné vést kontrolní kresbu a protokol a výpočtu, zpracování surových dat naměřených totální stanicí, grafické znázornění.

Program Groma byl použit pro výpočet souřadnic volných stanovisek a následně jednotlivých směrníků pro výpočet protínání z úhlů.

#### **MicroStation**

Program MicroStation je produktem společnosti Bentley. Umožňuje vytvářet 2D a 3D modely objektů a budov. [11] V programu je dále možné tvořit popisky (umístit text, kótovat, umístit tabulku), připojit referenční výkres, rastr, mračno bodů a pomocí záložky pomůcky lze zavést aplikaci Groma. V této aplikaci je možné vytvořit seznam souřadnic, do kterého lze zapisovat souřadnice bodů z výkresu. MicroStation má vlastní formát DGN. Program není s tímto formátem pevně spojen, zvládne pracovat s DWG výkresy, které vznikají v programu AutoCAD nebo DXF výkresy, které vznikají v programu Groma.

V programu Microstation byly tvořeny vektorizace výkresů.

## **AutoCAD**

Program AutoCAD je produktem společnosti Autodesk. Slouží pro práci ve 2D i 3D. Podporuje formáty: Standartními formáty jsou DWG a DXF. Program byl použit pro tvorbu rozpisů a k tisku vektorizovaných výkresů.

## **CloudCompare**

CloudCompare je software pro zpracování 3D mračna bodů, případně pro zpracování trojúhelníkových sítí a kalibrovaných snímků. Jedná se o volně přístupný software.

Mezi základní nástroje patří: projekce, registrace, výpočet vzdálenosti, výpočet statistiky, segmentace, dávkový export.

Software CloudCompare sloužil pro porovnání mračen bodů mezi sebou.

## **Trimble RealWorks**

Trimble RealWorks je určen pro zpracování mračna bodů. Slouží pro registraci, analýzu, modelování a tvorbu 3D výstupů ze skenovaných dat.

V programu Trimble RealWorks byl proveden výpočet mračna bodů ze statického skeneru FARO Focus3D X330.

## **RiPROCESS a POSPac**

Software RiPROCESS společnosti RIEGL slouží pro zpracování kinematických dat LiDAR. Je určen pro správu, zpracování, analýzu a vizualizaci dat získaných pomocí mobilních laserových skenovacích systémů (systémy MLS) založených na laserových skenerech RIEGL. [5]

RiPROCESS na základě přesného časového značení spravuje sběry a vazby mezi trajektoriemi, snímky a daty mračna bodů pro celý projekt. Mračna bodů lze dle potřeby filtrovat a barvit. Výsledná zpracovaná mračna bodů, snímky a data trajektorií lze exportovat do formátu las. [5]

Software RiPROCESS a POSPac MMS8 sloužil pro výpočet trajektorie a georeferencovaného mračna bodů.

## 6.2 Zpracování souřadnic identických bodů

GNSS měření bylo zpracováno výpočtem průměru z dvojího zaměření. Souřadnice z prvního a druhého zaměření s rozdíly byly zpracovány do tabulky (Tabulka 9). Výsledné průměrné souřadnice identických bodů 4001-4004 použité pro další výpočty jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 10).

*Tabulka 9: Souřadnice a rozdíly z měření GNSS ze dne 27.10.2021*

Měření 27.10.2021									
Bod	1. zaměření			2. zaměření			Rozdíly 1. a 2. měření		
	Y [m]	X [m]	Z [m]	Y [m]	X [m]	Z [m]	Δ Y [m]	Δ X[m]	Δ Z [m]
4001	734694,15	1048400,68	275,48	734694,13	1048400,67	275,46	0,02	0,01	0,02
4002	734714,69	1048381,68	274,40	734714,71	1048381,68	274,39	-0,02	0,00	0,01
4003	734698,80	1048363,32	273,91	734698,78	1048363,31	273,89	0,02	0,01	0,02
4004	734686,72	1048343,00	273,13	734686,71	1048343,00	273,11	0,01	0,00	0,02

*Tabulka 10: Průměrné souřadnice identických bodů*

Bod	Průměrné souřadnice identických bodů		
	Y [m]	X [m]	Z [m]
4001	734694,14	1048400,68	275,47
4002	734714,70	1048381,68	274,40
4003	734698,79	1048363,32	273,90
4004	734686,72	1048343,00	273,12

Kontrolní zaměření ze dne 27.2.2022 bylo zpracováno stejným postupem jako první zaměření. Toto měření bylo provedeno pro kontrolu. Souřadnice z prvního a druhého zaměření spolu s rozdíly jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 11).

*Tabulka 11: Souřadnice a rozdíly z měření GNSS ze dne 27.02.2022*

Měření 27.02.2022									
Bod	1. zaměření			2. zaměření			Rozdíly 1. a 2. měření		
	Y [m]	X [m]	Z [m]	Y [m]	X [m]	Z [m]	Δ Y [m]	Δ X[m]	Δ Z [m]
4001	734694,12	1048400,68	275,45	734694,17	1048400,68	275,48	-0,05	0,00	-0,03
4002	734714,71	1048381,70	274,37	734714,71	1048381,69	274,39	0,00	0,01	-0,02
4003	734698,77	1048363,28	273,89	734698,76	1048363,29	273,91	0,01	-0,01	-0,02
4004	734686,70	1048343,01	273,11	734686,71	1048343,01	273,12	-0,01	0,00	-0,01

Výsledné souřadnice z měření 27.11.2021 a 27.02.2022 byly porovnány. Výsledky jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 12). Největší odchylka byla v souřadnici Y a X 30 mm.

*Tabulka 12: Rozdíly souřadnic z měření 27.11.2021 a 27.02.2022*

Bod	Měření 27.10.2021			Měření 27.02.2022			Rozdíly		
	$\varnothing$ Y [m]	$\varnothing$ X [m]	$\varnothing$ Z [m]	$\varnothing$ Y [m]	$\varnothing$ X [m]	$\varnothing$ Z [m]	$\Delta$ Y [m]	$\Delta$ Y [m]	$\Delta$ Z [m]
4001	734694,14	1048400,68	275,47	734694,15	1048400,68	275,47	-0,01	0,00	0,00
4002	734714,70	1048381,68	274,40	734714,71	1048381,70	274,38	-0,01	-0,01	0,02
4003	734698,79	1048363,32	273,90	734698,77	1048363,29	273,90	0,03	0,03	0,00
4004	734686,72	1048343,00	273,12	734686,71	1048343,01	273,12	0,02	-0,01	0,00

## 6.3 Výpočet souřadnic podrobných bodů fasády měřených totální stanicí

Měření z totální stanice bylo zpracováno v programu KOKEŠ. Byl načten zápisník a identické body č. 4001-4004. V programu KOKEŠ byla spuštěna funkce klíč a transformace, byla zvolena shodnostní transformace a vybrány výchozí a cílové body. Transformace souřadnic byla provedena pro obě stanoviska č. 7001 a 7002. Výběrová střední souřadnicová chyba pro stanovisko č. 7001 byla 8,0 mm a pro stanovisko č. 7002 byla 7,5 mm. Během měření proběhlo zaměření 14 kontrolních bodů na fasádě domu. Kontrolní body byly vypočteny navíc protínáním z úhlů a výpočet je popsán v kapitole 6.3.2.

### 6.3.1 Transformace souřadnic

Souřadnice kontrolních bodů ze stanovisek č. 7001 a 7002 byly vloženy do tabulky (Tabulka 13) a rozdíly souřadnic bodů jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 14). Největší odchylka byla na kontrolním bodu č. 166=321. Tato odchylka činila 13 mm v souřadnici X, 25 mm v souřadnici Y a 4 mm v souřadnici Z. Na bod 166=321 byla změřena špatná délka a tento bod byl pro tvorbu vektorizovaného výkresu vyloučen.

Tabulka 13: Souřadnice kontrolních bodů určených pomocí transformace souřadnic

Bod	Měření ze stanoviska 7001			Měření ze stanoviska 7002		
	Y [m]	X [m]	Z [m]	Y [m]	X [m]	Z [m]
121 = 318	734703,695	1048356,820	287,948	734703,690	1048356,818	287,948
117 = 319	734703,846	1048355,472	287,947	734703,841	1048355,472	287,946
142 = 316	734703,909	1048355,024	284,831	734703,904	1048355,020	284,831
166 = 321	734702,511	1048352,968	277,026	734702,486	1048352,981	277,022
106 = 317	734703,746	1048356,369	278,697	734703,741	1048356,365	278,699
184 = 322	734702,261	1048351,573	284,950	734702,253	1048351,571	284,924
190 = 315	734702,500	1048352,974	286,370	734702,495	1048352,973	286,369
217 = 274	734703,996	1048348,552	287,961	734703,991	1048348,549	287,958
213 = 275	734703,782	1048346,695	287,962	734703,773	1048346,690	287,960
224 = 291	734703,998	1048348,565	284,842	734703,990	1048348,559	284,843
225 = 273	734703,832	1048347,171	283,414	734703,835	1048347,168	283,415
223 = 285	734704,000	1048348,566	281,795	734703,994	1048348,565	281,797
226 = 269	734703,838	1048347,174	280,325	734703,837	1048347,171	280,319
222 = 279	734703,999	1048348,567	278,710	734703,993	1048348,564	278,711
219 = 258	734703,757	1048346,305	275,655	734703,764	1048346,299	275,660

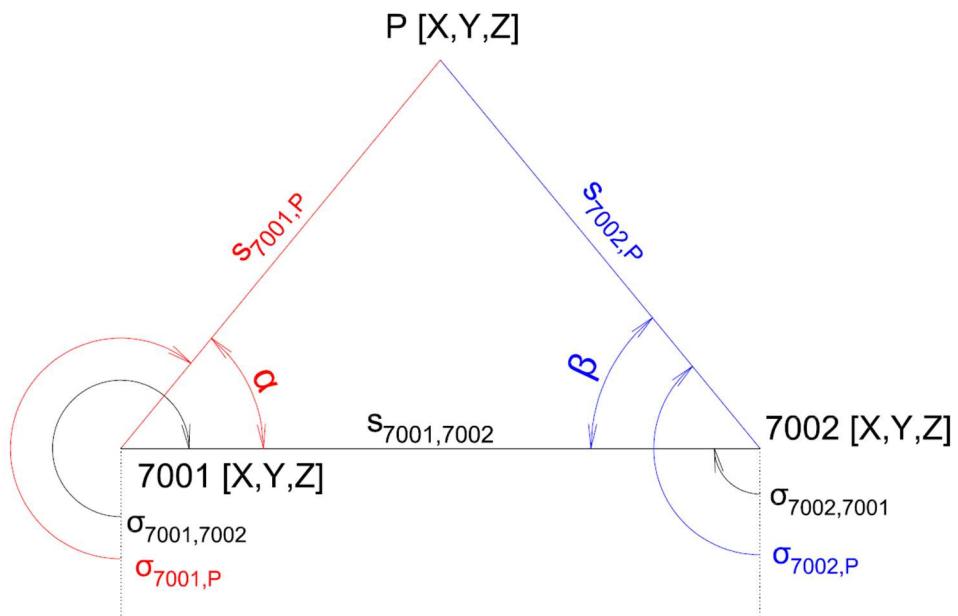
Tabulka 14: Rozdíly souřadnic kontrolních bodů určených pomocí transformace souřadnic

Bod	rozdíl		
	Δ Y [mm]	Δ X [mm]	Δ Z [mm]
121 = 318	5	2	0
117 = 319	5	0	1
142 = 316	5	4	0
166 = 321	25	-13	4
106 = 317	5	4	-2
184 = 322	8	2	26
190 = 315	5	1	1
217 = 274	5	3	3
213 = 275	9	5	2
224 = 291	8	6	-1
225 = 273	-3	3	-1
223 = 285	6	1	-2
226 = 269	1	3	6
222 = 279	6	3	-1
219 = 258	-7	6	-5

Bod 166=321 a 184=322 byl pro výpočet průměrné směrodatné odchylky odstraněn. Průměrná směrodatná odchylka pro rozdíl v ose Y byla 5,72 mm, v ose X byla 3,63 mm a v ose Z byla 2,59 mm.

### 6.3.2 Protínání z úhlů a trigonometrické určení výšek

Protínání z úhlu (Obrázek 18) bylo provedeno pro kontrolu měření šikmých vzdáleností totální stanicí. Ze souřadnic známých bodů (č. 7001, 7002, 4001, 4002, 4003, 4004) byly vypočteny jednotlivé směrníky v programu Groma, protokol o výpočtu souřadnic stanovisek č. 7001 a 7002 a jednotlivých směrníků je doložen v příloze (Adresář 5). Pomocí měřených vodorovných směrů a vypočtených směrníků byly vypočteny orientační posuny pro každý kontrolní bod. Z orientačních posunů byly určeny úhly  $\alpha$  a  $\beta$ . Z těchto úhlů bylo nyní možné vypočítat směrníky na kontrolní body.



Obrázek 18: Schématické znázornění protínání z úhlů

Délky  $S_{7001,P}$  a  $S_{7002,P}$  byly počítány pomocí vzorce pro sinovou větu:

$$S_{7001,P} = \frac{s_{7001,7002}}{\sin(\alpha + \beta)} * \sin \beta$$

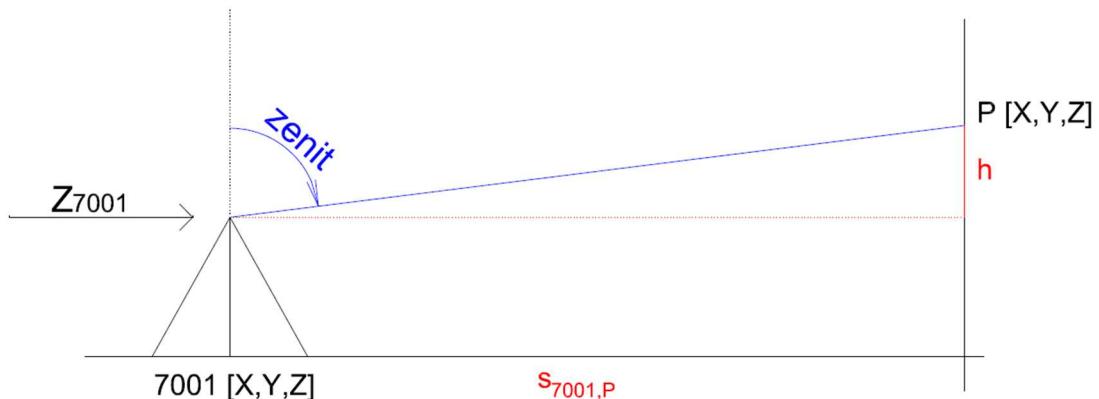
$$S_{7002,P} = \frac{s_{7001,7002}}{\sin(\alpha + \beta)} * \sin \alpha \quad (2)$$

Souřadnice X a Y byly vypočteny analogicky rajonem z obou stanovisek:

$$X_P = X_{7001} + S_{7001,P} * \cos \sigma_{7001,P}$$

$$Y_P = Y_{7001} + S_{7001,P} * \sin \sigma_{7001,P} \quad (3)$$

Výšky kontrolních bodů byly určeny trigonometrickým určením výšek (Obrázek 19).



Obrázek 19: Trigonometrické určení výšek

Převýšení h a následná nadmořská výška byla určena pomocí vzorce:

$$Z_P = Z_{7001} + S_{7001,P} * \cot \text{zenit} \quad (4)$$

Výpočet byl proveden analogicky z obou stanovisek.

Výsledné souřadnice kontrolních bodů ze stanovisek č. 7001 a 7002 byly vloženy do tabulky (Tabulka 16) a rozdíly souřadnic jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 16).

Tabulka 15: Výsledné souřadnice kontrolních bodů určených protínáním z úhlů

Bod	Měření ze stanoviska 7001			Měření ze stanoviska 7002		
	Y [m]	X [m]	Z [m]	Y [m]	X [m]	Z [m]
121 = 318	734703,694	1048356,831	287,950	734703,694	1048356,831	287,949
117 = 319	734703,844	1048355,484	287,948	734703,844	1048355,484	287,946
142 = 316	734703,911	1048355,034	284,834	734703,911	1048355,034	284,832
166 = 321	734702,493	1048352,994	277,027	734702,493	1048352,994	277,018
106 = 317	734703,746	1048356,379	278,698	734703,746	1048356,379	278,696
184 = 322	734702,260	1048351,584	284,952	734702,260	1048351,584	284,924
190 = 315	734702,499	1048352,985	286,372	734702,499	1048352,985	286,369
217 = 274	734703,999	1048348,560	287,964	734703,999	1048348,560	287,961
213 = 275	734703,788	1048346,701	287,966	734703,788	1048346,702	287,966
224 = 291	734704,003	1048348,572	284,846	734704,003	1048348,572	284,847
225 = 273	734703,836	1048347,178	283,417	734703,836	1048347,178	283,413
223 = 285	734704,002	1048348,576	281,796	734704,002	1048348,576	281,796
226 = 269	734703,843	1048347,181	280,327	734703,843	1048347,181	280,317
222 = 279	734704,002	1048348,575	278,712	734704,002	1048348,576	278,709
219 = 258	734703,766	1048346,308	275,656	734703,766	1048346,309	275,655

Tabulka 16: Rozdíly souřadnic kontrolních bodů určených protínáním z úhlů

Bod	Rozdíly		
	Δ Y [mm]	Δ X [mm]	Δ Z [mm]
121 = 318	0	0	1
117 = 319	0	0	2
142 = 316	0	0	2
166 = 321	0	0	8
106 = 317	0	0	2
184 = 322	0	0	27
190 = 315	0	0	2
217 = 274	0	0	3
213 = 275	0	0	0
224 = 291	0	0	-1
225 = 273	0	0	5
223 = 285	0	0	1
226 = 269	0	0	10
222 = 279	0	0	3
219 = 258	0	0	1

Průměrná směrodatná odchylka rozdílu v ose Y a X byla 0,00 mm, v ose Z 4,12 mm (pro výpočet byl odstraněn bod 184=322). Ve výpočtu souřadnic kontrolních bodů protínáním z úhlů bylo zjištěno, že se bod 166=321 nyní v souřadnici Y neliší, v tomto případě se jednalo o špatné změření šikmé vzdálenosti.

## 6.4 Zpracování mračna bodů

### 6.4.1 Mobilní mapovací systém

Zpracování bylo provedeno v programu RiPROCESS a POSPac a bylo provedeno celkem 3x, pro 3 nezávislá měření.

Výpočet trajektorie byl prováděn v softwaru POSPac MMS8. K výpočtu byla potřeba data z virtuální referenční stanice – RINEX data a data z RealTime, která ukládala INS/GNSS jednotka. V software byl založen nový projekt, do kterého byla vložena data z RealTime. Software spustil automatické stahování přesných efemerid a stahoval data, která byla veřejně dostupná. Dalším krokem bylo přidání dat z referenční stanice. Nyní byl v nastavení referenční stanice zadán souřadnicový systém ETRS89/UTM33 a epocha měření. Následovalo nastavení základnové stanice, čímž byla data překonvertována do vnitřních dat POSPacu. Nyní byl spuštěn výpočet trajektorie, jednalo se o automatický proces, kdy je trajektorie počítána tam i zpět a postupně byl výpočet zpřesňován. Odchylky trajektorie po postprocesním výpočtu prvního nájezdu byly vyobrazeny v grafu, který je v příloze (Adresář 8) a jsou v souřadnicovém systému ETRS89/UTM33. Grafy z druhého a třetího nájezdu jsou přiloženy v příloze (Adresář 8). Nakonec byla vyexportována výsledná vyhlazená trajektorie.

Do softwaru RiPROCESS byla pomocí POFImport vložena vypočtená trajektorie z předchozího výpočtu. Nyní bylo spuštěno zpracování naměřených záznamů, ze kterých byla vytvořena georeferencovaná mračna bodů.

RiPRECISON je dalším modulem RiPROCESS, ve kterém bylo urovnáno mračno bodů na trajektorii. Pomocí identických bodů č. 4001–4004 byla přesněji urovnána trajektorie. Mód pro urovnání byl zvolen non-rigid with translation, který nebere trajektorii jako tuhou a na identických bodech dosahuje mračno po urovnání nulových odchylek.

Výsledná mračna v systému ETRS89/UTM33 mi byla poskytnuta od spolužáka a kolegy Ondřeje Grešly. Více je tento postup popsán v bakalářské práci Ondřeje Grešly s názvem: Porovnání přesnosti mobilního mapovacího systému s terestrickým měřením a pořízení tohoto zařízení (2022). [12]

#### **6.4.2 Statický skener**

Zpracování mračna bodů předcházel výpočet souřadnic identických bodů, výpočet byl proveden v programu Kokeš pomocí funkce klíč a transformace, byla zvolena shodnostní transformace a vybrány výchozí a cílové body. Výběrová střední souřadnicová chyba pro volné stanovisko č. 7003 byla 8,5 mm. Zpracování mračna bodů ze statického skeneru bylo provedeno v programu Trimble RealWorks.

V první části bylo potřeba nainstalovat surová data FLS složky. V záložce Home → Import → Import FLS files. Pro provedeném importu bylo každé stanovisko reprezentováno jednou složkou. Dále bylo potřeba vytvořit mračno bodů pomocí funkce Create Sampled Scans. V této funkci bylo v záložce Sampling zvoleno nařazení dat a interval mezi body (bylo zvoleno 0,001 m) jako Spatial Sampling –. Poté byla provedena registrace naskenovaných dat. Registrace byla provedena manuálně pomocí kulových terčů a identických bodů šachovnicového tvaru. V záložce Registration byla spuštěna funkce Target-Based Registration a byly nalezeny všechny kulové terče. Tyto nově vytvořené body byly zahrnuty do výpočtu. Po registraci vyskočila tabulka s dosaženou přesností viz. tabulka (Tabulka 17).

*Tabulka 17: Dosažená přesnost registrace naskenovaných dat*

Kulový terč	Stanovisko č. 5001		Stanovisko č. 5002	
	Směrodatná odchylka proložení koule mračnem [mm]	Směrodatná odchylka transformace mezi jednotlivými stanovisky [mm]	Směrodatná odchylka proložení koule mračnem [mm]	Směrodatná odchylka transformace mezi jednotlivými stanovisky [mm]
1	0	1	0	1
2	0	1	1	1
3	0	1	0	1
4	1	1	1	1

Náslelovalo georeferencování na identické body šachovnicového tvaru. Pro georeferencování byla použita funkce pomocí černobílých terčů. Jednotlivé terče byly přiřazeny k bodům ze seznamu souřadnic. Po přidání bodů byly viděny v tabulce (Tabulka 18) odchylky pro každý identický bod. Potvrzením byla provedena transformace.

*Tabulka 18: Souřadnicové odchylky georeferencování na identických bodech*

Číslo identického bodu	Souřadnicová odchylka [mm]
18	3
30	4
20	5
16	2
17	3
Průměr [mm]	3

Na závěr bylo provedeno očištění a ořez mračna bodů. Mračno bylo vyexportováno do formátu las.

## 6.5 Vektorizace výkresů z podrobných bodů a mračen bodů

Jednotlivé výkresy byly tvořeny vektorizací na podkladě výše zpracovaných podrobných bodů a mračen bodů v programu MicroStation. Do programu MicroStation byly vloženy podrobné body, na fasádě byly zvoleny dvě osy, které sloužily pro natočení, aby byla fasáda zobrazena v nárys. Byla nastavena aktivní hloubka, která sloužila pro vykreslování pohledu. Poté byla provedena vektorizace fasády. Stejný postup byl aplikován pro další výkresy, z mračna bodů ze statického skenování a 3x z mobilního mapovacího systému.

## **7. Vyhodnocení výsledků**

### **7.1 Porovnání**

V této kapitole bylo provedeno porovnání mračen bodů v programu CloudCompare a porovnání vektorizovaných výkresů, které vznikly v programu MicroStation na podkladě podrobných bodů a mračen bodů.

V kapitole 7.1.1 byla porovnána mračna bodů v programu Cloudcompare. Nejprve bylo provedeno porovnání mračen bodů z mobilního mapovacího systému mezi sebou pomocí funkce *Cloud/Cloud Distance*, tato mračna byla v souřadnicovém systému ETRS89/UTM33 na elipsoidu GRS1980. Poté bylo provedeno porovnání mračna bodů ze statického skeneru s mračny bodů z mobilního mapovacího systému. Mračna byla na sebe transformována pomocí překrytu ICP algoritmem v programu CloudCompare. Mračna z mobilního mapovacího systému byla transformována na mračno ze statického skeneru, aby bylo porovnání provedeno v S-JTSK a Bpv.

V kapitole 7.1.2 byly porovnány vektorizované výkresy v programu MicroStation. Z předchozí kapitoly byla uložena mračna z mobilního mapovacího systému do S-JTSK. Porovnávané výkresy byly vyhotoveny v S-JTSK z podrobných bodů měřených totální stanicí, mračna bodů ze statického skenování a 3x mračna bodů z mobilního mapovacího systému.

V kapitole 7.1.3 byla provedena opakovatelnost vektorizace na mračnech bodů z mobilního mapovacího systému pro 2. a 3. nájezd.

#### **7.1.1 Porovnání mračen bodů**

##### **Porovnání dat z mobilního mapovacího systému**

Porovnání bylo provedeno pro mračna bodů z mobilního mapovacího systému RIEGL VMX-2HA a statického skeneru FARO Focus3D X330. Mobilní mapovací systém nabídl celkem tři mračna bodů, statický skener jedno mračno bodů. Porovnání bylo provedeno v programu CloudCompare.

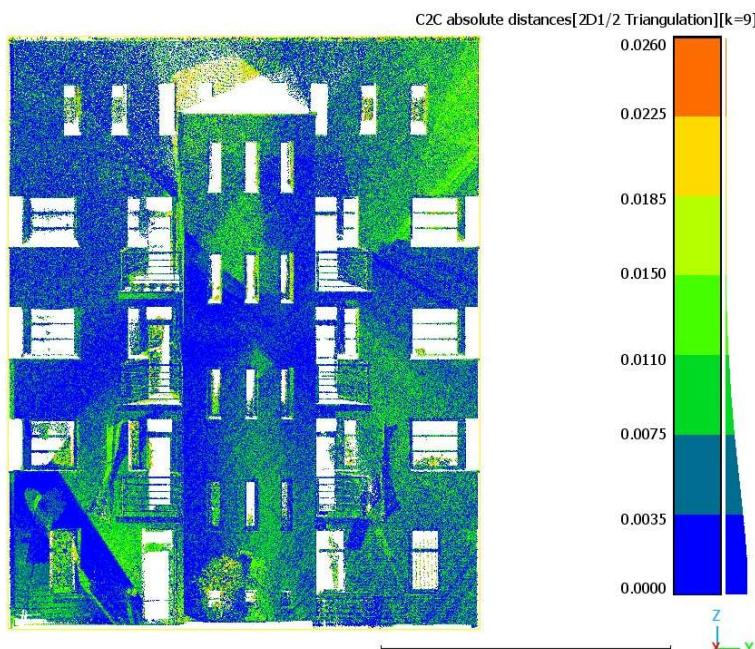
Do prvního porovnání vstupovala mračna z mobilního mapovacího systému v systému UTM33, která byla porovnána mezi sebou. Pro toto porovnání byla použita

funkce *Cloud/Cloud Distance*. Tato funkce umožňuje výpočet odlehlosti mezi mračny. Celkem byly provedeny 3 porovnání, v tabulce (Tabulka 19) jsou uvedena porovnávaná mračna společně s tím, které mračno je použito jako referenční a porovnávané. Při výpočtu vzdálenosti bylo nastaveno rozdělení rozdílů do jednotlivých souřadnic X, Y, Z, díky kterým bylo vyhodnocení provedeno pro všechny tyto složky.

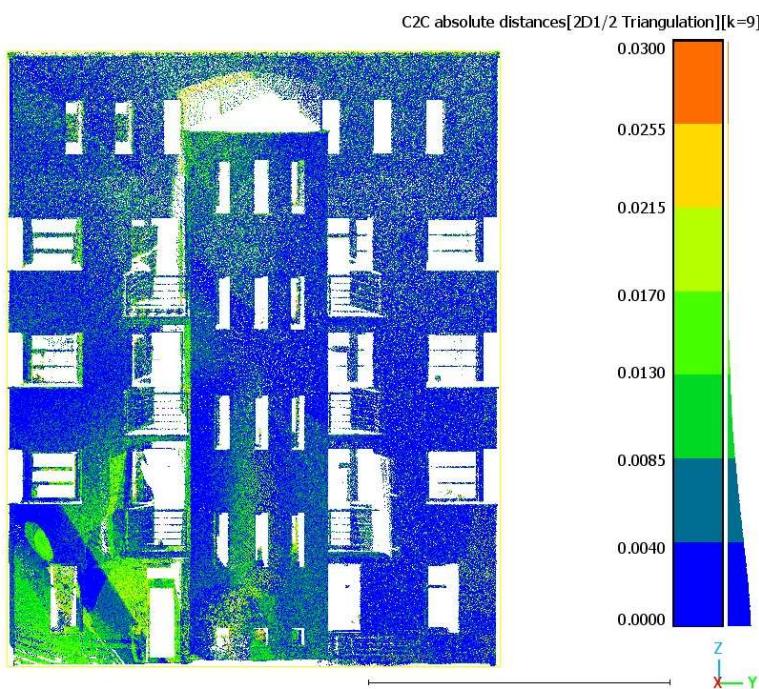
Tabulka 19: Porovnávaná mračna bodů z mobilního mapovacího systému

	Referenční mračno bodů	Porovnávané mračno bodů
1. Porovnání	1. nájezd	2. nájezd
2. Porovnání	1. nájezd	3. nájezd
3. Porovnání	3. nájezd	2. nájezd

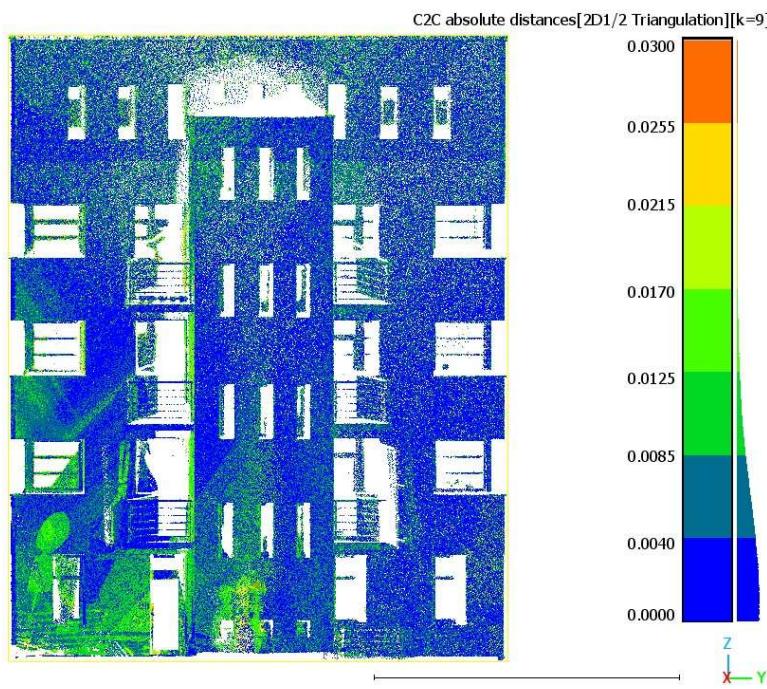
Při porovnání všech tří nájezdů (Obrázek 20, Obrázek 21, Obrázek 22) v absolutní hodnotě nabývají rozdíly hodnot až do výše 30 mm. U porovnání 2. se 3. nájezdem se jedná o 88 % bodů v mračnu, které nabývají rozdílů menších než 10 mm. U porovnání 1. s 2. nájezdem se jedná o 91 % bodů, které nabývají rozdílů do 10 mm a nejvíce zdeformovaný se jeví pravý horní roh. U 1. a 3. nájezdu je to naopak levý dolní roh, jedná se celkem 86 % bodů v mračnu, které nabývají rozdílů pod 10 mm.



Obrázek 20: Porovnání 1. nájezd vs 2. nájezd – absolutní hodnota

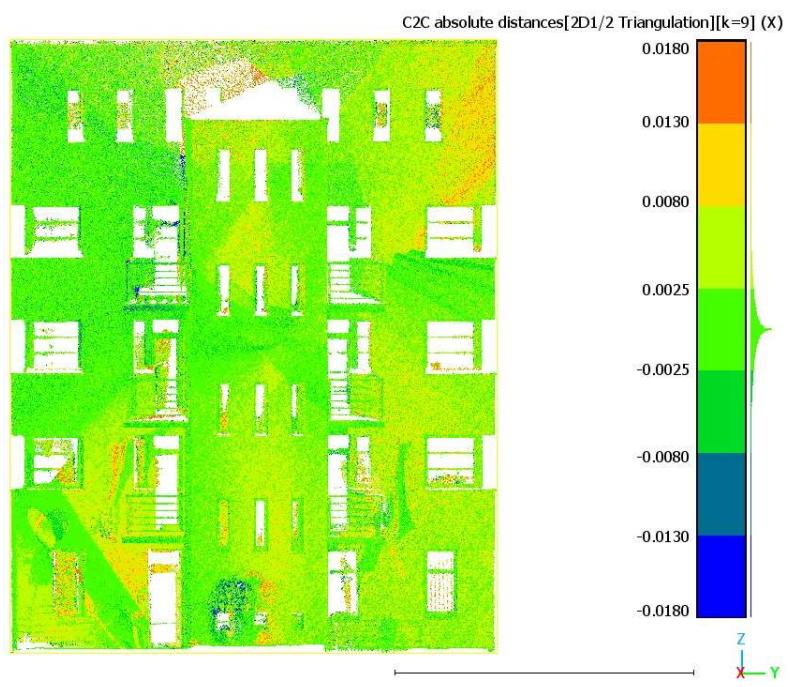


Obrázek 21: Porovnání 1. nájezd vs 3. nájezd – absolutní hodnota

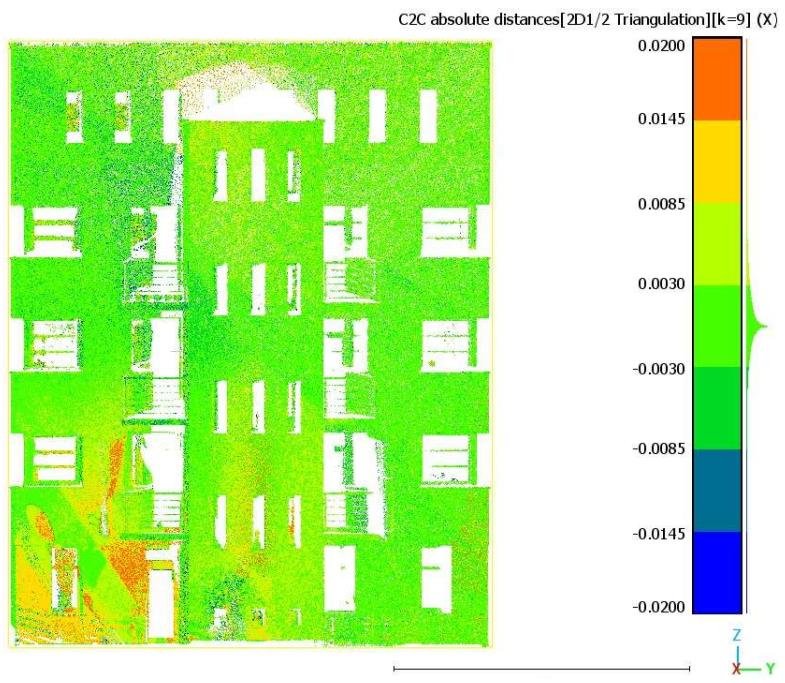


Obrázek 22: Porovnání 2. nájezd vs 3. nájezd – absolutní hodnota

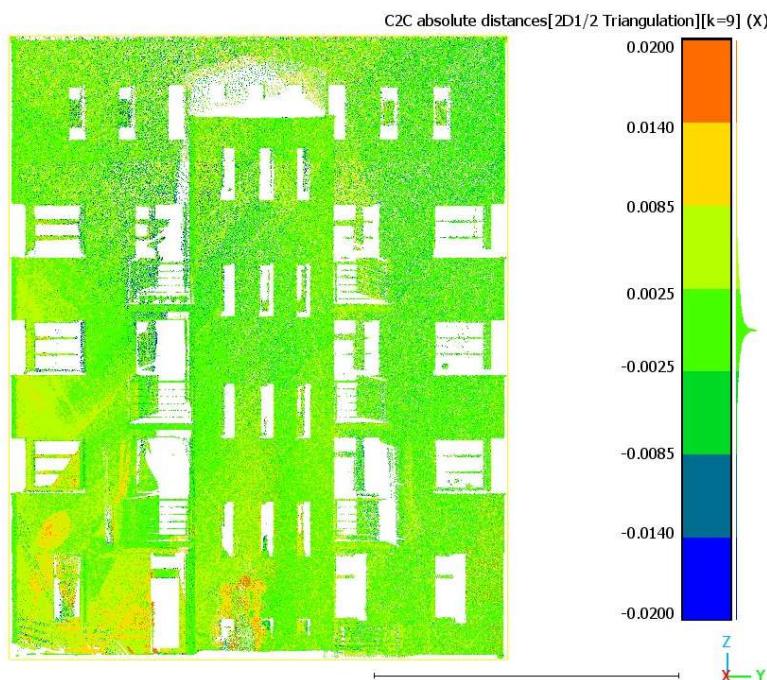
Při porovnání všech tří nájezdů (Obrázek 23, Obrázek 24, Obrázek 25) v ose X (osa X směruje kolmo na rovinu fasády) je patrné, že rozdíly nabývají hodnot maximálně  $\pm 20$  mm. U 96 % bodů činí rozdíl méně než  $\pm 10$  mm. Nejvíce zdeformovaný se jeví levý dolní roh.



Obrázek 23: Porovnání 1. nájezd vs 2. nájezd – osa X



Obrázek 24: Porovnání 1. nájezd vs 3. nájezd – osa X



Obrázek 25: Porovnání 2. nájezd vs 3. nájezd – osa X

Při porovnání pro osu Y (osa Y směřuje rovnoběžně s rovinou fasády) činí rozdíly maximálně  $\pm 15$  mm, z toho 97 % bodů v mračnu jsou rozdíly do  $\pm 10$  mm. A pro osu Z (osa Z vyjadřuje výšku) nabývají hodnoty rozdílů stejných maximálních odchylek jako osa Y, rozdíly do  $\pm 10$  mm jsou nyní pro 99 % bodů v mračnu.

Zbylé obrázky porovnání jsou přiloženy v elektronické příloze (Adresář 6).

#### **Shrnutí:**

Při porovnání všech tří nájezdů mezi sebou je patrné, že rozdíly nad 10 mm v absolutní hodnotě nepřekračují 14 % z celkového počtu bodů. V ose X (osa X směřuje kolmo na rovinu fasády) rozdíly nad 10 mm nepřekračují 5 % z celkového počtu bodů. Pro osu Y a Z jsou nad 10 mm v rozmezí 1–5 %. Rozdíly spolu s četností jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 20), pro 95 % interval spolehlivosti byly vypočteny rozdíly, které jsou v každé tabulce vždy zvýrazněné červenou barvou. Střední hodnota a směrodatná odchylka byla určena z Gaussova histogramu.

Tabulka 20: Rozdíly s četností u porovnání jednotlivých nájezdů

1. nájezd vs 2. nájezd		1. nájezd vs 3. nájezd		2. nájezd vs 3. nájezd	
Absolutní hodnota		Absolutní hodnota		Absolutní hodnota	
rozdíl [mm]	četnost [%]	rozdíl [mm]	četnost [%]	rozdíl [mm]	četnost [%]
26	100	30	100	30	100
20	100	20	99	20	99
15	98	15	96	15	96
10	91	10	87	10	86
5	62	5	58	5	56
<b>12</b>	<b>95</b>	<b>14</b>	<b>95</b>	<b>14,2</b>	<b>95</b>
Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]	Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]	Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]
4,8	3,8	5,3	4,4	5,5	4,4
Osa X		Osa X		Osa X	
rozdíl [mm]	četnost [%]	rozdíl [mm]	četnost [%]	rozdíl [mm]	četnost [%]
-18 až 18	100	-20 až 20	100	-20 až 20	100
-15 až 15	100	-15 až 15	99	-15 až 15	100
-10 až 10	98	-10 až 10	95	-10 až 10	96
-5 až 5	85	-5 až 5	80	-5 až 5	79
<b>-7,6 až 8,5</b>	<b>95</b>	<b>-8,5 až 11,4</b>	<b>95</b>	<b>-9,4 až 9,2</b>	<b>95</b>
Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]	Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]	Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]
0,2	3,7	0,7	4,4	0,3	4,4
Osa Y		Osa Y		Osa Y	
rozdíl [mm]	četnost [%]	rozdíl [mm]	četnost [%]	rozdíl [mm]	četnost [%]
X	X	-18 až 18	100	-22 až 22	100
-15 až 15	100	-15 až 15	100	-15 až 15	98
-10 až 10	98	-10 až 10	97	-10 až 10	95
-5 až 5	88	-5 až 5	86	-5 až 5	83
<b>-7,3 až 7,9</b>	<b>95</b>	<b>-6,3 až 10,1</b>	<b>95</b>	<b>-6,1 až 13,3</b>	<b>95</b>
Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]	Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]	Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]
0,1	3,4	0,7	3,7	1,4	4,3
Osa Z		Osa Z		Osa Z	
rozdíl [mm]	četnost [%]	rozdíl [mm]	četnost [%]	rozdíl [mm]	četnost [%]
-15 až 15	100	-16 až 16	100	-15 až 15	100
-10 až 10	99	-10 až 10	99	-10 až 10	99
-5 až 5	90	-5 až 5	89	-5 až 5	92
<b>-6 až 7,7</b>	<b>95</b>	<b>-6,4 až 7,4</b>	<b>95</b>	<b>-6,3 až 6,3</b>	<b>95</b>
Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]	Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]	Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]
0,3	3,1	0,2	3,1	0,0	2,8

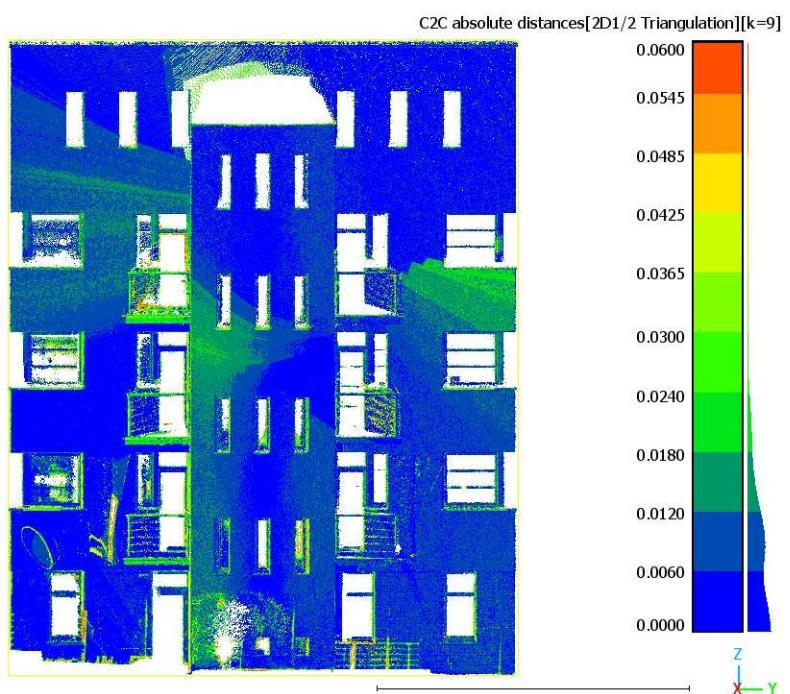
## **Porovnání dat z mobilního mapovacího systému se statickým skenerem**

Do druhého porovnání vstupovala tři mračna z mobilního mapovacího systému a jedno mračno ze statického skeneru. Jelikož mračna z mobilního mapovacího systému byla v systému ETRS89/UTM33, byla potřeba jednotlivá mračna transformovat do S-JTSK. Transformace byla provedena ve dvou krocích. V prvním kroku byla mračna z mobilního mapovacího systému transformována na mračno ze statického skeneru pomocí funkce *Registration* → *Align*. Transformace byla provedena pomocí 13 rovnoměrně rozložených bodů po fasádě. Takto transformovaná mračna byla použita pro tvorbu vektorizovaných výkresů. Pro porovnání mračen mezi mobilním mapovacím systémem a statickým skenerem byla provedena v druhém kroku transformace pomocí ICP algoritmu na základě překrytového území. Pro porovnání byla použita funkce *Cloud/Cloud Distance*, použito bylo stejné nastavení jako v předchozím případě. Celkem byly provedeny 3 porovnání, jednotlivá porovnání jsou sepsána v tabulce (Tabulka 21), mračno bodů ze statického skeneru bylo vždy považováno za referenční.

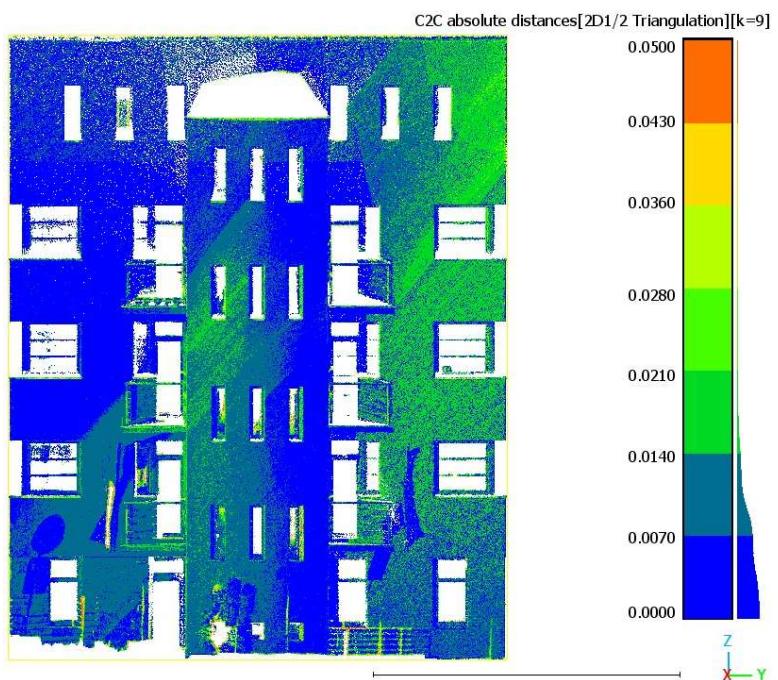
*Tabulka 21: Jednotlivá porovnání mračen bodů ze statického skenování s mobilním mapovacím systémem*

1. Porovnání	FARO	1. nájezd
2. Porovnání	FARO	2. nájezd
3. Porovnání	FARO	3. nájezd

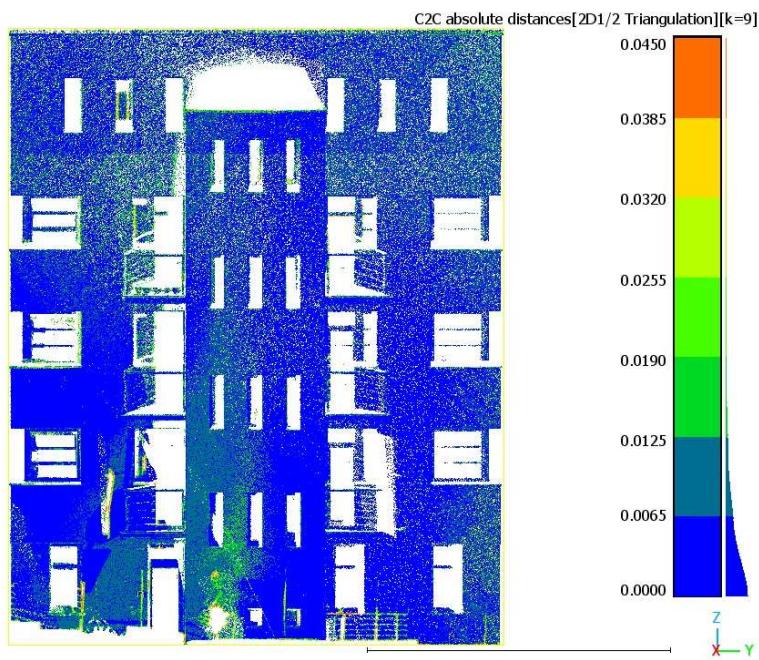
V porovnání FARO vs 1., 2., 3. nájezd (Obrázek 26, Obrázek 27, Obrázek 28) v absolutní hodnotě nabývají rozdíly až 30 mm. U 73 % bodů v mračnu se jedná o rozdíly, které nabývají hodnot do 10 mm. U 2. nájezdu je nevíce zdeformovaný pravý horní roh.



Obrázek 26: Porovnání FARO vs 1. nájezd – absolutní hodnota

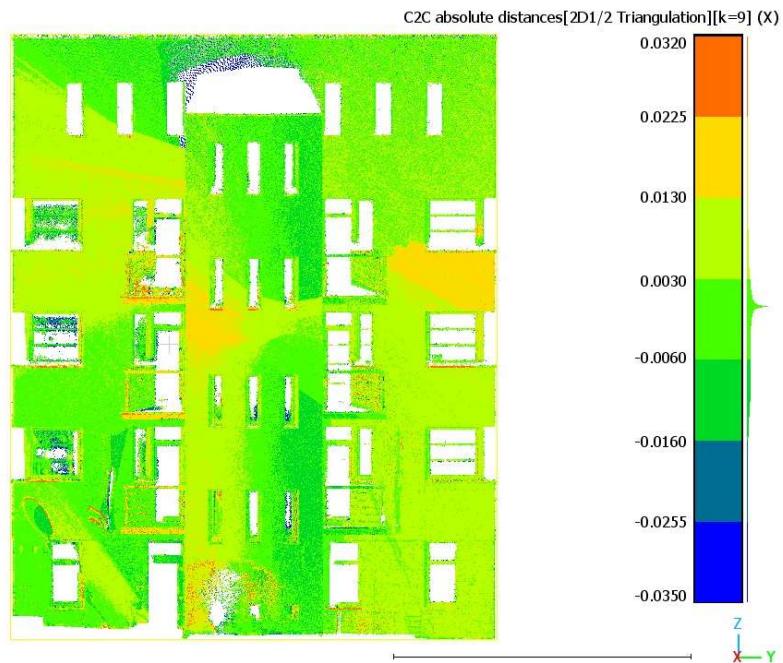


Obrázek 27: Porovnání FARO vs 2. nájezd – absolutní hodnota

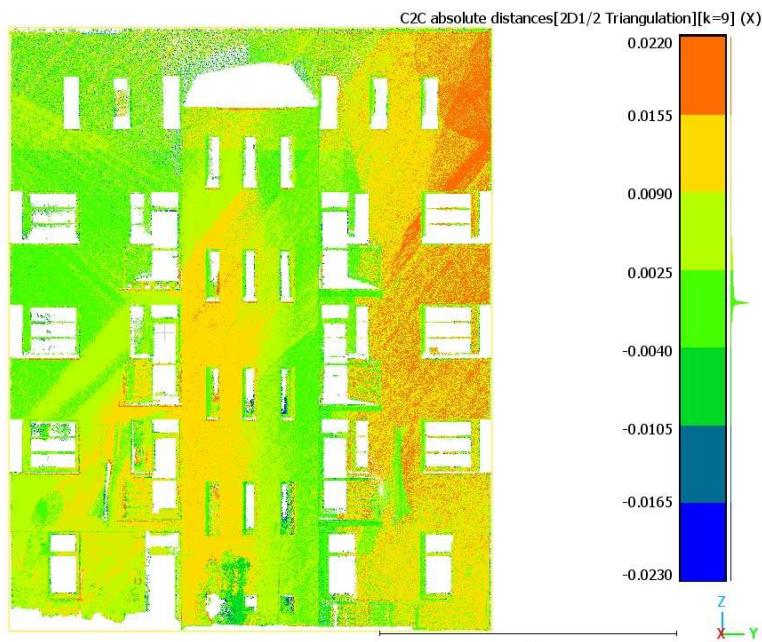


Obrázek 28: Porovnání FARO vs 3. nájezd – absolutní hodnota

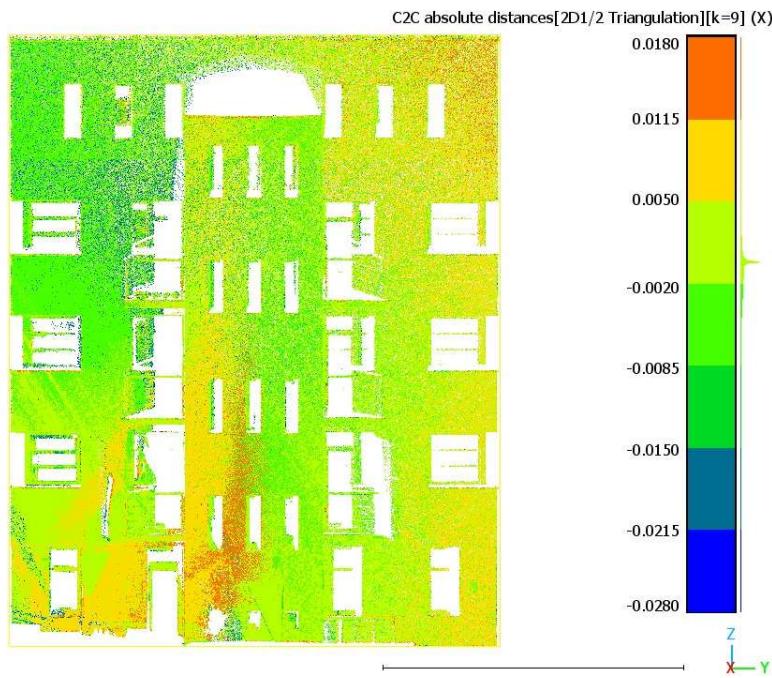
V porovnání FARO vs 1., 2., 3. nájezd (Obrázek 29, Obrázek 30, Obrázek 31) v ose X (osa X směřuje kolmo na rovinu fasády) nabývají rozdíly hodnot až  $\pm 20$  mm. Nejvíce zdeformovaný se dá stále považovat pravý horní roh. 81 % z celkového počtu bodů nabývají rozdíly do  $\pm 10$  mm.



Obrázek 29: Porovnání FARO vs 1. nájezd – osa X

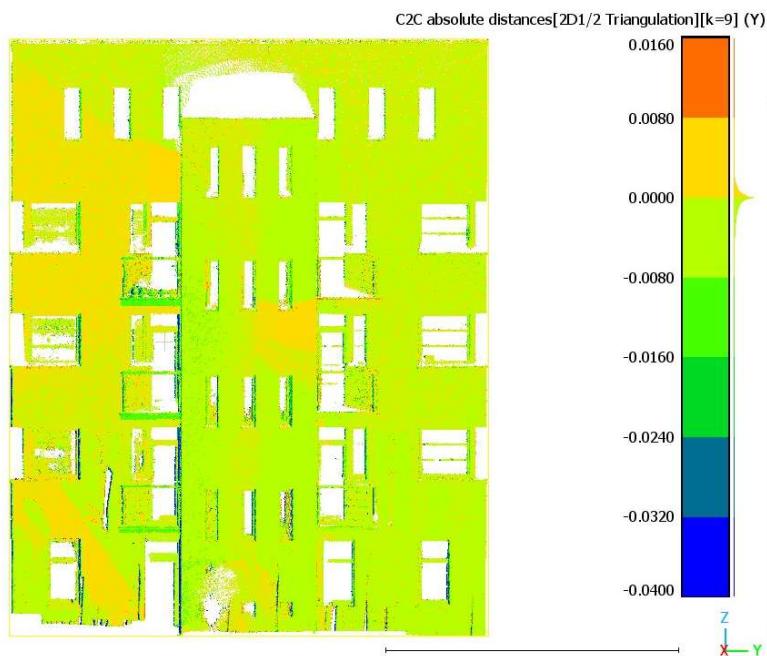


Obrázek 30: Porovnání FARO vs 2. nájezd – osa X

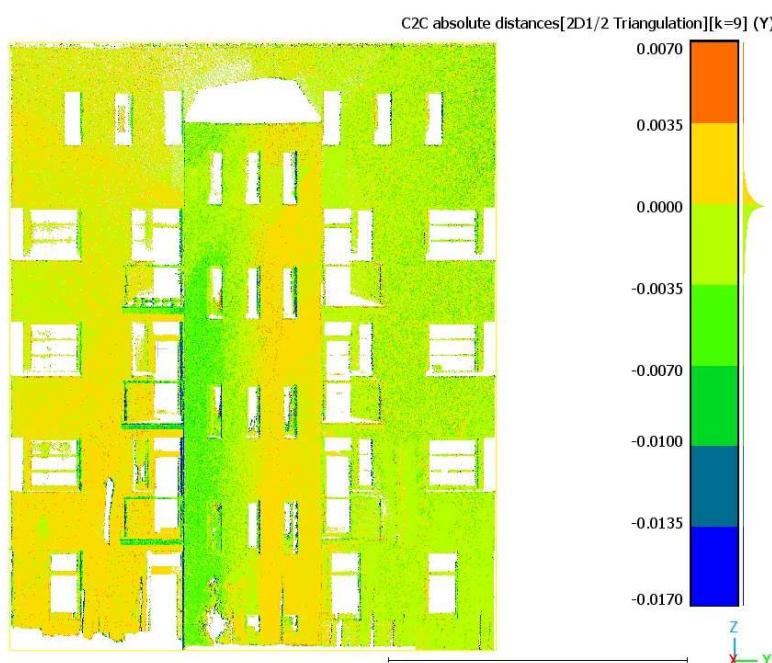


Obrázek 31: Porovnání FARO vs 3. nájezd – osa X

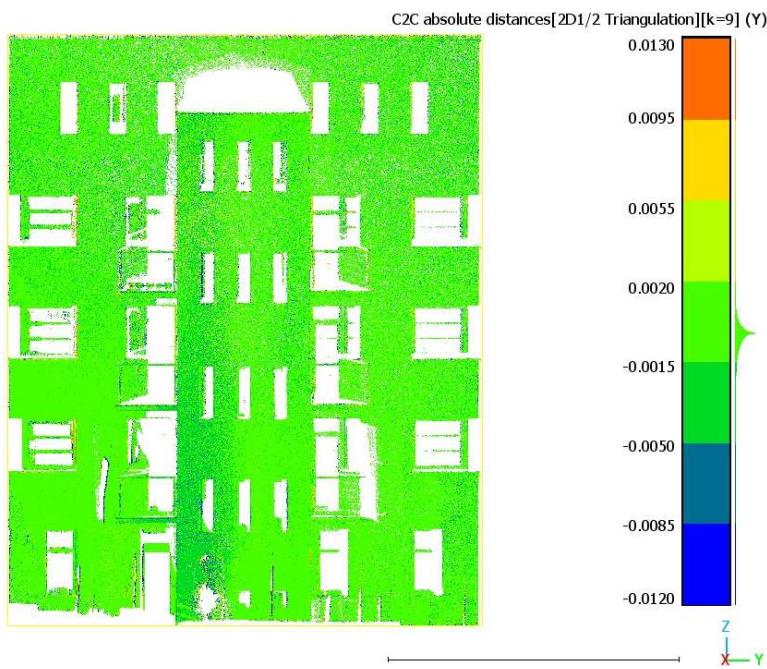
V porovnání FARO vs 1., 2., 3. nájezd (Obrázek 32, Obrázek 33, Obrázek 34) v ose Y (osa Y směřuje rovnoběžně s rovinou fasády) nabývají rozdíly  $\pm 10$  mm, tyto odchylky činí 96 % z celkového počtu bodů.



Obrázek 32: Porovnání FARO vs 1. nájezd – osa Y



Obrázek 33: Porovnání FARO vs 2. nájezd – osa Y



Obrázek 34: Porovnání FARO vs 3. nájezd – osa Y

Při porovnání pro osu Z (osa Z vyjadřuje výšku) jsou rozdíly pouze u porovnání FARO vs 1. nájezd do  $\pm 5$  mm v 95 % z celkového počtu bodů, u zbylých dvou porovnání jsou odchylinky do  $\pm 5$  mm ve 100 % bodů.

Zbylé porovnání je přiloženo v elektronické příloze (Adresář 6).

#### **Shrnutí:**

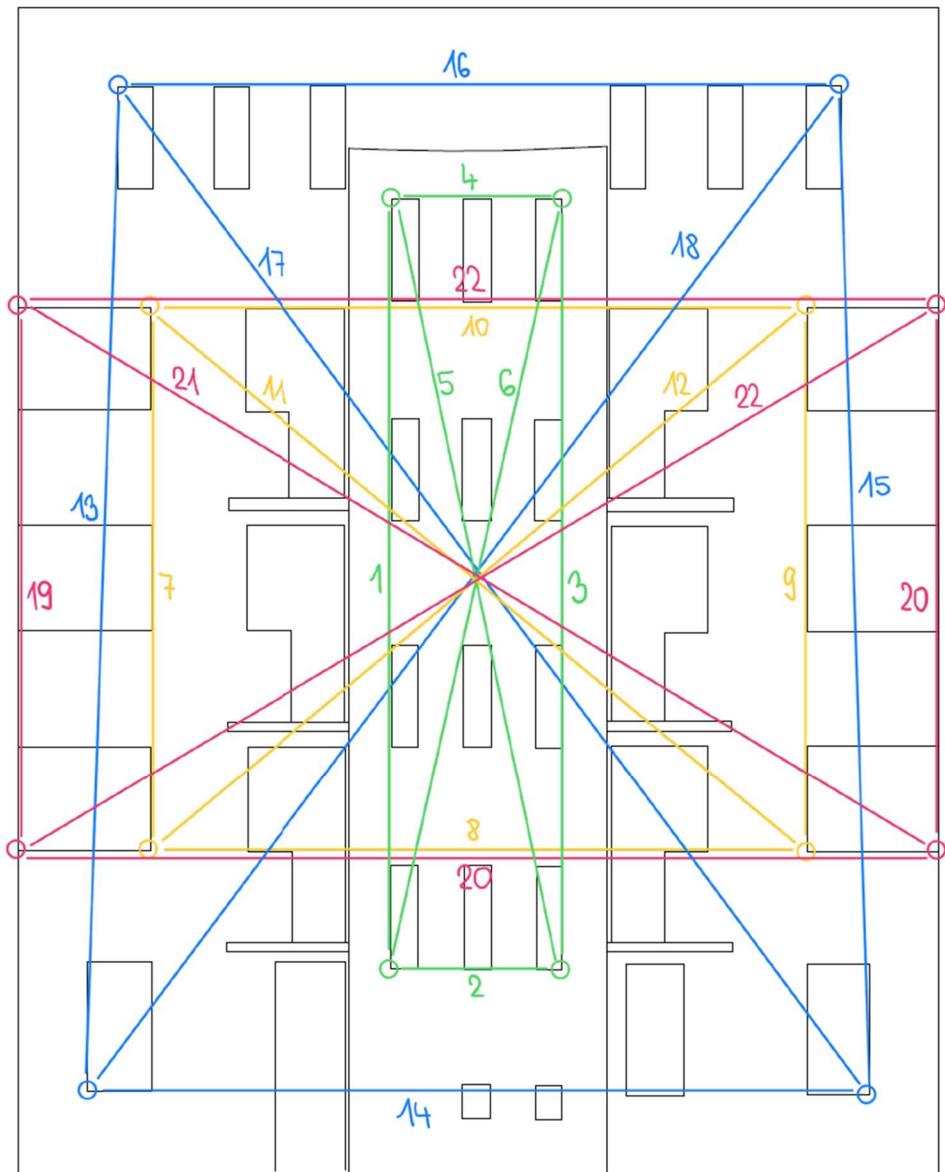
Při porovnání mračna ze statistického skeneru s mračny bodů z jednotlivých nájezdů pomocí překrytu je patrné, že rozdíly v absolutní hodnotě nad 10 mm nepřesahují více jak 41 % z celkového počtu bodů. Rozdíly v ose X (osa X směřuje kolmo na rovinu fasády) nad  $\pm 10$  mm nepřekračují 30 % z celkového počtu bodů. Pro osu Y nabývají rozdíly nad  $\pm 10$  mm v celkovém počtu 8 %. V ose Z jsou rozdíly nad  $\pm 10$  mm v 0 % z celkového počtu bodů. Rozdíly s četností jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 22), rozdíly pro 95 % interval spolehlivosti jsou v tabulce zvýrazněné červenou barvou. Střední hodnota a směrodatná odchylka byla určena z Gaussova histogramu.

Tabulka 22: Rozdíly s četností u porovnání statického skeneru s jednotlivými nájezdy

FARO vs 1. nájezd		FARO vs 2. nájezd		FARO vs 3. nájezd	
Absolutní hodnota		Absolutní hodnota		Absolutní hodnota	
rozdíl [mm]	četnost [%]	rozdíl [mm]	rozdíl [%]	rozdíl [mm]	četnost [%]
50	100				
40	99	40	100	40	100
30	97	30	99	30	99
20	89	20	97	20	94
10	59	10	81	10	80
<b>26,1</b>	<b>95</b>	<b>17,2</b>	<b>95</b>	<b>20,6</b>	<b>95</b>
Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]	Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]	Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]
10,1	8,4	6,6	5,8	6,4	6,7
Osa X		Osa X		Osa X	
rozdíl [mm]	četnost [%]	rozdíl [mm]	četnost [%]	rozdíl [mm]	četnost [%]
-35 až 32	100				
-25 až 25	99	-23 až 22	100	-28 až 18	100
-20 až 20	95	-20 až 20	99	-20 až 18	97
-10 až 10	70	-10 až 10	87	-10 až 10	85
-5 až 5	45	-5 až 5	62	-5-5	67
<b>-22,1 až 14,1</b>	<b>95</b>	<b>-11 až 15</b>	<b>95</b>	<b>-20,7 až 10</b>	<b>95</b>
Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]	Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]	Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]
-3,5	9,1	1,5	6,4	-2,3	6,9
Osa Y		Osa Y		Osa Y	
rozdíl [mm]	četnost [%]	rozdíl [mm]	četnost [%]	rozdíl [mm]	četnost [%]
-40 až 16	100				
-30 až 16	99	-17 až 7	100	-12 až 13	100
-20 až 16	96	-10 až 7	98	-10 až 10	99
-10 až 10	92	-5 až 5	88	-5 až 5	90
<b>-26,1 až 4,9</b>	<b>95</b>	<b>-9,6 až 2,5</b>	<b>95</b>	<b>-5,9 až 8,5</b>	<b>95</b>
Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]	Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]	Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]
-2,4	6,6	-1,4	3,1	-0,1	2,9
Osa Z		Osa Z		Osa Z	
rozdíl [mm]	četnost [%]	rozdíl [mm]	četnost [%]	rozdíl [mm]	četnost [%]
-9 až 16	100	-3,5 až 7	100		
-9 až 10	98	-3,5 až 3,5	96	3,5 až 3,5	100
<b>-3 až 8,2</b>	<b>95</b>	<b>-1,9 až 5,2</b>	<b>95</b>	<b>-2,1 až 2,1</b>	<b>95</b>
Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]	Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]	Střední hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [mm]
0,4	2,4	0,2	1,4	0,0	0,8

### 7.1.2 Porovnání vektorizovaných výkresů

Bylo vytvořeno 5 vektorizovaných výkresů, vznikly z podrobných bodů měřených totální stanicí, mračna bodů ze statického skenování a 3x z mračen bodů z mobilního mapovacího systému. Porovnání bylo provedeno v S-JTSK. Porovnávány byly vybrané délky (Obrázek 35) a kontrolní body (Obrázek 36). Fasáda byla vykreslena v rovině, souřadnice Y byla rovna 0, a tím pádem bylo vyhodnocení provedeno pro osu X a Z.



Obrázek 35: Porovnávané délky vektorizovaných výkresů

Délky byly vloženy do tabulky (Tabulka 23), pro toto porovnání byl jako referenční použit výkres z totální stanice. Rozdíly měřených délek byly zpracovány do tabulky (Tabulka 24)

*Tabulka 23: Jednotlivé délky mezi body z vektorizace*

Délka	TS [m]	FARO [m]	1. nájezd [m]	2. nájezd [m]	3. nájezd [m]
1	10,773	10,778	10,782	10,778	10,782
2	2,396	2,406	2,393	2,409	2,380
3	10,795	10,804	10,810	10,806	10,809
4	2,389	2,394	2,402	2,396	2,390
5	11,054	11,062	11,062	11,061	11,061
6	11,039	11,048	11,055	11,052	11,050
7	7,613	7,621	7,625	7,629	7,622
8	9,196	9,188	9,179	9,181	9,184
9	7,633	7,637	7,628	7,632	7,644
10	9,189	9,175	9,189	9,178	9,179
11	11,947	11,943	11,941	11,936	11,943
12	11,938	11,932	11,934	11,938	11,938
13	14,081	14,095	14,091	14,099	14,094
14	10,945	10,941	10,958	10,951	10,954
15	14,142	14,133	14,142	14,155	14,144
16	10,130	10,140	10,117	10,118	10,131
17	17,615	17,613	17,622	17,626	17,628
18	17,599	17,609	17,599	17,609	17,603
19	7,613	7,621	7,625	7,629	7,622
20	12,895	12,900	12,896	12,896	12,899
21	7,633	7,637	7,628	7,632	7,644
22	12,895	12,900	12,896	12,896	12,899
23	14,984	14,993	14,986	14,985	14,993
24	14,975	14,981	14,978	14,984	14,984

Tabulka 24: Rozdíly jednotlivých délek

Délka	FARO [mm]	1. NÁJEZD [mm]	2. NÁJEZD [mm]	3. NÁJEZD [mm]
1	-5	-9	-5	-9
2	-10	3	-13	16
3	-9	-15	-11	-14
4	-5	-13	-7	-1
5	-8	-8	-7	-7
6	-9	-16	-13	-11
7	-8	-12	-16	-9
8	8	17	15	12
9	-4	5	1	-11
10	14	0	11	10
11	4	6	11	4
12	6	4	0	0
13	-14	-10	-18	-13
14	4	-13	-6	-9
15	9	0	-13	-2
16	-10	13	12	-1
17	2	-7	-11	-13
18	-10	0	-10	-4
19	-8	-12	-16	-9
20	-5	-1	-1	-4
21	-4	5	1	-11
22	-5	-1	-1	-4
23	-9	-2	-1	-9
24	-6	-3	-9	-9

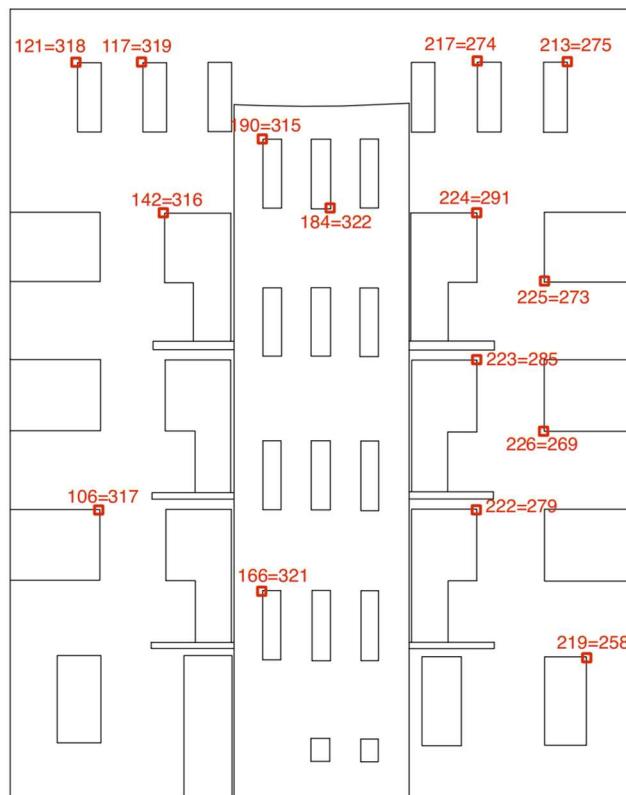
Průměrné směrodatné odchylky rozdílů délek byly zpracovány do tabulky (Tabulka 25). Průměrná směrodatná odchylka byla vypočtena jako kvadratický průměr [13]:

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n}}$$

Tabulka 25: Průměrné směrodatné odchylky rozdílů délek

Porovnávané délky s totální stanicí	Průměrná směrodatná odchylka [mm]
FARO	10,04
1. nájezd	11,50
2. nájezd	13,02
3. nájezd	11,55

Dále byly porovnány kontrolní body (Obrázek 36) na fasádě, které již byly porovnávány určením z transformace souřadnic a protínáním z úhlů při zpracování měření z totální stanice. Souřadnice kontrolních bodů byly zpracovány do tabulky (Tabulka 26), opět jako referenční byl použit výkres z totální stanice a rozdíly souřadnic byly zpracovány do tabulky (Tabulka 27).



Obrázek 36: Kontrolní body

Tabulka 26: Souřadnice kontrolních bodů z jednotlivých vektorizací

Bod	TS		FARO		1. nájezd		2. nájezd		3. nájezd	
	X [m]	Z [m]								
121 = 318	1048356,798	287,949	1048356,802	287,955	1048356,803	287,955	1048356,795	287,954	1048356,795	287,957
117 = 319	1048355,448	287,949	1048355,458	287,955	1048355,457	287,956	1048355,457	287,954	1048355,455	287,952
142 = 316	1048354,999	284,833	1048355,007	284,841	1048355,016	284,840	1048355,007	284,841	1048355,004	284,838
166 = 321	1048352,968	277,025	1048352,970	277,026	1048352,976	277,031	1048352,974	277,031	1048352,970	277,009
106 = 317	1048356,337	278,703	1048356,333	278,704	1048356,332	278,709	1048356,330	278,710	1048356,332	278,702
184 = 322	1048351,561	284,925	1048351,558	284,921	1048351,556	284,918	1048351,568	284,919	1048351,567	284,921
190 = 315	1048352,962	286,367	1048352,966	286,368	1048352,970	286,373	1048352,964	286,366	1048352,964	286,372
217 = 274	1048348,526	287,959	1048348,526	287,955	1048348,531	287,962	1048348,530	287,964	1048348,528	287,957
213 = 275	1048346,668	287,960	1048346,663	287,959	1048346,686	287,965	1048346,677	287,965	1048346,664	287,957
224 = 291	1048348,536	284,841	1048348,536	284,842	1048348,546	284,843	1048348,529	284,858	1048348,532	284,841
225 = 273	1048347,143	283,409	1048347,148	283,405	1048347,147	283,418	1048347,148	283,406	1048347,147	283,403
223 = 285	1048348,538	281,796	1048348,537	281,801	1048348,530	281,801	1048348,520	281,807	1048348,532	281,803
226 = 269	1048347,148	280,320	1048347,155	280,313	1048347,150	280,316	1048347,152	280,315	1048347,154	280,313
222 = 279	1048348,541	278,711	1048348,536	278,718	1048348,532	278,716	1048348,533	278,719	1048348,534	278,717
219 = 258	1048346,274	275,655	1048346,280	275,661	1048346,268	275,660	1048346,269	275,663	1048346,266	275,657

Tabulka 27: Rozdíly kontrolních bodů z vektorizace

Bod	FARO		1. nájezd		2. nájezd		3. nájezd	
	X [mm]	Z [mm]	X [mm]	Z [mm]	X [mm]	Z [mm]	X [mm]	Z [mm]
121 = 318	-4	-6	-5	-6	3	-5	3	-8
117 = 319	-10	-6	-9	-7	-9	-5	-7	-3
142 = 316	-8	-8	-17	-7	-8	-8	-5	-5
166 = 321	-2	-1	-8	-6	-6	-6	-2	16
106 = 317	4	-1	5	-6	7	-7	5	1
184 = 322	3	4	5	7	-7	6	-6	4
190 = 315	-4	-1	-8	-6	-2	1	-2	-5
217 = 274	0	4	-5	-3	-4	-5	-2	2
213 = 275	5	1	-18	-5	-9	-5	4	3
224 = 291	0	-1	-10	-2	7	-17	4	0
225 = 273	-5	4	-4	-9	-5	3	-4	6
223 = 285	1	-5	8	-5	18	-11	6	-7
226 = 269	-7	7	-2	4	-4	5	-6	7
222 = 279	5	-7	9	-5	8	-8	7	-6
219 = 258	-6	-6	6	-5	5	-8	8	-2

Průměrné směrodatné odchylinky rozdílů souřadnic v osách X a Z byly zpracovány do tabulky (Tabulka 28).

*Tabulka 28: Průměrné směrodatné odchylky rozdílů souřadnic*

Porovnávané souřadnice s totální stanicí	Osa	Průměrná směrodatná odchylka [mm]
FARO	X	5,07
	Z	4,82
1. nájezd	X	9,03
	Z	5,78
2. nájezd	X	7,71
	Z	7,56
3. nájezd	X	5,09
	Z	6,23

**Shrnutí:**

Průměrné směrodatné odchylky rozdílů délek se pohybují mezi 10,04–13,02 mm. Pro souřadnice se průměrné směrodatné odchylky pohybují mezi 4,82–9,03 mm.

### 7.1.3 Opakovatelnost vektorizace

Pro zjištění přesnosti vektorizace vytvořené jedním kresličem byly vektorizovány pouze kontrolní body pro 2. a 3. nájezd. Výkresy vektorizace jsou přiloženy v elektronické příloze (Adresář 7). Porovnání bylo provedeno v S-JTSK. Vyhodnocení bylo provedeno v rovině fasády, která ležela v rovině X, Z. Celkem byla tato vektorizace provedena pro každý nájezd 3x nezávisle (každé ráno a každý večer po dobu 3 dnů), a proto ve výpočtu rozdílu byly vypočteny rozdíly 1. – 2. vektorizace, 1. – 3. vektorizace a 2. – 3. vektorizace. Souřadnice pro 2. nájezd byly zpracovány do tabulky (Tabulka 29) a pro 3. nájezd do tabulky (Tabulka 31). Rozdíly souřadnic pro 2. nájezd byly zpracovány do tabulky (Tabulka 30) a pro 3. nájezd (Tabulka 32). Průměrné směrodatné odchylky pro rozdíly v osách X a Z jsou uvedeny vždy na posledním řádku tabulky s rozdíly.

Tabulka 29: Souřadnice kontrolních bodů – 2. nájezd

Bod	1. vektorizace		2. vektorizace		3. vektorizace	
	X [m]	Z [m]	X [m]	Z [m]	X [m]	Z [m]
121 = 318	1048356,793	287,958	1048356,797	287,961	1048356,791	287,961
117 = 319	1048355,461	287,959	1048355,456	287,957	1048355,451	287,961
142 = 316	1048355,012	284,848	1048355,013	284,843	1048355,017	284,842
166 = 321	1048352,969	277,039	1048352,978	277,039	1048352,973	277,033
106 = 317	1048356,337	278,715	1048356,332	278,716	1048356,327	278,707
184 = 322	1048351,574	284,921	1048351,574	284,926	1048351,574	284,928
190 = 315	1048352,963	286,371	1048352,962	286,373	1048352,957	286,378
217 = 274	1048348,536	287,962	1048348,527	287,967	1048348,535	287,960
213 = 275	1048346,671	287,968	1048346,675	287,963	1048346,684	287,958
224 = 291	1048348,528	284,861	1048348,534	284,854	1048348,521	284,862
225 = 273	1048347,144	283,411	1048347,150	283,402	1048347,155	283,397
223 = 285	1048348,518	281,812	1048348,530	281,804	1048348,521	281,814
226 = 269	1048347,146	280,317	1048347,154	280,312	1048347,159	280,308
222 = 279	1048348,538	278,723	1048348,534	278,722	1048348,528	278,723
219 = 258	1048346,273	275,660	1048346,268	275,656	1048346,263	275,665

Tabulka 30: Rozdíly souřadnic – 2. nájezd

Bod	Rozdíl 1. - 2. vektorizace		Rozdíl 1. - 3. vektorizace		Rozdíl 2. - 3. vektorizace	
	X [mm]	Z [mm]	X [mm]	Z [mm]	X [mm]	Z [mm]
121 = 318	-4	-3	2	-3	6	0
117 = 319	5	2	10	-2	5	-4
142 = 316	-1	5	-5	6	-4	1
166 = 321	-9	0	-4	6	5	6
106 = 317	5	-1	10	8	5	9
184 = 322	0	-5	0	-7	0	-2
190 = 315	1	-2	6	-7	5	-5
217 = 274	9	-5	1	2	-8	7
213 = 275	-4	5	-13	10	-9	5
224 = 291	-6	7	7	-1	13	-8
225 = 273	-6	9	-11	14	-5	5
223 = 285	-12	8	-3	-2	9	-10
226 = 269	-8	5	-13	9	-5	4
222 = 279	4	1	10	0	6	-1
219 = 258	5	4	10	-5	5	-9
Průměrná směrodatná odchylka rozdílu [mm]	6,15	4,86	8,16	6,62	6,62	5,91

Tabulka 31: Souřadnice kontrolních bodů – 3. nájezd

Bod	1. vektorizace		2. vektorizace		3. vektorizace	
	X [m]	Z [m]	X [m]	Z [m]	X [m]	Z [m]
121 = 318	1048356,789	287,955	1048356,794	287,963	1048356,799	287,960
117 = 319	1048355,462	287,951	1048355,453	287,957	1048355,450	287,948
142 = 316	1048355,011	284,840	1048355,003	284,846	1048355,000	284,835
166 = 321	1048352,969	277,020	1048352,974	277,018	1048352,963	277,013
106 = 317	1048356,333	278,693	1048356,340	278,705	1048356,328	278,697
184 = 322	1048351,566	284,927	1048351,574	284,920	1048351,573	284,917
190 = 315	1048352,965	286,379	1048352,956	286,375	1048352,961	286,368
217 = 274	1048348,536	287,956	1048348,527	287,960	1048348,531	287,958
213 = 275	1048346,673	287,966	1048346,671	287,956	1048346,666	287,963
224 = 291	1048348,534	284,853	1048348,541	284,840	1048348,527	284,847
225 = 273	1048347,145	283,410	1048347,153	283,406	1048347,140	283,401
223 = 285	1048348,521	281,802	1048348,534	281,811	1048348,529	281,797
226 = 269	1048347,157	280,306	1048347,160	280,320	1048347,147	280,317
222 = 279	1048348,532	278,724	1048348,539	278,711	1048348,527	278,718
219 = 258	1048346,274	275,658	1048346,262	275,654	1048346,264	275,665

Tabulka 32: Rozdíly souřadnic – 3. nájezd

Bod	Rozdíl 1. - 2. vektorizace		Rozdíl 1. - 3. vektorizace		Rozdíl 2. - 3. vektorizace	
	X [mm]	Z [mm]	X [mm]	X [mm]	Z [mm]	X [mm]
121 = 318	-5	-8	-10	-5	-5	3
117 = 319	9	-6	12	3	3	9
142 = 316	8	-6	11	5	3	11
166 = 321	-5	2	6	7	11	5
106 = 317	-7	-12	5	-4	12	8
184 = 322	-8	7	-7	10	1	3
190 = 315	9	4	4	11	-5	7
217 = 274	9	-4	5	-2	-4	2
213 = 275	2	10	7	3	5	-7
224 = 291	-7	13	7	6	14	-7
225 = 273	-8	4	5	9	13	5
223 = 285	-13	-9	-8	5	5	14
226 = 269	-3	-14	10	-11	13	3
222 = 279	-7	13	5	6	12	-7
219 = 258	12	4	10	-7	-2	-11
Průměrná směrodatná odchylka rozdílu [mm]	7,99	8,61	7,87	6,86	8,49	7,57

## **Shrnutí:**

Při vyhodnocování opakovatelnosti vektorizace byly zjištěny průměrné směrodatné odchylky v rozdílu souřadnic pro souřadnici X v rozmezí od 6,15 mm do 8,49 mm a pro souřadnici Z v rozmezí od 4,86 mm do 8,61 mm.

## **7.2 Celkové shrnutí výsledků**

Po provedení porovnání mračen bodů mezi jednotlivými mračny bodů z mobilního mapovacího systému v programu CloudCompare lze vyvodit, že odchylky v absolutní hodnotě nad 14,2 mm nepřesahují více jak 5 % z celkového počtu bodů. Po provedení porovnání mračen bodů ze statického skeneru s jednotlivými mračny bodů z mobilního mapovacího systému bylo zjištěno, že odchylky v absolutní hodnotě nad 26,1 mm nepřesahují 5 %.

U porovnání vektorizovaných výkresů vůči výkresu vytvořeného z dat z totální stanice byl nejpřesnější výkres na podkladě mračna bodů ze statického skeneru. Průměrná směrodatná odchylka rozdílu délek byla u statického skeneru 10,04 mm, výkresy vytvořené z mobilního skenování měly horší průměrnou směrodatnou odchylku délek. Největší průměrná směrodatná odchylka rozdílu délek byla u 2. nájezdu 13,02 mm. U porovnání souřadnic bodů byla také nejmenší průměrná směrodatná odchylka rozdílu souřadnic X, Z u statického skeneru 4,94 mm, a naopak největší průměrná směrodatná odchylka byla u 2. nájezdu 7,64 mm.

Na základě provedení opakovatelnosti vektorizace 2. a 3. nájezdu v S-JTSK byla zjištěna průměrná směrodatná odchylka rozdílu souřadnic (X, Z) 7,14 mm.

Po vlastní zkušenosti vektorizace mračen bodů z jednotlivých technologií měření bych doporučila vektorizaci ze statického skeneru. Protože data ze statického skeneru jsou více detailní a s menším množstvím šumu. Data z mobilního mapovacího systému měla větší množství šumu a byly méně rozpoznatelné hrany při vektorizaci, nicméně dle dosažených přesností je stále mobilní mapovací systém použitelný pro tyto práce. Rychlosť sběru mobilním mapovacím systémem je řádově vyšší než statickým skenerem.

## 8. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo porovnání přesnosti vyhodnocení fasády mobilním skenovacím systémem RIEGL VMX-2HA, statickým skenovacím systémem FARO FOCUS 3D X330 a totální stanicí Leica TS16.

Fasáda byla zaměřena 1x totální stanicí a statickým skenerem a 3x mobilním mapovacím systémem (1., 2. a 3. nájezd). Při měření totální stanicí a statickým skenerem byla fasáda vzdálena cca 30 m a při měření mobilním mapovacím systémem byla fasáda vzdálena cca 15 m.

Při porovnání mračen bodů z mobilního mapovacího systému mezi sebou nepřesály odchylky 14,2 mm ve více jak 5 % z celkového mračna bodů. Nejvíce bylo mračno zdeformováno v ose X, která je kolmá na rovinu fasády. Osa X neovlivňuje vyhodnocení fasády. Při porovnání mračen bodů ze statického skeneru a mobilního mapovacího systému nepřesáhly odchylky 26,1 mm ve více jak 5 % z celkového mračna bodů.

Z mračen bodů a podrobných bodů bylo provedeno 5 vektorizací výkresů, kde zaměření totální stanicí bylo považováno za referenční. Pro každou vektorizaci byly vytvořeny délky a kontrolní body, které byly porovnávány. Tento experiment ukázal, že se nejvíce shoduje vektorizace mezi totální stanicí a statickým skenerem. Průměrná směrodatná odchylka rozdílů souřadnic ze statického skeneru byla 4,94 mm a u rozdílů délek u statického skeneru byla 10,04 mm. U mobilního mapovacího systému byla shoda nepatrнě nižší, průměrná směrodatná odchylka rozdílu souřadnic byla 6,90 mm a rozdílu délek byla 12,02 mm. Při vektorizaci je přesnost podrobných bodů z totální stanice a mračna bodů ze statického skeneru srovnatelná s mračnem bodů z mobilního mapovacího systému. Z tohoto pohledu je možné mobilní mapovací systém použít pro skenování fasád. Při vykreslování fasády se hloubková nepřesnost neprojeví, protože je fasáda řešena ve 2D z pohledu zepředu.

Dále byl proveden experiment opakovatelnosti vektorizace na 2. a 3. nájezdu pro otestování vnitřní přesnosti vektorové kresby zpracovávané jedním kreslicem. V tomto experimentu byla zjištěna průměrná směrodatná odchylka rozdílu souřadnic 7,14 mm.

Na základě získaných výsledků z bakalářské práce je možné prohlásit, že mobilní skenovací systém RIEGL VMX-2HA je možné za podobných podmínek jako v této bakalářské práci použít pro vyhodnocování fasád až do požadované přesnosti 10 mm (směrodatná souřadnicová odchylka).

## **Seznam použitých zkratek**

RTK – Real Time Kinematic

GNSS – Globální navigační satelitní systémy

S-JTSK – Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

Bpv – Balt po vyrovnání

ETRS89/UTM33 – Souřadnicový systém

IMU – Inerciální měřicí jednotka

INS – Inerciální navigační systém

GPS – Global Positioning System (globální polohový systém)

GNSS – Global Navigation Satellite System (Globální družicový polohový systém)

LiDAR – Light Detection And Ranging

## **Seznam zdrojů a použité literatury**

- [1] *Mapy.cz* [online]. Seznam.cz [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>
- [2] *Technický popis Trimble GeoXR (PN 022543-536-CZE)* [PDF dokument]. [cit. 2022-05-02].
- [3] *Trimble Geospatial: Datasheet – Trimble R2* [online]. [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-r2>
- [3] *GEFOS a.s.* [online]. [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://www.gefos-leica.cz/>
- [4] *RIEGL LASER MEASUREMENT SYSTEMS (VMX-2HA, 2018-11-27)* [PDF dokument]. [cit. 2022-04-27].
- [5] *RIEGL LASER MEASUREMENT SYSTEMS* [online]. [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <http://www.riegl.com/>
- [6] *FARO Laser Scanner Focus3D X 330 (EU-CZ-4REF201-528)* [PDF dokument]. [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: [http://www.merici-pristroje.cz/files/ckeditor//5\\_Produkty/510\\_FARO/7x330/FARO\\_Laser\\_Scanner\\_Focus3D\\_X\\_330.pdf](http://www.merici-pristroje.cz/files/ckeditor//5_Produkty/510_FARO/7x330/FARO_Laser_Scanner_Focus3D_X_330.pdf)
- [7] ŠTRONER, M. a kol.: *3D skenovací systémy*. Česká technika – nakladatelství ČVUT, Praha 2013. ISBN 978-80-01-05371-3.
- [8] *Katedra speciální geodézie ČVUT* [online]. [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://k154.fsv.cvut.cz/>
- [9] *Emlid* [online]. [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://emlid.com/introduction-to-rtk-gps/>
- [10] *GROMA* [online]. [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://www.groma.cz/>
- [11] *GIsoft* [online]. [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <http://www.gisoft.cz/>
- [12] GREŠLA, Ondřej. *Porovnání přesnosti mobilního mapovacího systému s terestrickým měřením a porízení tohoto zařízení*. Praha, 2022. Bakalářská práce. ČVUT Fakulta stavební. Vedoucí práce prof. Ing. Martin Štroner, Ph.D.
- [13] ŠTRONER, M. – HAMPACHER, M.: *Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii*. 2. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2015. ISBN 978-80-01-05843-5.

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1: Technické parametry Trimble Geo XR [2].....	10
Tabulka 2: Technické parametry Trimble R2 [3].....	11
Tabulka 3: Technické parametry Leica TS16 [3] .....	12
Tabulka 4: Vlastnosti mračna v závislosti na rychlosti a vzdálenosti [4] .....	13
Tabulka 5: Možnosti kamer RIEGL VMX-2HA [4].....	15
Tabulka 6: Technické parametry RIEGL VMX-2HA [4].....	16
Tabulka 7: Vlastnosti GNSS/IMU jednotky [4] .....	16
Tabulka 8: Technické parametry FARO Focus3D X330 [6].....	17
Tabulka 9: Souřadnice a rozdíly z měření GNSS ze dne 27.10.2021 .....	29
Tabulka 10: Průměrné souřadnice identických bodů.....	29
Tabulka 11: Souřadnice a rozdíly z měření GNSS ze dne 27.02.2022.....	29
Tabulka 12: Rozdíly souřadnic z měření 27.11.2021 a 27.02.2022 .....	30
Tabulka 13: Souřadnice kontrolních bodů určených pomocí transformace souřadnic .....	31
Tabulka 14: Rozdíly souřadnic kontrolních bodů určených pomocí transformace souřadnic.....	31
Tabulka 15: Výsledné souřadnice kontrolních bodů určených protínáním z úhlů ....	34
Tabulka 16: Rozdíly souřadnic kontrolních bodů určených protínáním z úhlů .....	34
Tabulka 17: Dosažená přesnost registrace naskenovaných dat.....	36
Tabulka 18: Souřadnicové odchylky georeferencování na identických bodech .....	37
Tabulka 19: Porovnávaná mračna bodů z mobilního mapovacího systému .....	39
Tabulka 20: Rozdíly s četností u porovnání jednotlivých nájezdů.....	43
Tabulka 21: Jednotlivá porovnání mračen bodů ze statického skenování s mobilním mapovacím systémem .....	44
Tabulka 22: Rozdíly s četností u porovnání statického skeneru s jednotlivými nájezdy .....	50
Tabulka 23: Jednotlivé délky mezi body z vektorizace .....	52
Tabulka 24: Rozdíly jednotlivých délek .....	53
Tabulka 25: Průměrné směrodatné odchylky rozdílů délek .....	53
Tabulka 26: Souřadnice kontrolních bodů z jednotlivých vektorizací .....	55
Tabulka 27: Rozdíly kontrolních bodů z vektorizace .....	55
Tabulka 28: Průměrné směrodatné odchylky rozdílů souřadnic .....	56
Tabulka 29: Souřadnice kontrolních bodů – 2. nájezd.....	57

Tabulka 30: Rozdíly souřadnic – 2. nájezd.....	57
Tabulka 31: Souřadnice kontrolních bodů – 3. nájezd.....	58
Tabulka 32: Rozdíly souřadnic – 3. nájezd.....	58

## **Seznam obrázků**

Obrázek 1: Měřená fasáda domu.....	9
Obrázek 2: Lokalita měření [1] .....	9
Obrázek 3: Přijímač Trimble Geo XR [2] .....	10
Obrázek 4: Anténa Trimble R2 [3].....	11
Obrázek 5: Leica TS16 [3] .....	11
Obrázek 6: Komponenty RIEGL VMX-2HA [4].....	14
Obrázek 7: Blokové schéma systému RIEGL VMX-2HA [4].....	15
Obrázek 8: Rozměry jednotky RIEGL VMX-2HA [4].....	16
Obrázek 9: Schématické znázornění prostorové polární metody .....	20
Obrázek 10: Náčrt rozmístění identických bodů [1] .....	21
Obrázek 11: Stanoviska totální stanice [1] .....	22
Obrázek 12: Kontrolní body (první číslo je z levého stanoviska, druhé číslo je z druhého stanoviska).....	23
Obrázek 13: Schéma jednotlivých tras [1].....	24
Obrázek 14: Druhá úroveň adresáře.....	24
Obrázek 15: Třetí úroveň adresářů .....	25
Obrázek 16: Šachovnicový tvar identického bodu.....	26
Obrázek 17: Stanoviska statického skeneru (červeně), poloha kulových terčů (zeleně) a identických bodů (modře) [1].....	26
Obrázek 18: Schématické znázornění protínání z úhlů .....	32
Obrázek 19: Trigonometrické určení výšek .....	33
Obrázek 20: Porovnání 1. nájezd vs 2. nájezd – absolutní hodnota .....	39
Obrázek 21: Porovnání 1. nájezd vs 3. nájezd – absolutní hodnota .....	40
Obrázek 22: Porovnání 2. nájezd vs 3. nájezd – absolutní hodnota .....	40
Obrázek 23: Porovnání 1. nájezd vs 2. nájezd – osa X .....	41
Obrázek 24: Porovnání 1. nájezd vs 3. nájezd – osa X .....	41
Obrázek 25: Porovnání 2. nájezd vs 3. nájezd – osa X .....	42
Obrázek 26: Porovnání FARO vs 1. nájezd – absolutní hodnota .....	45
Obrázek 27: Porovnání FARO vs 2. nájezd – absolutní hodnota .....	45
Obrázek 28: Porovnání FARO vs 3. nájezd – absolutní hodnota .....	46
Obrázek 29: Porovnání FARO vs 1. nájezd – osa X .....	46
Obrázek 30: Porovnání FARO vs 2. nájezd – osa X .....	47
Obrázek 31: Porovnání FARO vs 3. nájezd – osa X .....	47

Obrázek 32: Porovnání FARO vs 1. nájezd – osa Y .....	48
Obrázek 33: Porovnání FARO vs 2. nájezd – osa Y .....	48
Obrázek 34: Porovnání FARO vs 3. nájezd – osa Y .....	49
Obrázek 35: Porovnávané délky vektorizovaných výkresů.....	51
Obrázek 36: Kontrolní body .....	54

## **Seznam příloh**

### **Seznam tištěných příloh**

Příloha 1: Náčrt podrobných bodů

Příloha 2: Vektorizovaný výkres TS16

### **Seznam elektronických příloh**

Adresář 1: Čti mě

Adresář 2: Bakalářská práce

Adresář 3: Protokoly z GNSS

Adresář 4: Zápisníky měření

Adresář 5: Protokoly o výpočtech

Adresář 6: Porovnání mračen bodů

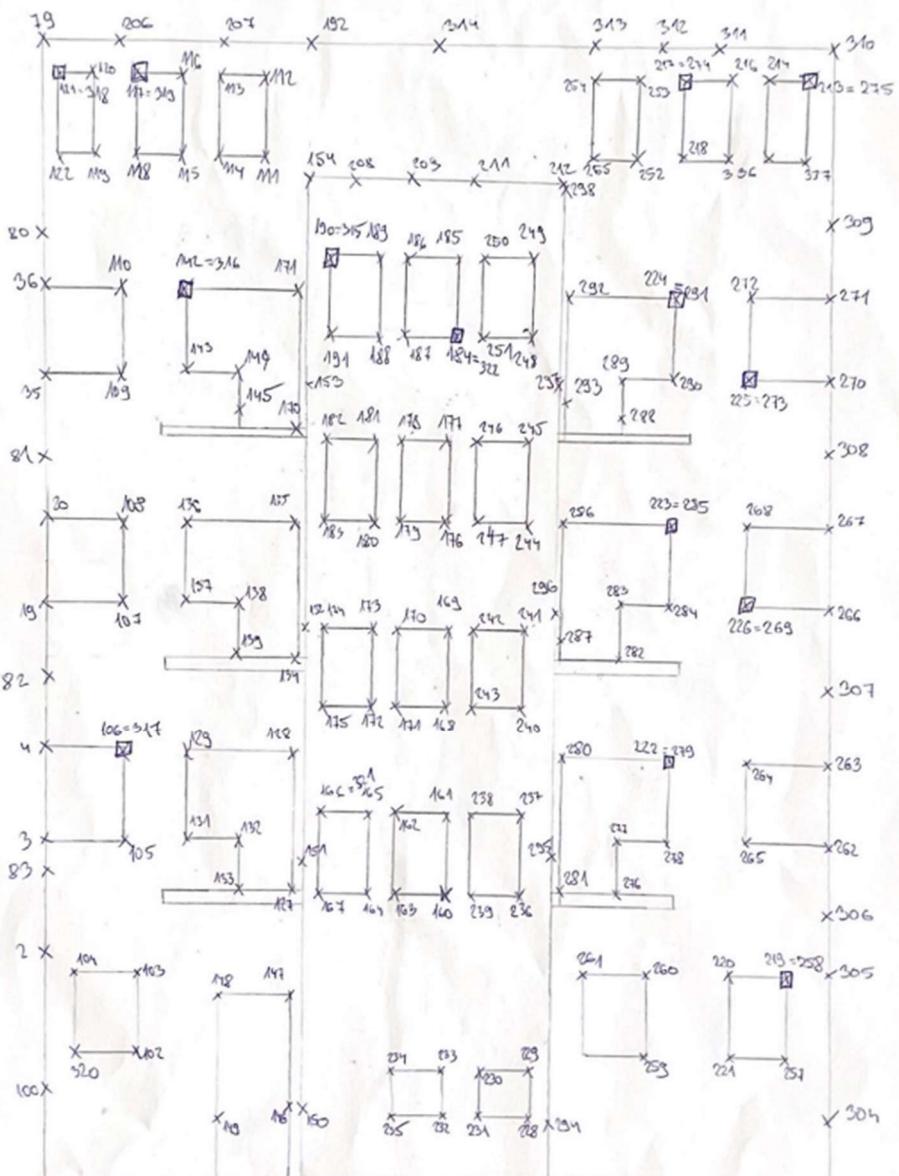
Adresář 7: Vektorizované výkresy

Adresář 8: Grafy odchylek trajektorie

Adresář 9: Tabulky excel

## Příloha 1: Náčrt podrobných bodů

27/02/21



Doklánky ⇒ 135 - 205 ; 324 - 335