



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

# MĚŘICKÁ DOKUMENTACE PŘÍZEMÍ JIHO-VÝCHODNÍ ČÁSTI PALÁCE S BŘITOVOU VĚŽÍ HRADU VEVEŘÍ

METRIC SURVEY DOCUMENTATION OF THE GROUND FLOOR OF THE SOUTH-EASTERN PART OF THE  
VEVEŘÍ CASTLE MAIN PALACE

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ondřej Pospíšil

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.

BRNO 2024

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav geodézie  
Student: **Bc. Ondřej Pospíšil**  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.**  
Akademický rok: 2023/24  
Studijní program: N0532A260001 Geodézie a kartografie

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## **Měřická dokumentace přízemí jiho-východní části Paláce s břitovou věží hradu Veveří**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Seznamte se s předpisy vztahujícími se k zaměřování památkových objektů a ke kreslení stavebních objektů. Zaměřte přidělenou část památkového objektu na hradě Veveří metodou laserového skenování a zhotovte jeho výkresovou dokumentaci.

Doložte výkresovou dokumentaci a meziprodukty vzniklé při řešení zadání v míře a formě, která umožní posoudit geometrickou a polohovou správnost a kvalitu výsledků práce.

### **Cíle a výstupy diplomové práce:**

Cílem práce je vytvoření dokumentace části paláce s břitovou věží v areálu hradu Veveří. Dokumentace bude mít podobu stavebních výkresů objektu.

### **Seznam doporučené literatury a podklady:**

1. Veselý J.: Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči. Národní památkový ústav, Praha 2014
2. ČSN 01 3420 Výkresy pozemních staveb - Kreslení výkresů stavební části

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 31. 5. 2023

L. S.

---

doc. Ing. Jiří Bureš, Ph.D.  
vedoucí ústavu

---

doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.  
vedoucí práce

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.  
děkan

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce je zaměřena na měřickou dokumentaci přízemí jiho-východní části Paláce s břitovou věží na hradu Veveří. Práce byla realizována v akademickém roce 2023/2024 na Ústavu geodézie, Fakulty stavební, Vysokého učení technického.

Cílem práce je vytvoření podrobné dokumentace dané části paláce metodou laserového skenování, což umožňuje získání přesných dat o geometrii a struktuře objektu. Výsledná dokumentace zahrnuje stavební výkresy, které reflektují geometrickou přesnost objektu a jsou v souladu s předpisy pro zaměřování památkových objektů a kreslení stavebních objektů.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Laserové skenování, mračno bodů, pomocná měřická síť, testování přesnosti, hrad Veveří, výkres

## **ABSTRACT**

The master's thesis is focused on the surveying documentation of the ground floor of the southeastern part of the Palace with the sword tower at Veveří Castle. The work was carried out during the academic year 2023/2024 at the Institute of Geodesy, Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology.

The aim of the thesis is to create detailed documentation of the part of the palace using laser scanning, which, allows for the acquisition of precise data on the geometry and structure of the object. The resulting documentation includes architectural drawings that reflect the geometric accuracy of the object and comply with the regulations for the surveying of heritage objects and the drawing of architectural object.

## **KEYWORDS**

Laser scanning, point cloud, auxiliary surveying network, accuracy testing, Veveří Castle, drawing

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

POSPÍŠIL, Ondřej. *Měřická dokumentace přízemí jiho-východní části Paláce s břitovou věží hradu Veveří*. Brno, 2024. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Měřická dokumentace přízemí jiho-  
východní části Paláce s břitovou věží hradu Veveří* zpracoval samostatně a že jsem  
vedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10. 4. 2024

---

Bc. Ondřej Pospíšil

autor práce

## PODĚKOVÁNÍ

V úvodu své diplomové práce bych rád poděkoval svému vedoucímu doc. Ing. Radovanu Machotkovi, Ph.D., za jeho vedení mé práce. Rovněž bych chtěl poděkovat svému otci, který mi byl oporou a motivátorem po celou dobu mého studia. Dále bych chtěl poděkovat mému kolegovi Vojtovi Míčovi za asistenci při měření hradu Veverí. A nesmím opomenout firmu Gefos, která mi vyšla vstřícně v poskytnutí přístrojů a potřebného softwaru. Bez jejich technické podpory by realizace měření byla mnohem složitější.

Všem jmenovaným děkuji za jejich čas, trpělivost a odborné vedení, které mi byly cenným přínosem na cestě k úspěšnému dokončení mé diplomové práce.

V Brně dne 10. 4. 2024

---

Bc. Ondřej Pospíšil

autor práce

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>LOKALITA .....</b>	<b>11</b>
2.1	Historie hradu Veveří .....	12
2.2	Zájmová lokalita .....	13
<b>3</b>	<b>TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>14</b>
3.1.1	Účelová geodetická síť .....	14
3.1.2	Charakteristika polohové a výškové sítě .....	14
3.1.3	Charakteristika volné sítě.....	15
3.1.4	Charakteristika vázané sítě .....	15
3.2	Použité metody měření .....	17
3.2.1	Prostorová polární metoda .....	17
3.2.2	Trigonometrická metoda .....	18
3.2.3	Technologie GNSS a RTK měření .....	18
3.2.4	Laserové skenování.....	20
3.3	Odstranění vlivu systematických chyb při měření .....	22
3.3.1	Vliv vnějšího prostředí.....	22
3.3.2	Vliv centrace .....	22
3.3.3	Vliv přístrojových chyb .....	22
3.4	Měřická dokumentace historických staveb .....	23
3.4.1	Směrnice, právní předpisy a metodika.....	23
3.4.2	Stupně podrobnosti dokumentace .....	24
3.4.3	Vytváření nové dokumentace .....	25
3.4.4	Zakreslení pravoúhlých a nepravidelných tvarů .....	25
<b>4</b>	<b>TERÉNNÍ PRÁCE .....</b>	<b>26</b>
4.1	Rekognoskace.....	26
4.2	Přípravné práce.....	27
4.3	Použité přístrojové vybavení .....	28
4.3.1	Totální stanice Trimble M3 .....	29
4.3.2	GNSS přijímač Trimble R8s.....	29
4.3.3	Laserový skener Leica RTC 360 .....	30
4.3.4	Ostatní pomůcky .....	31
4.4	Měřické práce .....	32
4.4.1	Ověření součtové konstanty hranolů.....	32
4.4.2	Postup měření v pomocné měřické síti .....	34



4.4.3	Postup měření vlíčovacích a kontrolních bodů.....	35
4.4.4	Postup měření při metodě laserového skenování.....	36
<b>5</b>	<b>VÝPOČETNÍ PRÁCE .....</b>	<b>39</b>
5.1	Výpočetní software.....	39
5.1.1	Groma, Microsoft Excel .....	39
5.1.2	Leica Cyclone REGISTER 360 .....	39
5.2	Výpočet vyrovnání pomocné měřické sítě .....	40
5.3	Výpočet podrobného zaměření vlíčovacích a kontrolních bodů.....	41
5.4	Zpracování mračna bodů v sw. Leica Cyclone REGISTER 360 .....	41
5.5	Testování přesnosti.....	45
5.5.1	Porovnání opakovaného zaměření vlíčovacích bodů.....	45
5.5.2	Ověření absolutní polohy modelu.....	46
5.5.3	Ověření relativní přesnosti modelu.....	47
<b>6</b>	<b>GRAFICKÉ ZPRACOVÁNÍ.....</b>	<b>49</b>
6.1	Grafický software .....	49
6.1.1	Autodesk ReCap PRO 2024 .....	49
6.1.2	Autodesk AutoCAD 2024.....	50
6.2	Ukázky grafického zpracování stavebních výkresů.....	53
6.2.1	Ukázka řezu B – Palác s britovou věží .....	53
6.2.2	Ukázka půdorysu 1 NP – Palác s britovou věží.....	54
6.2.3	Ukázka JZ pohledu – Palác s britovou věží.....	55
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>56</b>
<b>8</b>	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>57</b>
8.1	Seznam zkratk.....	57
8.2	Seznam obrázků .....	58
8.3	Seznam tabulek.....	59
8.4	Seznam příloh k praktické části diplomové práci .....	60
<b>9</b>	<b>SEZNAM ZDROJŮ .....</b>	<b>61</b>

# 1 ÚVOD

Hrad Veveří, s jeho bohatou historií a jedinečnou architekturou, představuje významný objekt kulturního dědictví, který je nezbytné dokumentovat a zachovat pro budoucí generace. Tato práce se zaměřuje na měřickou dokumentaci přízemí jiho-východní části Paláce s břitovou věží hradu Veveří.

Cílem této práce je vytvořit podrobnou a přesnou dokumentaci zmíněné části paláce, využívající technologie laserového skenování. Tato metoda umožňuje zaznamenat detailní geometrické informace o strukturách, které jsou často obtížně měřitelné klasickými metodami. Výsledná dokumentace zahrnuje stavební výkresy a podrobné záznamy měření, ale také bude sloužit jako cenný zdroj pro budoucí rekonstrukci a restaurační práce.

V průběhu práce byl kladen důraz na dodržení předpisů a postupů pro zaměřování památkových objektů a kreslení stavebních objektů. Pro měření byly využity přístroje dle nejnovějších standartů v oboru, což umožnilo dosáhnout vysoké přesnosti a spolehlivých výsledků. Práce dále respektuje literaturu a odborné zdroje, které byly klíčové pro pochopení a zpracování problematiky geodetického dokumentování historických staveb.

V diplomové práci se zaměřuji na zachycení a dokumentaci části hradu Veveří, což představuje přínos k ochraně a pochopení tohoto historického památkového objektu.

## 2 LOKALITA

Centrum hradu Veveří, historické a architektonické dědictví, se nachází na severozápadním okraji Brna, v blízkosti Brněnské přehrady. Tato lokalita se nachází v katastrálním území Bystřice [611778] a je domovem jednoho z nejstarších hradů v České republice. Komplex hradu tvoří několik stavebních částí, včetně hlavního palácového komplexu, břitové věže a přílehlých obytných a hospodářských budov.



*Obrázek 1 - hrad Veveří*

## 2.1 Historie hradu Veveří

Hrad Veveří je datován již ve 12. století, a je považován za jeden z nejstarších hradů na území České republiky. Původně sloužil jako lovecký zámek moravských markrabat, později prošel mnoha přestavbami a rozšířeními, čímž získal svůj charakteristický vzhled. Hradní komplex odráží různé architektonické styly, jako románského, gotického a renesančního stylu. [1]



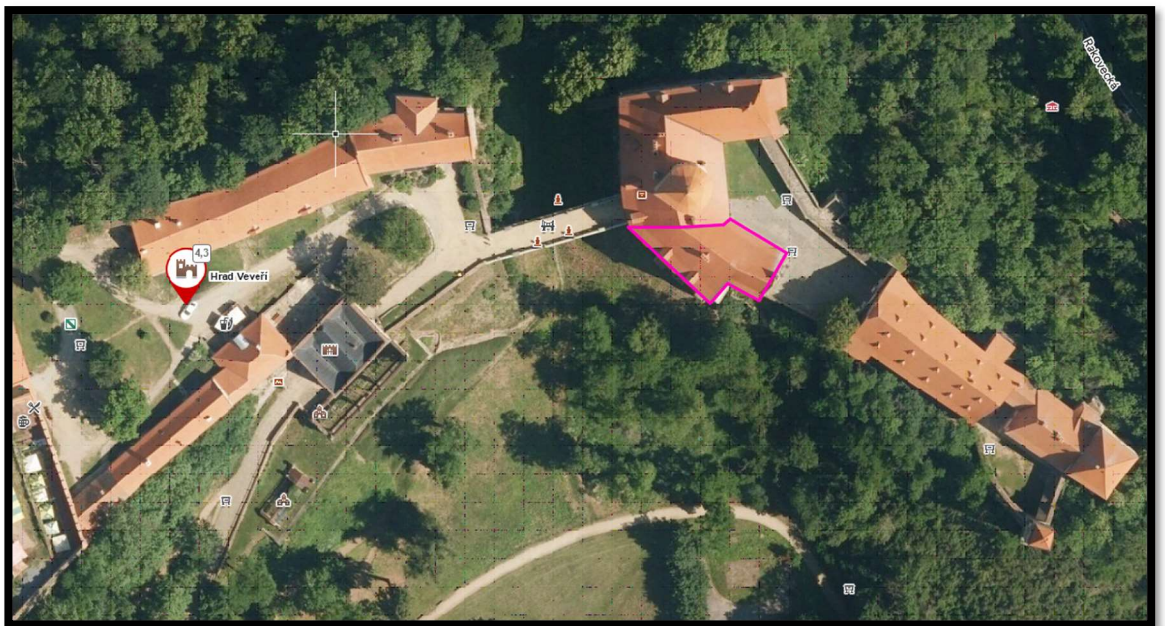
*Obrázek 2- Pohled na hrad Veveří rok 1840*

V současné době je hrad Veveří centrem kulturního a historického výzkumu, a stejně tak centrem mnoha kulturních akcí. Areál nabízí bohatý program prohlídek, který návštěvníkům umožní prohloubit jejich znalost o české historii. [2]

## 2.2 Zájmová lokalita

Hlavním předmětem měření a dokumentace v rámci diplomové práce byla oblast pokladen nacházející se v jihovýchodní části paláce s britovou věží hradu Veverčí. Tato část, stejně jako všechny ostatní, byly zvoleny na základě chybějící stavební dokumentace.

Další zaměřovanou částí byl byt klíčníka, který je situovaný v přízemí stejné části hradu. Tento prostor byl zajímavý zejména kvůli jeho specifickým architektonickým a stavebním prvkům. Které vedou k pochopení historického vývoje hradního komplexu.



*Obrázek 3 - hrad Veverčí ohraničení zájmové lokality*

Poslední část stavební dokumentace jihovýchodní části paláce tvoří pohledy na fasádu.

Celkový rozsah diplomové práce byl konzultován s vedoucím práce doc. Ing. Radovanem Machotkou, Ph.D..

## 3 TEORETICKÁ ČÁST

V této teoretické části diplomové práce se budu věnovat podrobnému rozboru použitých metod měření, výpočtu a jejich aplikaci v geodetické síti. Cílem této teoretické části je poskytnout ucelený pohled na metody, techniky měření a výpočtu, které byly zásadní pro tvorbu měřické dokumentace jihovýchodní části paláce hradu Veveří.

### 3.1.1 Účelová geodetická síť

Účelové geodetické sítě jsou základním prvkem geodetických prací při přípravě, projektování a realizaci stavebních děl. Tyto sítě zajišťují přesné určení polohy a výšky měřených nebo vytyčovaných bodů. Jsou nezbytné ať už pro tvorbu mapových podkladů, přípravné a projektové dokumentace, až po správné vytyčení objektů nebo pro projekty posunů a přetvoření stavebních objektů. [3]

Podle návaznosti na státní souřadnicový systém se dělí na vložené a místní. Pro toto rozdělení musíme vždy zohlednit specifické podmínky a požadavky daného stavebního projektu.[3]

### 3.1.2 Charakteristika polohové a výškové sítě

Úkolem polohových a výškových sítí je poskytnout množinu bodů, které slouží jako výchozí reference pro určení prostorové polohy bodů při různých pracích v mapování nebo projektové výstavbě. Jsou navrženy tak, aby vyhovovaly specifickým potřebám projektu, a zároveň musí být určitým způsobem stabilizované aby byly použitelné například pro zaměření skutečného provedení stavby nebo sledování posunů a přetvoření staveb. [3]

Častými typy geodetických sítí jsou trojúhelníkové a čtvercové sítě pro jejich jednoduchost, dále jsou pro účely mapování velice efektivní různé typy polygonových pořadů.

Obě sítě jsou často tvořeny tak, aby sloužily jak pro polohová, tak pro výšková měření. Tímto způsobem poskytují komplexní řešení pro geodetické práce, zejména v náročných stavebních projektech.



### 3.1.3 Charakteristika volné sítě

Volná geodetická síť je vhodná, zejména když potřebujeme vytvořit síť bodů s vysokou vnitřní přesností, která není závislá na existujících geodetických bodech a přesnosti jejich určení. Charakteristikou volné sítě je to, že všechny souřadnice považujeme za neznáme, a síť tedy není přesně umístěna do prostoru je tedy v místním systému. Flexibilita této sítě je výhodná při geodetických pracích, které vyžadují zvýšenou přesnost měření. [4]

Hlavní výhodou volné sítě je, že její tvar a rozměr nejsou omezeny žádnými pevnými body, což umožňuje vysokou míru přesnosti. Naopak, výsledek vyrovnání takové sítě nenavazuje na existující body a může dojít ke změně všech souřadnic bodů.

V této podobě není volná síť úplně vhodná pro dokumentace skutečného provedení staveb jelikož bychom dostali výsledek pouze v tzv. místní soustavě, a proto pro výpočet polohové sítě v této diplomové práci použiji Helmertovu podmínku abych byl schopen transformovat volnou síť do závazného referenčního systému S-JTSK a zároveň nedošlo k výraznému snížení vnitřní přesnosti sítě.

Cílem Helmertovy transformace je najít takové parametry transformace, které minimalizují kvadráty odchylek mezi transformovanými souřadnicemi a jejich odpovídajícím referenčním souřadnicím. Tato podmínka zajišťuje, že transformovaná síť zůstane co nejvíce shodná s původní sítí, minimalizující deformace způsobené samotnou transformací. [24]

### 3.1.4 Charakteristika vázané sítě

Vázaná geodetická síť je důležitým prvkem v geodézii, zejména pro účely mapování, různých stavebních projektů nebo katastru nemovitostí. Tento typ sítě se vyznačuje, že obsahuje pevně dané body, souřadnice těchto bodů jsou již známy a v síti zůstávají zachovány. [4] Tyto body slouží jako základní reference pro určování polohy ostatních bodů sítě.

Vázaná síť poskytuje poměrně přesné výsledky, které můžeme využít v mnoha oblastech geodetické činnosti, nicméně právě proto, že část bodů považujeme za pevné tak dochází k deformaci našeho měření, a proto není vhodná pro práce se zvýšenými požadavky na přesnost.

S výhodou jsem tedy využil vázanou síť jako metodu vyrovnání výškové sítě v mé diplomové práci, jelikož při vyrovnání nedojde ke změně výšky na výchozím nivelačním bodě, jelikož do vyrovnání vstupují přibližné výšky z technologie GNSS metody RTK, u kterých se dá předpokládat, že jsou určeny s výrazně nižší přesností než příslušná nivelační značka.



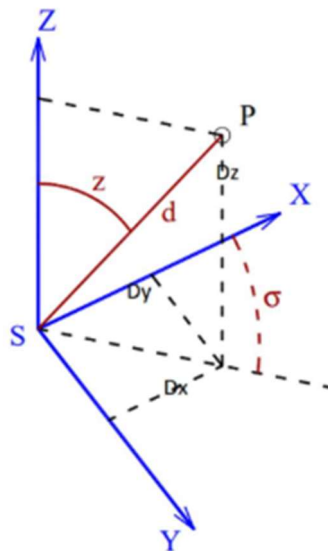
## 3.2 Použité metody měření

V této části se zaměřuji na detailní popis metod, které byly použity pro geodetickou dokumentaci části Paláce s britovou věží hradu Veverčí a následné vyhotovení stavebních výkresů. Byl kladen důraz na efektivitu a vysokou přesnost měření, což by nebylo možné bez použití vhodného postupu měření v kombinaci s pokročilou technologií laserového skenování. V další části jsou podrobně popsány jednotlivé měřické metody.

### 3.2.1 Prostorová polární metoda

Prostorová polární metoda představuje velice častou techniku měření, od doby kdy se elektronické dálkoměry staly běžnou součástí geodetické praxe. Tato metoda slouží pro podrobné měření a tvorbu map, ať už jde o účelové mapy nebo dokumentaci skutečného provedení stavby. [5]

Hlavním principem prostorové polární metody je měření šikmé délky od známého bodu spolu s vodorovným a zenitovým úhlem na určovaný bod. Tato metoda umožňuje výpočet souřadnicových rozdílů mezi stanoviskem a určovaným bodem. A díky goniometrickým funkcím jsme schopni určit polohu bodu v prostoru. [5]



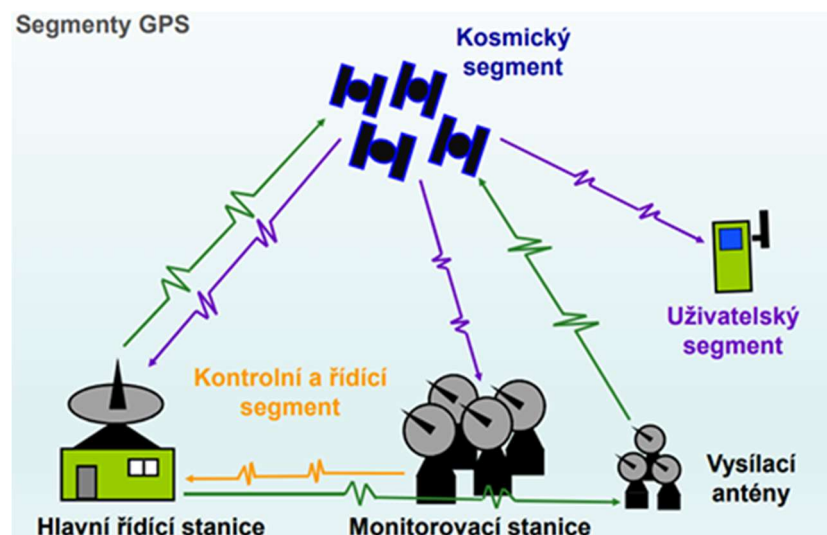
Obrázek 4 - Schéma prostorové polární metody [5]

### 3.2.2 Trigonometrická metoda

Trigonometrická metoda, která je používána pro určení převýšení mezi body v terénu na základě řešení trojúhelníku. Je to metoda, která kombinuje měření zenitových úhlů a šikmých vzdáleností pro určení převýšení mezi body. [6] Tato metoda je velice rychlá a zvláště výhodná v náročném terénu, kde by klasická nivelace byla časově nebo technicky nepraktická a zároveň přesnost metody je srovnatelná s klasickou nivelací. [6]

### 3.2.3 Technologie GNSS a RTK měření

Technologie Globálních navigačních satelitních systémů se stala klíčovou metodou současné geodézie. Tato technologie je zásadní pro účely mapování, katastru nemovitostí nebo třeba dokumentací skutečného provedení staveb což je i důvod využití pro tuto diplomovou práci.[9]



Obrázek 5 - Schéma jednotlivých segmentů GNSS [22]

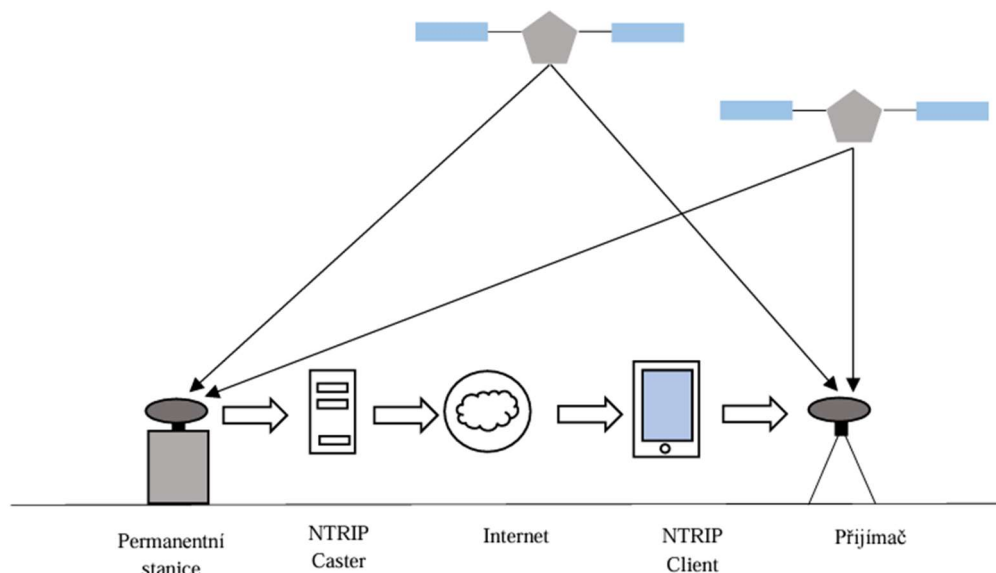
Geodetické využití GNSS zahrnuje přijímání dalších údajů z radiových signálů. Pro měření se využívají geodetické přístroje a metodika měření zahrnuje využití alespoň jednoho přístroje umístěného na známém bodě. V současné době se na území České republiky využívají tzv. sítě permanentních stanic například síť CZEPOS, která se využije místo přijímače na známém bodě a toto síťové řešení bylo využito i při následných měřických pracích na hradě Veveří. [20]

Metody měření u technologie GNSS rozdělujeme podle délky a způsobu měření, které se také odlišují přesností v poloze. [20]

1. Statická metoda – 3 – 5 mm
2. Rychlá statická 5 – 10 mm + 1 ppm
3. Stop and go 10 - 20 mm + 1 ppm
4. Kinematická 20 – 30 mm + 3 ppm
5. RTK – 25 – 50 mm

Každá z těchto metod má své specifické využití v závislosti na požadavcích projektu a dostupnosti technologie. Výběr správné metody závisí na konkrétních cílech měření, dostupném čase pro sběr dat a požadované přesnosti měření.

Real Time Kinematic je jedna z metod měření technologií GNSS, která nám umožňuje dosáhnout vysoké přesnosti měření v reálném čase a jako jediná byla využita při měřických pracích na hradě Veveří. Tato metoda je založena na použití dvojitého diferencí GNSS observací mezi přijímači za účelem minimalizaci chyb spojených s ionosférickými a troposférickými zpožděními a chybami hodin. [9] Přesnost měření může být ovlivněna dalšími jevy jako jsou odrazy signálu nebo objekty, které blokují přímý výhled na satelity, jako jsou budovy nebo stromy. [9]



Obrázek 6 - Schéma RTK metody [21]

### 3.2.4 Laserové skenování

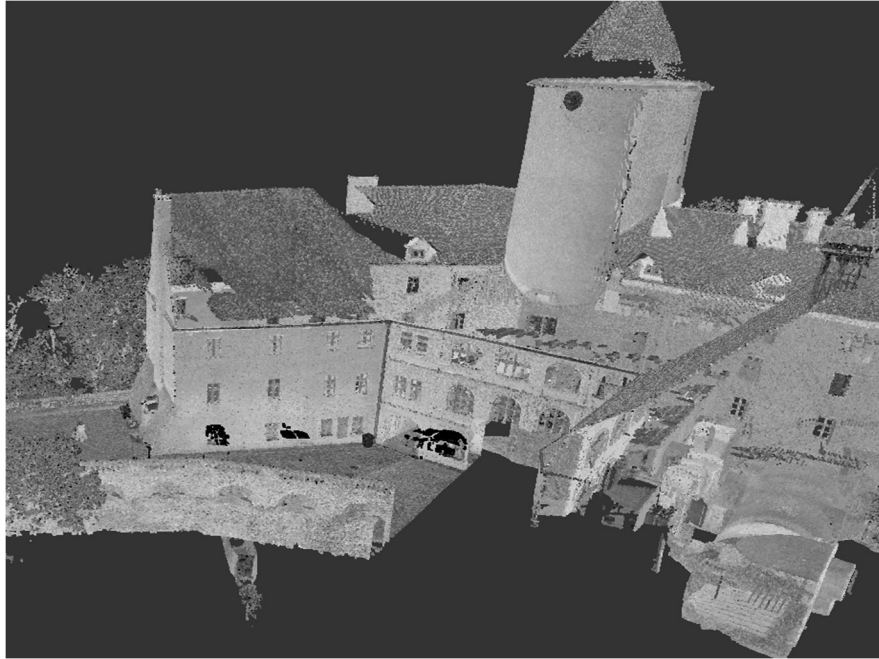
Metoda laserového skenování je přesná a efektivní metoda pro sběr mračen bodů, která nachází uplatnění v mnoha technických oborech jako je architektura, strojírenství nebo stavebnictví. [18] Pro zajištění vhodné kvality získaných dat je nutné plánovat skenování tak, aby všechny cíle byly pokryty požadovanou datovou kvalitou do stanoveného časového limitu. [19]

Kvalita bodového mraku je hodnocena na základě několika kritérií, mezi které patří úplnost (LOC), přesnost a prostorové rozlišení (LOA, LOD) a možnost registrace. Tyto parametry musí být vzaty v úvahu při optimalizaci procesu skenování. [19]

Klíčové parametry ovlivňující kvalitu získaných dat zahrnují viditelnost cíle, hloubku pole (DOF), a zorné pole (FOV), Úhel dopadu a vzdálenost od skeneru. [19]

Efektivní sběr dat laserovým skenováním lze dosáhnout prostřednictvím optimalizace procesu plánování skenování. [19]

Metoda 3D laserového skenování, využívá technologii “Light Detection and Ranging” [13]. Tento proces zahrnuje vysílání světelných pulzů na objekty a měření doby, která uplyne, než se světlo vrátí zpět k senzoru. Tento čas je následně použit k určení vzdálenosti mezi skenerem a objektem, což umožňuje zaznamenat přesnou polohu v trojrozměrném prostoru.[13] Skener pracuje tak, že se umístí na více stanoviscích okolo objektu, a zaznamenává jej z různých úhlů. Zároveň se při skenování často pořizují i HDR fotografie, což nám umožní vytvářet nejen přesné měření, ale také i vizuální dokumentaci. [13]



*Obrázek 7 - Ukázka mračna bodů*

V praxi se používají 3D laserové skenery, které jsou schopné rychle a přesně zaznamenávat velké množství bodů. Tyto skenery jako například Leica RTC 360, mohou zachytit až 2 miliony bodů za sekundu s přesností 2 – 4 mm [17]. Následně body vytvoří tzv. mračno bodů, které slouží k vytvoření dalších výstupů jako jsou BIM modely nebo 2D a 3D výkresy skutečného provedení stavby. [17]

### **3.3 Odstranění vlivu systematických chyb při měření**

Systematické chyby, které ovlivňují přesnost měření v geodézii, se liší od náhodných chyb svým konzistentním a předvídatelným charakterem, což umožňuje jejich kompenzaci. Tyto chyby mohou být způsobeny různými faktory, jako jsou konstrukční nedokonalosti přístroje, podmínky měření a lidský faktor. [11] Systematické chyby lze obvykle minimalizovat nebo eliminovat správným metodickým postupem a pravidelnou kalibrací přístrojů, pro zachování vysoké přesnosti měření. Častými systematickými chybami jsou vliv součtové konstanty hranolů a vliv atmosférických podmínek.

#### **3.3.1 Vliv vnějšího prostředí**

Vliv vnějšího prostředí může mít zásadní vliv na přesnost měření. Faktory jako teplotní rozdíly, atmosférický tlak, vlhkost a další podmínky, které mohou způsobit značné systematické odchylky v měření. [11] Odstranění vlivu atmosférických podmínek provedeme přímo v přístroji.

#### **3.3.2 Vliv centrace**

Vliv chyby z centrace vzniká když přístroj není přesně zcentrován stanoviskem nebo odrazný hranol není přesně zcentrován nad cílovou značkou. Velikost těchto chyb je taktéž závislá na způsobu centrace, kvalitě pomůcek a zkušenostech měřiče. Tato chyba může vést k významným systematickým odchylkám v měření zejména u přesných prací. [11]

#### **3.3.3 Vliv přístrojových chyb**

Přístrojové chyby se vztahují k nedokonalostem přístrojového vybavení. Tyto chyby jsou způsobeny vadami z výroby, opotřebením přístroje anebo nesprávnou údržbou přístrojů. [11] Přístrojové chyby mohou vést k systematickým rozdílům v měření, a tyto chyby je potřeba z měření vyloučit.

### **3.4 Měřická dokumentace historických staveb**

Podklad pro tuto kapitolu poskytuje metodická publikace „Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči“ od Jana Veselého, vydaná Národním památkovým ústavem v Praze v roce 2014. Tato publikace přináší komplexní pohled na problematiku měřické dokumentace a podává strukturované informace o přístupech k měřické dokumentaci, jejích specifických potřebách a spolupráci mezi památkáři a zeměměřiči.

Měřická dokumentace musí být dostatečně přesná a detailní, aby dokázala věrně odrážet specifika zkoumané stavby. Přesnosti a věrohodnosti dokumentace se více věnují v části „Stupně podrobnosti dokumentace“.

#### **3.4.1 Směrnice, právní předpisy a metodika**

Měřická dokumentace historických objektů je nezbytnou součástí ochrany a výzkumu nemovitého kulturního dědictví. V průběhu let se praktiky a směrnice této disciplíny vyvíjely, aby byly schopné držet krok s modernizací technik měření. Počáteční předpisy pro měření památek byly stanoveny již v roce 1959 a další postupy byly formalizovány v následujícím desetiletí. [7]

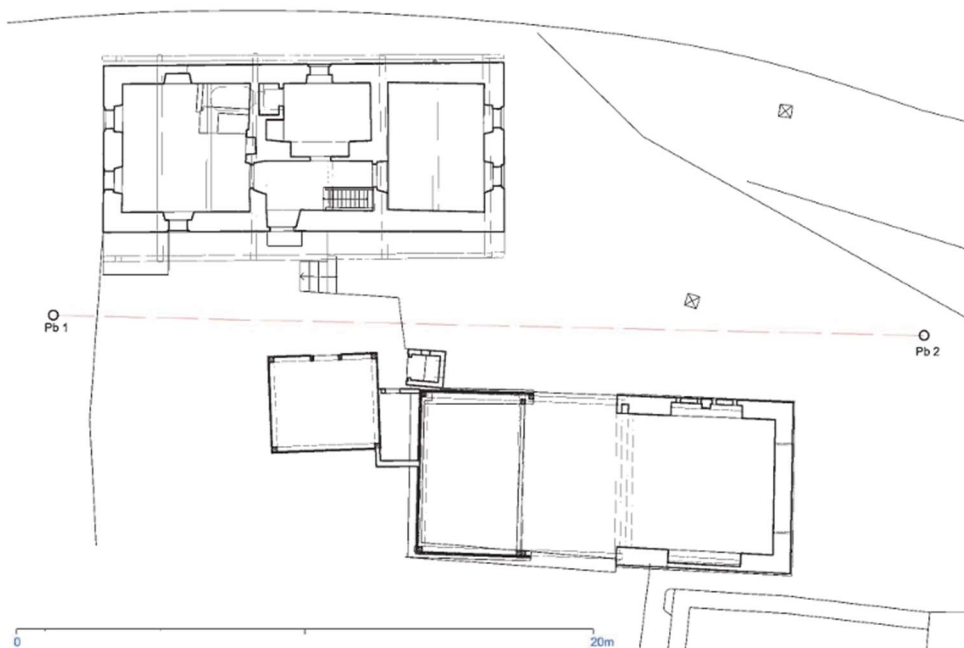
V současné době se měřická dokumentace řídí nejen dle zmíněných historických směrnic, ale hlavně podle aktuálních zákonů a technických norem včetně stavebního zákona Č. 183/2006 Sb. a normou ČSN 01 3420, která definuje zásady pro tvorbu výkresů stavebních částí. Další významnou roli hrají pokyny a metodika stanovená Národním památkovým ústavem v Praze z roku 2014 „Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči“ od Jana Veselého. [7]

Metodika Národního památkového ústavu zde hraje klíčovou roli při zajištění dokumentace s aktuálními požadavky na ochranu kulturního dědictví.

### 3.4.2 Stupně podrobnosti dokumentace

Při měřické dokumentaci historických staveb je zásadní správná volba stupně podrobnosti, který se má zachytit. Tato rozhodnutí by měla reflektovat nejen historický a architektonický význam daného objektu, ale také konkrétní účel, pro který je dokumentace vytvářena, a rozpočtové možnosti projektu. Je důležité si uvědomit, že čím podrobnější dokumentace bude, tím je proces jejího vytváření časově i finančně náročnější. [7]

Měřickou dokumentaci můžeme rozdělit do čtyř základních kategorií podrobnosti od orientační, přes základní, podrobnou až po tvarově věrnou, přičemž každá kategorie může obsahovat další stupně podrobnosti. [7]



Obrázek 8 - Ukázka základní dokumentace [7]

Pro získání dat bývá použita prostorová polární metoda s totální stanicí, fotogrammetrie a ve vyšších stupních podrobnosti to může být třeba metoda laserového skenování. [7]



### **3.4.3 Vytváření nové dokumentace**

Při vytváření nové měřické dokumentace historických staveb je klíčová počáteční prohlídka objektu, během které si měřič musí vytvořit komplexní představu o rozsahu a uspořádání dokumentované stavby nebo její části. Důležité je také porozumět jak prostorové, tak i konstrukční struktuře a identifikovat jedinečné charakteristiky objektu. Tento průzkum by měl být základem, který ovlivňuje celkový přístup k měření a výběru metod, a je přizpůsoben účelu plánované dokumentace. [7]

V případě, že je-li k dispozici starší dokumentace, měla by být přezkoumána s ohledem na její aktuálnost a přesnost. Součástí přípravy měření bývá často i vytvoření fotodokumentace, která může posloužit jako vizuální podpora, při měření zejména u složitějších konstrukčních prvků nebo fasád. [7]

Proces vytváření nové dokumentace je důležitý pro zachování hodnot a informací o historických stavbách pro další generace a pro další využití Národního památkového ústavu.

### **3.4.4 Zakreslení pravoúhlých a nepravidelných tvarů**

Ve fázi vytváření dokumentace historických staveb se často setkáváme s dilematem, jak přistupovat k zakreslování pravoúhlých a nepravidelných tvarů. Jedním z nejčastějších problémů je tendence ke zjednodušení a odstranění drobných nesrovnalostí a odchylek od pravých úhlů, což může vést ke ztrátě důležitých stavebních detailů a specifík měřeného objektu. Právě tyto malé nesrovnalosti a odchylky mohou být klíčové pro pochopení historického vývoje objektu. Je důležité, aby dokumentace byla co nejvíce přesná a reflektovala skutečnou stavbu včetně všech jejich nedokonalostí. [7]

Při dokumentaci by se měla zachovat maximální možná přesnost, a to i v případě zdánlivě nedůležitých či skrytých prvků. Je třeba vždy zvážit, jaký stupeň detailů je pro dokumentaci vhodný. [7]

## 4 TERÉNNÍ PRÁCE

Terénní práce představují zásadní část této diplomové práce, kde se plánování a teoretická příprava transformuje do praktického měření a sběru dat na hradě Veveří. Tato kapitola se zaměřuje na popis různých aspektů terénních prací, které jsou nezbytné pro efektivní a přesné měření. Zahrnují přípravné práce, rekognoskaci v terénu, výběr a použití specifického přístrojového vybavení a detailní popis měřických prací.

### 4.1 Rekognoskace

Dne 5. dubna 2023 jsme společně s kolegou Bc. Vojtěchem Míčou a doc. Ing. Radovanem Machotkou, Ph. D. provedli rekognoskaci v terénu na historickém hradu Veveří. Tato předběžná práce byla zásadní pro plánování následných měřických prací a následného vyhotovení požadované stavební dokumentace zájmových lokalit.

Během rekognoskace jsme prošli obě zájmové lokality, což nám umožnilo se seznámit s terénními podmínkami a specifickým prostředím, které tento hrad představuje. Tento průzkum byl také zásadní pro vymezení jednotlivých lokalit a ujasnění si rozsahu stavební dokumentace.



*Obrázek 9 - Ukázka vnitřních prostor zájmové lokality*

V rámci rekognoskace jsme také prošli stávající bodové pole, nicméně jsme vyhodnotily, že bude v rámci přípravných prací nezbytné toto bodové pole značně zhustit.

## 4.2 Přípravné práce

V rámci přípravných prací bylo nezbytné zvládnou organizaci, což zahrnovalo výpůjčku přístrojů a ostatních pomůcek ze skladu z ústavu geodézie fakulty Stavební v Brně, dále výpůjčku laserového skeneru Leica RTC 360 od firmy Gefos a.s. a osvětlení od firmy P. L. S. GROUP s.r.o.. Dále také bylo nutné se domluvit se správcem hradu Veveří na termínu měření, protože hrad je v letních měsících značně turisticky vytížen a to by komplikovalo následné měřické práce.

Po domluvě se správcem hradu Veveří byl termín měření stanoven na datum 6 až 8 října 2023.

Před zahájením měření bylo nejprve nutné zhustit stávající pomocnou měřickou síť, problém nastal po domluvě se správcem, protože můžeme použít pouze dočasnou stabilizaci abychom vizuálně nenarušily tento památkový objektu. Nicméně stávající měřickou síť jsme zhustily pomocí dřevěných kolíků, nastřelovacích hřebů a fixem na papír A4, který byl dočasně přilepený k podlaze.



Obrázek 10 - Ukázka dočasné stabilizace bodů pomocné měřické sítě

Pro následné georeferencování mračna bodů a rozbor jeho přesnosti byly v celé lokalitě rozmístěny vřícovací a kontrolní body. Stabilizace těchto bodů opět proběhla pomocí dočasné stabilizace a to v podobě černo - bílých terčů rozmístěných v různých výškových úrovních po celé lokalitě pomocí oboustranné lepicí pásky.



*Obrázek 11 - Ukázka rozmístění vřícovacích a kontrolních bodů*

Rozmístěním, stabilizací, signalizace a ověření viditelnosti mezi body sítě končí kapitola přípravné práce a následuje podrobný popis použitého přístrojového vybavení a samotné měřické práce.

### **4.3 Použité přístrojové vybavení**

Při geodetických pracích na hradu Veverí bylo nezbytné zvolit vhodné přístrojové vybavení, které splní požadované nároky na přesnost měření a zároveň zajistí spolehlivost a vysokou efektivitu měření. Při výběru pomůcek byl kladen důraz na kombinaci tradičních a moderních měřických technologií, které nám umožní efektivní sběr dat.

Všechny pomůcky a přístroje jako totální stanice Trimble M3, GNSS přijímač Trimble R8s a jejich příslušenství byly zapůjčeny ze skladu z ústavu geodézie fakulty Stavební v Brně. Laserový skener Leica RTC 360 byl zapůjčený z firmy Gefos a.s..



### 4.3.1 Totální stanice Trimble M3

Totální stanice Trimble M3 je vybavena funkcemi, které zajišťují vysokou přesnost a efektivitu měření. Tento model poskytuje standardní přesnost měření úhlů 2'' a má rozsah měření vzdálenosti až do 5000 metrů se přesností délky 3 + 2 ppm. [15] Volba této totální stanice byly snadná i díky tomu, že mám z přístrojem dlouhodobou zkušenost, zejména s jejím softwarem. Totální stanice je taktéž velice uživatelsky přívětivá a nabízí rychlé nastavení přístroje na stanovisku a rychlé přechody mezi ostatními stanovisky.



Obrázek 12 - Totální stanice Trimble M3

Všechny další parametry přístroje jsou uvedeny v technickém listě od výrobce. Odkaz na tento list se nachází v seznamu zdrojů označený. [15]

### 4.3.2 GNSS přijímač Trimble R8s

GNSS přijímač Trimble R8s schopný pracovat i v neideálních podmínkách, který areál hradu Veveří určitě je. Tento přístroj se byl schopný vypořádat s četnými překážkami, jako jsou hradby, stromy a nebo samotné věž hradu, všechny tyto faktory značně limitují použití této aparatury. Přijímač má možnost přijímat data z více družicových systémů včetně GPS; GLONASS, Galileo, Beidou, což zvyšuje jeho využitelnost v náročnějších podmínkách. S přesností měření až 8 mm + 1 ppm RMS v RTK módu a 3 mm + 0,5 ppm RMS ve statickém režimu. [16]



Obrázek 13 - GNSS přijímač Trimble R8s

Všechny další parametry přístroje jsou uvedeny v technickém listě od výrobce. Odkaz na tento list se nachází v seznamu zdrojů označený. [16]

### 4.3.3 Laserový skener Leica RTC 360

Laserový skener Leica RTC 360 nabízí vysokou rychlost skenování až 2 miliony bodů za sekundu s rozsahem od 0,5 do 130 m a přesností měření 1,0 mm + 10 ppm. [17] Tato technologie umožňuje vytváření detailních 3D modelů komplexních struktur, což je ideální přístroj pro dokumentaci historických staveb, jako je hrad Veveří.

Jednou z klíčových vlastností RTC 360 je jeho schopnost automatické registrace v reálném čase díky integrovanému systému VIS, který kombinuje video a inerciální měřicí měřicí jednotku. [17] Tento systém umožňuje skeneru sledovat a zaznamenávat svou polohu v prostoru během pohybu mezi různými postaveními skeneru. [17] Tím se eliminuje potřeba manuálního spojování skenů, což výrazně urychluje celkový proces zpracování dat, ačkoliv je nutné zmínit, že toto řešení není 100 % a je vždy nutné, alespoň vizuální kontrolou napojení jednotlivých skenů vždy zkontrolovat.

Skener RTC 360 je navržený pro maximální uživatelské pohodlí, s jednoduchým ovládním na dotykovém displeji a možností ovládním skeneru pomocí mobilní aplikace Leica Cyclone Field 360 na tabletu nebo telefonu. Skener je dále velice lehký a snadno transportovatelný, což je ideální pro práci v terénu a na obtížněji dostupných místech.



*Obrázek 14 - Laserový skener Leica RTC 360*

Tyto technologie a funkce činí Leica RTC 360 ideální přístrojem pro rychlé, přesné a efektivní 3D skenování v rámci dokumentačních prací. Další parametry přístroje jsou uvedeny v technickém listě od výrobce. Odkaz na tento list se nachází v seznamu zdrojů označený. [17]

#### **4.3.4 Ostatní pomůcky**

Kromě hlavních přístrojů byla využita také velká řada příslušenství, bez kterých by měření nebylo možné uskutečnit. Mezi tyto pomůcky patří sada odrazných hranolů, hranolem na výtyčce, dřevěné stativy, fotografický stativ, svinovací metry, světla na stativu, disto Leica, kontroler k GNSS přijímači Trimble R8s a v neposlední řadě tablet s mobilní aplikací Leica Cyclone FIELD 360.



Obrázek 15 - Leica RTC360 a Leica Cyclone FIELD 360 mobilní aplikace [22]

Dále byly také potřeba dřevěné kolíky, nastřelovací hřeby, kladivo, černo-bílé terče, oboustranná páska, tvrdý papír a fix pro dočasné stabilizace stanovišek ve vnitřních prostorech hradu, nebo prodlužovačky na elektřinu.

#### 4.4 Měřické práce

Tato část diplomové práce se věnuje komplexnímu popisu terénních prací provedených na jiho-východní části Paláce s britovou věží hradu Veveří. Zabývá se specifikací použitých měřících metod a postupů, které byly použity pro sběr dat a kontrolu přesnosti.

Důraz byl kladen také na minimalizaci zásahu do stávající struktury hradu, což bylo zajištěno pomocí dočasných stabilizací bodů sítě a vlčovacími bodů.

Výsledky těchto prací jsou zásadní nejen pro porozumění historické architektuře, ale zejména také pro plánování projekční činnosti pro restaurátorské zásahy, které mají za cíl uchovat hrad Veveří pro budoucí generace v co nejlepším stavu.

##### 4.4.1 Ověření součtové konstanty hranolů

Ověření součtové konstanty hranolů je prvním krokem pro zajištění přesnosti a spolehlivosti geodetického měření. Je to tím, že součtová konstanta je vždy vázaná na soustavu přístroj – odrazný hranol. [11]

Součtová konstanta je zbytkový rozdíl délky, který je způsoben tím, že optický a elektronický počátek není přesně totožný s centrem přístroje nebo cíle. [11]



A proto z důvodu nejistoty uvedený konstant hranolů, které jsou na nich uvedeny, konkrétně u všech tří hranolů – 30 mm, byla tato konstanta ověřena před samotným měřením pomocné měřické sítě.

Ověření součtové konstanty hranolu jsem prováděl pro každý hranol, aby byla dodržena podmínka přístroj – hranol. Testovány byly všechny 3 hranoly. Ověření této konstanty jsme prováděl pomocí trojpodstavcové soupravy, kde stativy byly umístěny v přímce o délce základny přibližně 30 m a délky byly měřeny obousměrně.

Tabulka 1 - Výsledky ověření součtové konstanty pro hranol č. 1

ÚSEK	Vodorovná délka TAM [m]	Vodorovná délka ZPĚT [m]	Průměrná S [m]	Rozdíl TAM - ZPĚT d [m]
A - B	16,468	16,467	16,4675	0,0010
A - C	31,496	31,497	31,4965	-0,0010
B - C	15,028	15,028	15,0280	0,0000

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

Výpočet součtové konstanty PSM:

$$PSM = c - (a + b) = = 0,0010 \text{ m}$$

Výběrová směrodatná odchylka jednoho měření délky ve dvojici:

$$m_{d'} = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{2n}} = 0,0006 \text{ m}, n = 3$$

Přesnost aritmetického průměru dvojice:

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

Přesnost určení PSM:

$$m_{PSM} = m_d \times \sqrt{3} = 0,0007 \text{ m}$$

$$\delta_{PSM} = t \times m_{PSM} = 2 \times 0,0007 = 0,0014 \text{ m}$$

$$PSM \leq \delta_{PSM} \gg 1,0 \text{ mm} \leq 1,4 \text{ mm}$$

**Konstanta hranolu se nepřenastavuje.**

Výsledky ověření těchto konstant včetně rozboru přesnosti jsou uvedeny v příloze „04.1\_Protokol ověření součtové konstanty hranolů“.

#### 4.4.2 Postup měření v pomocné měřické síti

Samotné zaměření pomocné měřické sítě probíhalo ve dnech 6.10 až 8.10.2023. Před započítím měření bylo nutné nejprve dočasně stabilizovat body pomocné měřické sítě, rozmístit vlíčovací a kontrolní body, a ověřit vzájemnou viditelnost mezi jednotlivými body sítě, jelikož velká část měření se odehrává ve vnitřních prostorách hradu Veveří. Výškové připojení proběhlo na nivelační značku, která je umístěna u vstupu do budovy Národního památkového ústavu v areálu hradu Veveří.

V dalším kroku proběhlo měření technologií GNSS metodou RTK na bodech pomocné měřické sítě, konkrétně to jsou body 4009; 4011; 4012 a 4013. Na každém z těchto bodů bylo měřeno, přijímačem Trimble R8s, 3x s časovým odstupem minimálně 2 h a 300 záznamy s intervalem záznamu 1 s. Abych předešel vlivu z únavy měřiče byla použita třínožka pro upevnění aparatury, aby nedošlo ke znehodnocení výsledků měření. Výsledky toho měření jsou uvedeny v příloze „03.1\_Protokol zpracování družicových měření“.



Obrázek 16 - Ukázka upevnění přijímače Trimble R8s při měření

Současně s měřením metodou GNSS probíhalo také zaměření pomocné měřické sítě přístrojem Trimble M3 pomocí prostorové polární metody. Před zahájením měření byly do přístroje nastaveny aktuální atmosférické podmínky. Měření v PMS probíhalo většinou pomocí trojpodstavcové soupravy s měřením na odrazné hranoly Topcon. Úhly a délky byly měřeny vždy ve dvou polohách dalekohledu a také kontrolně ve 2 skupinách mezi jednotlivými vrcholy pomocné měřické sítě. V případě některých záměr, kde nebylo možné měřit ze stativu na stativ byl použit také hranol na výtyčce.

#### 4.4.3 Postup měření vlíčovacích a kontrolních bodů

Vlíčovací a kontrolní body byly rozmístěny společně s body pomocné měřické sítě už při přípravě pomocné měřické sítě. Tyto body byly signalizovány černo – bílým terčem rovnoměrně rozmístěných po celém objektu v různých výškových úrovních.

Samotné měření probíhalo současně se zaměřením pomocné měřické sítě, a to stejným postupem měření.



Obrázek 17 - Ukázka zaměření vlíčovacích bodů

Dále byly také měřeny kontrolní míry pomocí dista Leica, pro ověření relativní přesnosti 3D modelu. Výsledky tohoto ověření jsou uvedeny v příloze „06.2\_Ověření relativní přesnosti modelu“.

#### 4.4.4 Postup měření při metodě laserového skenování

Dne 8. října 2023 jsem prováděl laserové skenování. Nejprve bylo nezbytné ověřit, zda jsou všechny vlíčovací body na svých místech, protože mohly být poškozeny vnějšími vlivy. S ohledem na to, že se některé měřické lokality nacházely ve stálém prohlídkovém okruhu hradu, bylo nutné skenovací práce provést co nejdříve.

V dalším kroku jsem přistoupil k samotnému laserovému skenování. Nejdříve jsem vyjmul skener z ochranného obalu, upnul ho upínacím šroubem na fotografický stativ a vložil do něj externí úložiště ve formě flash disku. Poté jsem na tabletu v aplikaci Leica FIELD 360 založil novou zakázku, zadal identifikační údaje a vytvořil fotografii lokality pro snazší identifikaci zakázky. Po otevření zakázky se tablet automaticky připojil přes wifi k laserovému skeneru. Nastavil jsem laserové skenování bez HDR fotografií a s minimálním rozlišením, což odpovídá 12 mm na 10 m, s dobou skenování 26 sekund. Toto nastavení bylo pro dokumentaci a následné vyhotovování stavebních výkresů zcela dostačující. Skener má také funkci dvojitého skenování, která automaticky eliminuje pohyblivé cíle z mračna bodů.

Tabulka 2 - Možnosti nastavení laserového skenování u přístroje Leica RTC 360 [23]

Rozlišení	Rychlost	Dosah	Čas	Skeny + obrázky
3mm@10m	2 Mhz	65 m	01:51 min	< 3 min
6mm@10m	1 Mhz	130 m	00:51 min	1:51 min
12mm@10m	0.5 Mhz	130 m	00:26 min	1:26 min

Po nastavení jsem skener přemístil na zaměřovanou lokalitu. Skener není třeba vyrovnávat do horizontální roviny, stačí zajistit jeho stabilitu, aby nedošlo k jeho poškození. Stanoviska pro skenování jsem volil tak, aby byl z nich vidět co největší počet vlíčovacích bodů a důležitých částí objektu. Je také důležité zachovat překryt mračen bodů z jednotlivých postavení pro spolehlivou návaznost přímo v terénu. Z vlastní zkušenosti vím, že ideální postavení skeneru Leica RTC360 je před vstupem do budovy, poté ve vstupu a nakonec uvnitř budovy.

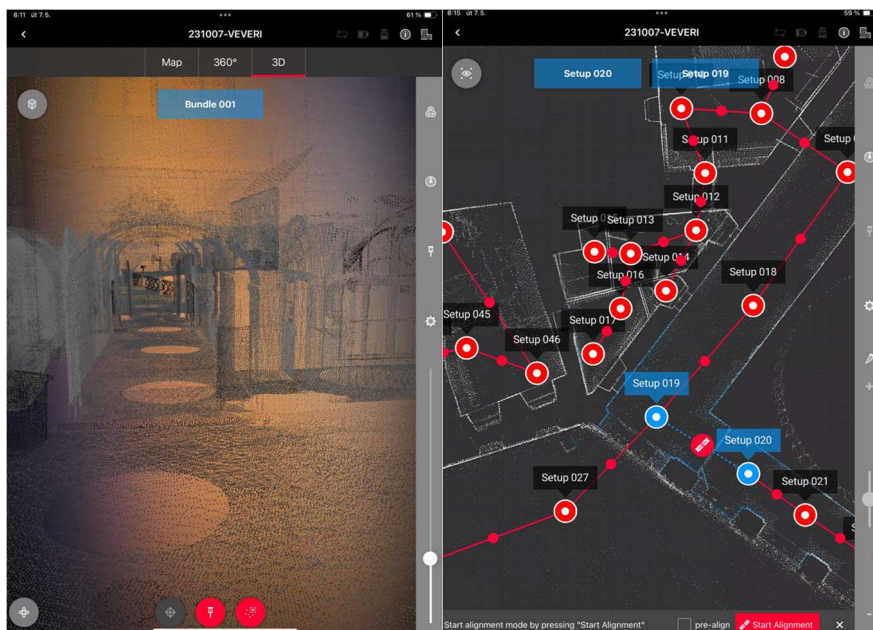
Po zaměření prvního stanoviška jsem mohl přejít na další. Skener jsem pokud možno nesundával ze stativu, jelikož je vybaven vizuálním inerciálním systémem (VIS), který v reálném čase určuje relativní pozice mezi stanovišti. Systém využívá pět kamer a jednu IMU. Po dokončení skenování druhého stanoviště jsem v aplikaci Leica FIELD 360 spojil obě stanoviška.



Obrázek 18 - Ukázka napojení stanovišek metodou cloud to cloud Leica FIELD 360

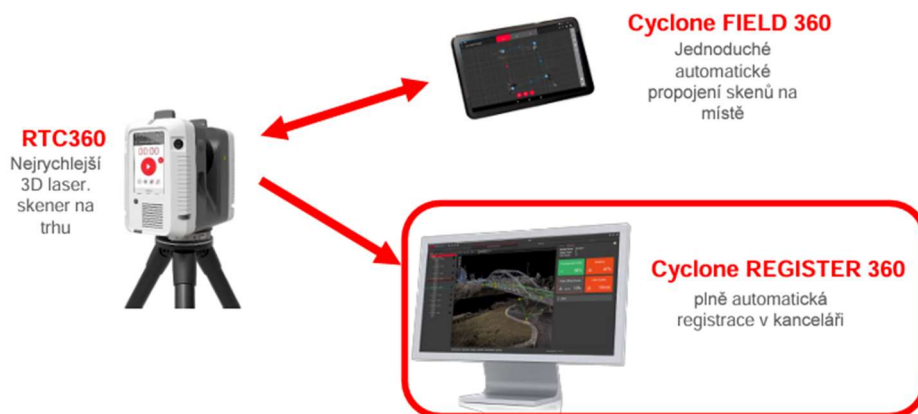
Následně jsem si v aplikaci prohlédl mračno bodů ve stupních šedi, abych ověřil pre-registrovaná mračna s ohledem na kvalitu, překrytí a úplnost. V případě zjištění chyb jsem provedl opravu nebo doměřil nějaké části objektu, aby bylo možné mračno bodů doplnit nebo vytvořit dostatečnou návaznost mezi jednotlivými mračny.





Obrázek 19 - 3D pohled Leica FIELD 360    Obrázek 20 - Přehled stanovišek Leica FIELD 360

Po dokončení zaměření lokality se data automaticky exportovala. U přístroje Leica RTC360 se všechna data ukládají na externí flash disk, takže v menu není nutné provádět export. V kanceláři jsem poté v softwaru Cyclone Register 360 založil nový projekt a provedl registraci dat.



Obrázek 21 - Schéma řešení společnosti Leica Geosystems [23]

## 5 VÝPOČETNÍ PRÁCE

Kapitola výpočetní práce se v rámci diplomové práce zaměřuje na popis softwarových nástrojů a výpočetních metod, které byly využity k získání, zpracování a analýze dat.

### 5.1 Výpočetní software

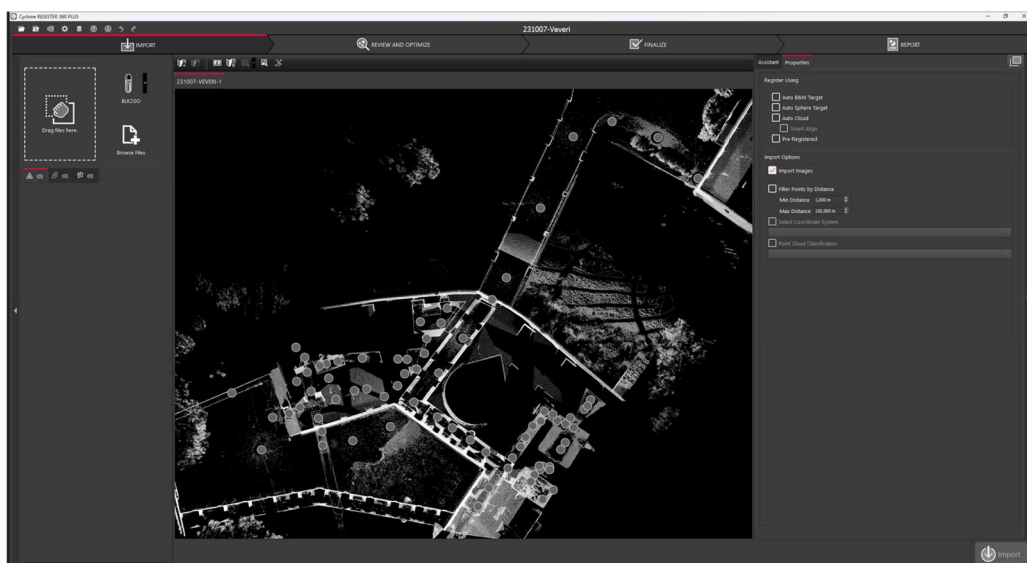
#### 5.1.1 Groma, Microsoft Excel

Groma je geodetickým systémem pracujícím v prostředí MS Windows. Tento systém je určený ke komplexnímu zpracování geodetických dat od surových dat exportovaných, z měřicích přístrojů například totální stanice nebo GNSS přijímač, až po výsledné seznamy souřadnic a výpočetní protokoly.

Microsoft Excel je procesor umožňující práci s daty a tabulkami, provádění výpočtů a analýzu dat. V této diplomové práci jsem uvedený software využil pro ověření součtové konstanty hranolů, zpracování GNSS měření, testování přesnosti opakovaného zaměření vlíčovacích bodů a sestavení výsledků do přehledných tabulek.

#### 5.1.2 Leica Cyclone REGISTER 360

Leica Cyclone REGISTER 360 je software pro registraci mračen bodů, umožňuje uživatelům rychle a efektivně zpracovat velké množství dat z laserového skenování a vytvářet georeferencovaná mračna bodů, 3D modely a vizualizace.



Obrázek 22 - Ukázka uživatelského prostředí - Leica Cyclone Register 360

## 5.2 Výpočet vyrovnání pomocné měřické sítě

Před vyrovnáním pomocné měřické sítě bylo nejprve nutné zpracovat protokol měření z GNSS aparatury, respektive porovnat opakované zaměření na bodech pomocné měřické sítě. Výsledky tohoto porovnání jsou uvedeny v příloze „03.1\_Protokol zpracování družicových měření. Pro výpočet vyrovnání sítě do souboru budou vstupovat body 4009, 4011, 4012, 4013.

Vyrovnání pomocné měřické sítě proběhlo v sw. Groma v. 13.1. Do výpočetního prostředí byl naimportován zápisník z měření a seznam souřadnic bodů, které jsou uvedeny výše, včetně souřadnic nivelační značky umístěné na budově Purkrabí (Národního památkového ústavu). Poté proběhla eliminace hrubých chyb, které vznikly při měření, tyto chyby byly z měření vyloučeny případně opraveny např. číslování bodů.

Po zpracování zápisníku měření byl proveden výpočet přibližných souřadnic bodů polární metodou dávkou. Tyto přibližné souřadnice slouží jako podklad pro následné vyrovnání pomocné měřické sítě.

Vyrovnání sítě se v tomto softwaru provádí pomocí ikony nástroje > vyrovnání sítě. Před vyrovnání sítě je nejprve nutné nastavit parametry sítě, které obsahují identifikační údaje o zakázce, statistické testy, tolerance rozdílů přibližných souřadnic a poté i typ vyrovnání v našem případě to bylo polohové i výškové a parametry těchto vyrovnání. Poté provedeme import seznamu přibližných souřadnic bodů a nastavíme parametry vyrovnání pro každý bod. V mém případě jsou použity parametry na bodech 4009, 4011, 4012 a 4013 poloha Helmert a výška volná, na výchozí nivelační značce bylo nastavení poloha volná a výška pevná, na všech ostatních bodech sítě bylo nastavení polohy i výšky jako volný bod. Poté už jen naimportujeme do prostředí zápisník z měření a provedeme vyrovnání sítě. Výsledky jsou poté uloženy do výpočetního protokolu a seznamu souřadnic. Výsledky vyrovnání sítě jsou uvedeny v příloze „05.1\_Protokol vyrovnání sítě“.

### **Charakteristika přesnosti:**

Dosažená střední souřadnicová chyba  $m_{x,y} = 4,1$  mm

Dosažená střední chyba výšek  $m_h = 1,1$  mm



Toto nastavení vyrovnání pomocné měřické sítě jsou zvolil z důvodu, že chci zachovat co největší relativní přesnost PMS, ale zároveň z důvodu další dokumentace, kterou je nutno vyhotovit v závazném referenčním systému S – JTISK a Bpv. Relativní přesnost sítě je nutno zachovat z důvodu následného testování mračna bodů.

### **5.3 Výpočet podrobného zaměření vlíčovacích a kontrolních bodů**

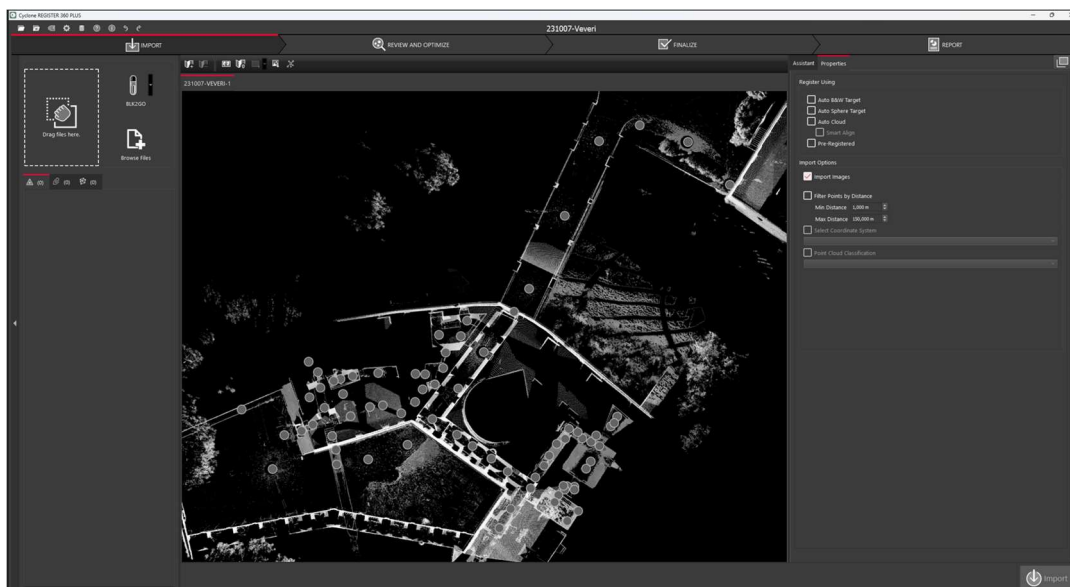
Výpočet souřadnic vlíčovacích a kontrolních bodů byl opět proveden v sw. Groma v. 13.1. Do výpočetního programu byl opět importován zápisník z měření, který je uvedený v části vyrovnání PMS a seznam souřadnic bodů pomocné měřické sítě. Souřadnice těchto bodů jsou převzaty z výsledků vyrovnání pomocné měřické sítě, nikoliv z přibližných výpočtů.

Opět proběhlo zpracování zápisníku měření, kontrola tohoto zpracování a následně jsem vypočetl souřadnice vlíčovacích a kontrolních bodů polární metodou dávkou. Výsledky tohoto zpracování jsou opět uvedeny v seznamu souřadnic a výpočetním protokolu. Výsledky výpočtu polární metodou dávkou jsou uvedeny v příloze „05.2\_Protokol podrobného měření“.

### **5.4 Zpracování mračna bodů v sw. Leica Cyclone REGISTER 360**

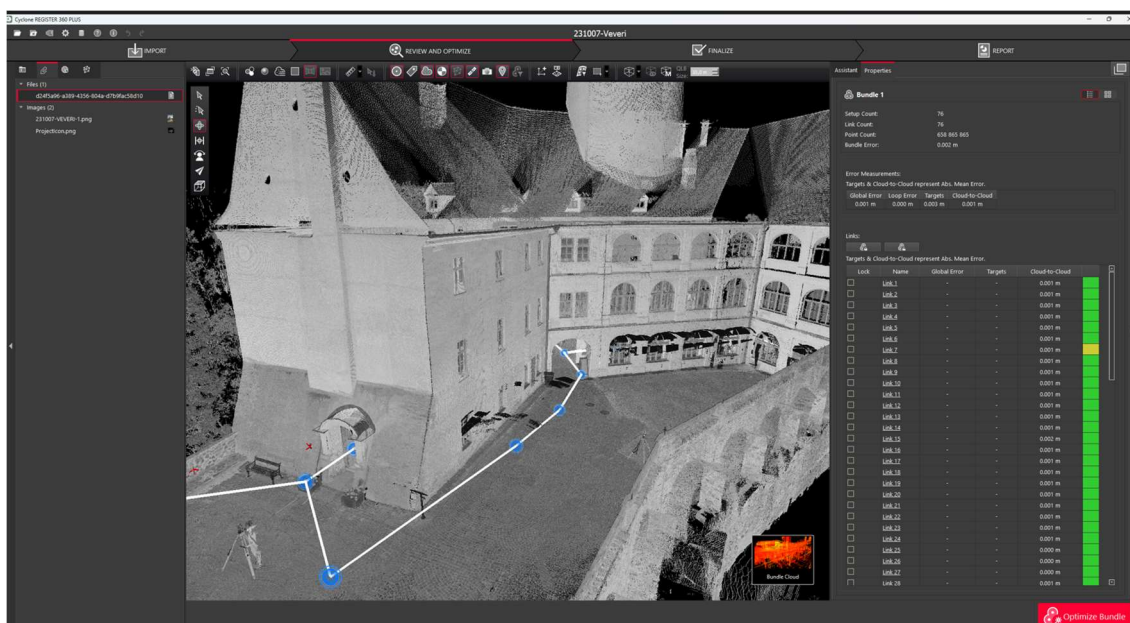
Zpracování mračna bodů proběhlo v softwaru Leica Cyclone REGISTER 360. Tento program umožňuje efektivní registraci a zpracování prostorových dat z laserových skenerů od společnosti Leica Geosystems.

Při zpracování dat z laserového skeneru Leica RTC 360 bylo nejprve nutné v programu Cyclone Register 360 založit nový projekt. Poté je nutné provést import dat z externího flash disku a následně také naimportovat textový soubor se souřadnicemi vlíčovacích a kontrolních bodů.



Obrázek 23 - Základní obrazovka při importu mračka bodů a vřícovacích bodů - Leica Cyclone Register 360

V dalším kroku je nutné zkontrolovat návaznost pre-registrovaných dat mezi jednotlivými stanovisky, chyby transformací cloud – cloud a vizuální návaznost jednotlivých mraček bodů, protože může dojít k tomu, že chyba mračka je 0,001 m, ale při vizuální kontrole dochází ke zdvojení objektů.



Obrázek 24 - Ukázka zpracování pre-registrovaných dat - Leica Cyclone Register 360

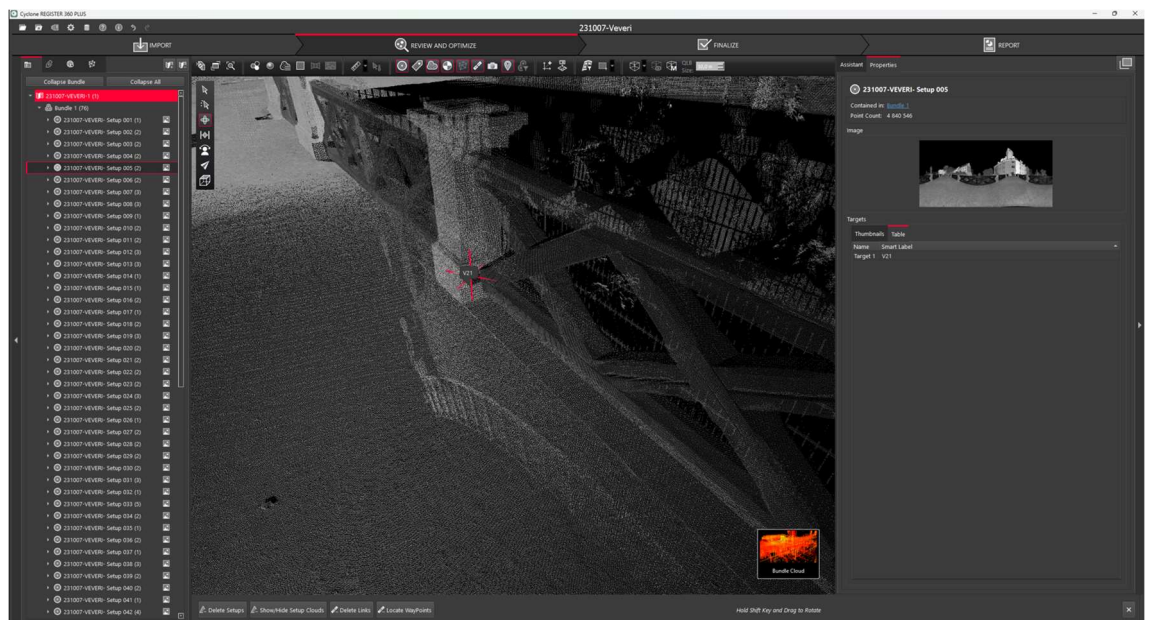
V případě, že máme zkontrolovaná a opravená pre-registrovaná data tak můžeme přejít k transformaci mračna bodů z vlastní souřadnicové soustavy do závazného referenčního souřadnicového systému tedy S-JTSK a Bpv. Tento krok uskutečníme pomocí naimportovaného seznamu souřadnic vřícovacích bodů.

Pro transformaci mračna bodů z vlastní souřadnicové soustavy do S-JTSK je nutné změnit pořadí Y a X souřadnice a obě musí být uvedené jako záporné.

```
V20, -1152779.767, -607971.744, 277.973
V21, -1152779.738, -607971.746, 277.969
V22, -1152789.775, -607947.763, 280.350
V23, -1152786.272, -607941.253, 280.121
V24, -1152785.891, -607935.586, 279.002
V25, -1152787.350, -607935.555, 280.462
V26, -1152783.551, -607934.840, 279.642
V27, -1152765.419, -607929.075, 281.130
```

Obrázek 25 - Ukázka seznamu souřadnic VB

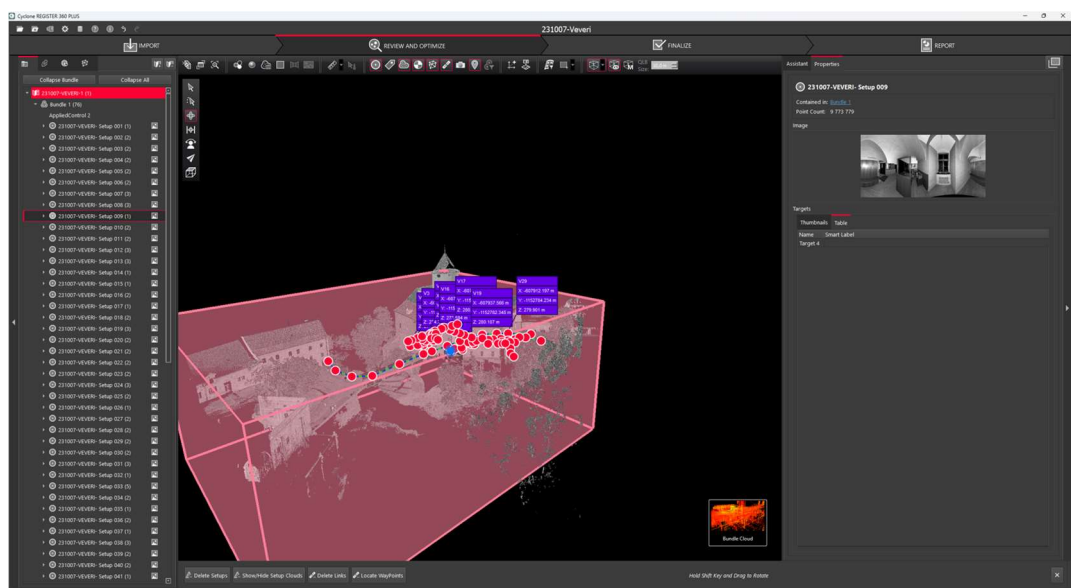
Cyclone REGISTER 360 je schopný po importu seznamu souřadnic vřícovacích bodů automaticky vyhledat vřícovací body pokud jsou signalizované například černo – bílými terči. Nicméně poté je nutné vyhledat označené body a podle fotodokumentace jim přiřadit číslo vřícovacího bodu. Po přidělení příslušného čísla všem vřícovacím bodům provedeme výpočet transformace do S-JTSK a Bpv.



Obrázek 26 - Ukázka automatického vyhledání vřícovacích bodů - Leica Cyclone Register 360

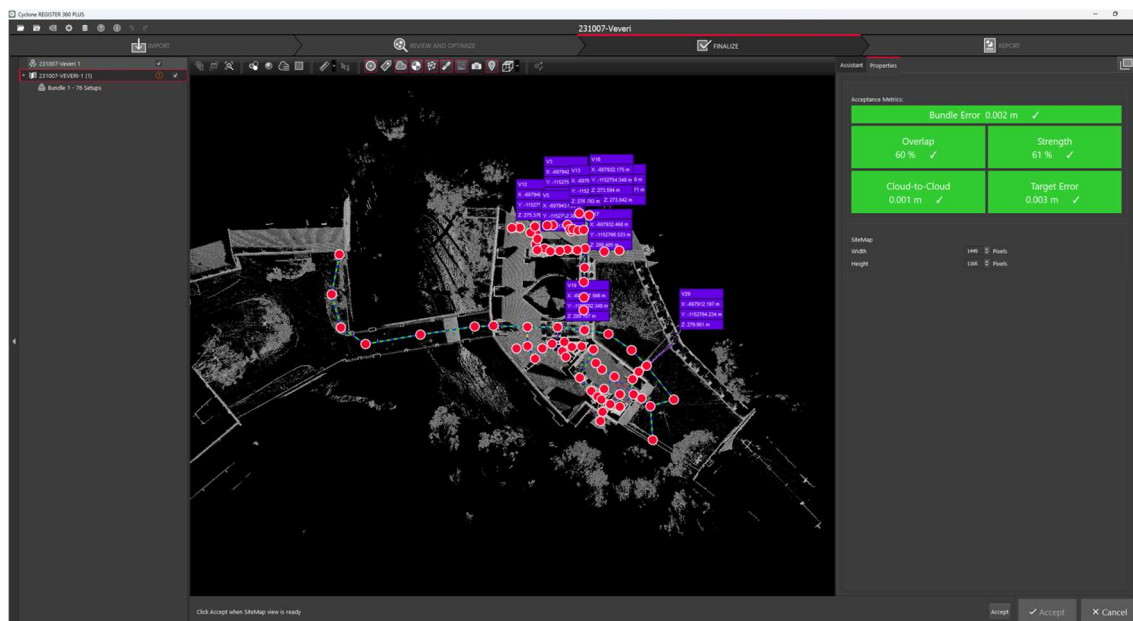
V případě, že máme vypočtenou transformaci mračna bodů zobrazí se nám tabulka s odchylkami na jednotlivých vřícovacích bodech. V případě, že se zde nenacházejí žádné hrubé chyby jako například záměna čísla bodu, můžeme část bodů vybrat jako kontrolní, tedy tyto body nebudou vstupovat přímo do výpočtu transformace modelu, ale jen pro jeho kontrolu. Poté pomocí tlačítka „Re-Apply-Control“ provedeme přepočítání transformace modelu a výslednou tabulku s transformací si uložíme.

V dalším kroku nastavíme „limit box“ tedy oblast, kterou chceme zachovat a zbytek pomocí tohoto kvádrů ořízneme, protože ho v dalším zpracování není potřeba a zbytečně by zatěžoval výpočetní techniku.



Obrázek 27 - Ukázka oříznutí mračna bodů - Leica Cyclone Register 360

Poslední krok zpracování mračna bodů se tvoří v záložce „FINALIZE“ zde se nám zobrazí pohled shora na jednotlivá stanoviště laserového skeneru, vzájemného napojení jednotlivých stanic mezi sebou, chybu v mračnu bodů, průměrný překrytí jednotlivých skenů, chyby transformace cloud to cloud, a střední souřadnicovou odchylku na vřícovacích bodech.



Obrázek 28 - Ukázka výsledků zpracování mračna bodů - Leica Cyclone Register 360

Dokončením všech výpočetních prací přejdeme k exportu protokolu zpracování mračna bodů a exportu transformovaného a registrovaného mračna bodů ve formátu .e57.

## 5.5 Testování přesnosti

Testování přesnosti určení souřadnic a výšek bodů je nedílnou součástí této diplomové práce. Nejprve jsem testoval souřadnice vřícovacích a kontrolních bodů. Následně jsem ověřil absolutní polohu modelu v závazném referenčním systému S – JTSK a Bpv. A poté pomocí kontrolních měř ověřil relativní přesnost modelu.

### 5.5.1 Porovnání opakovaného zaměření vřícovacích bodů

Testování přesnosti opakovaného zaměření proběhlo v sw. Excel. Testování přesnosti vychází ze vzorců uvedených v normě ČSN 01 3410, tuto normu jsem zvolil z důvodu absence normy pro testování přesnosti bodů laserového skenování, ačkoliv jsem si vědom, že ČSN 01 3410 není úplně vhodná. Je to zejména z důvodu, že pro účely mého testování přesnosti je určen nízký počet vřícovacích bodů, jelikož tato norma uvádí, že minimální počet bodů je 100 anebo 5 % z dané lokality, což u metody laserového skenování není možné dodržet.

Testovací kritéria pro 1. třídu přesnosti 5 z 5 testovaných bodů. Výsledky dvojího určení jsou sestaveny v tabulce níže a celý soubor je uvedený v příloze „06.1\_Testování přesnosti opakovaného zaměření vřícovacích bodů“.

Tabulka 3 - Odchylky na jednotlivých vlícovacích bodech

Bod	$\Delta Y$ [m]	$\Delta X$ [m]	$\Delta H$ [m]	$ \Delta p  \leq 1,7 \cdot u_{xy}$	$ \Delta H  \leq u_h \cdot \sqrt{k}$
V19	-0,003	0,002	0,000	0,004	0,000
V29	-0,007	-0,018	0,000	0,019	0,000
1001	0,006	-0,015	-0,006	0,016	0,006
V21	-0,004	0,007	0,002	0,008	0,002
V29	-0,007	0,000	-0,002	0,007	0,002

Tabulka 4 - Výsledek testování přesnosti vlícovacích bodů

$S_y = \sqrt{\frac{1}{k \cdot N} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta Y_i^2}$	0,004	$S_{xy} = \sqrt{0,5 \cdot (s_x^2 + s_y^2)}$	0,006
$S_x = \sqrt{\frac{1}{k \cdot N} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta X_i^2}$	0,008	$S_{xy} \leq \omega_{2N} \cdot u_{xy}$	0,006 ≤ 0,044
$\Delta p_{\max} =$	0,019	$ \Delta p  \leq 0,068$	

$S_H = \sqrt{\frac{1}{k \cdot N} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta H_i^2}$	0,002	$ \Delta H  \leq u_h \cdot \sqrt{k}$	$ \Delta H  \leq 0,085$
$\Delta H_{\max} =$	0,006	$S_H \leq \omega_N \cdot u_h$	0,006 ≤ 0,033

### 5.5.2 Ověření absolutní polohy modelu

Pro ověření absolutní polohy modelu byly použity kontrolní body, určené polární metodou pomocí totální stanice Trimble M3. Tyto body byly rozmístěny rovnoměrně v měřené lokalitě a označeny černo-bílými terči, stejně jako vlícovací body. Rozhodnutí, které body budou vlícovací a které kontrolní, bylo provedeno později v softwaru Cyclone Register. Výsledky transformace mračna bodů a odchylek na kontrolních bodech jsou zobrazeny v následující tabulce.



Tabulka 5 - Odchytky při transformaci na vřicovacích a kontrolních bodech

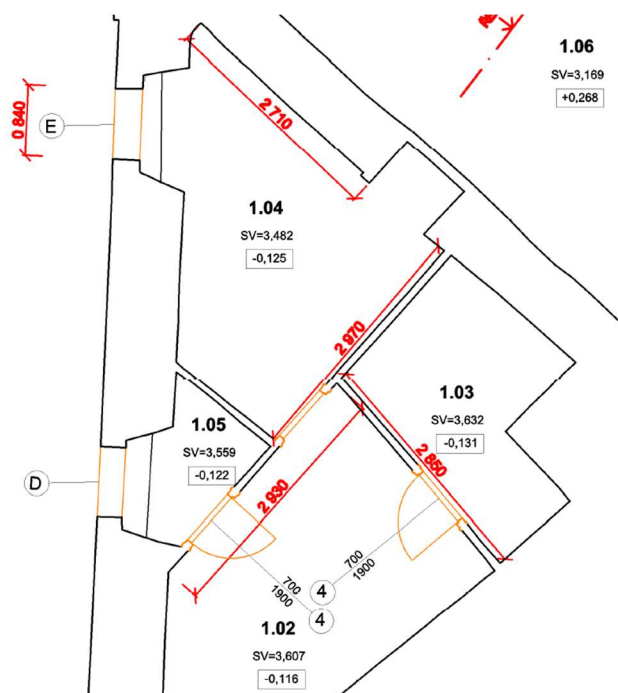
	Label	Setup	Error	Error Vector NEZ	Weight
<input checked="" type="checkbox"/>	V34	231007-VEVERI- Setup_043	0.016 m	0.011 -0.012 -0.001 m	1
<input type="checkbox"/>	V34	231007-VEVERI- Setup_042	0.006 m	-0.004 0.004 0.001 m	1
<input type="checkbox"/>	V30	231007-VEVERI- Setup_031	0.005 m	-0.002 -0.005 0.001 m	1
<input checked="" type="checkbox"/>	V33	231007-VEVERI- Setup_042	0.005 m	-0.005 0.002 0.001 m	1
<input type="checkbox"/>	V29	231007-VEVERI- Setup_029	0.004 m	0.002 0.004 -0.001 m	1
<input checked="" type="checkbox"/>	V32	231007-VEVERI- Setup_039	0.004 m	-0.003 0.002 0.000 m	1
<input checked="" type="checkbox"/>	V31	231007-VEVERI- Setup_038	0.004 m	0.003 0.002 -0.001 m	1
<input type="checkbox"/>	V24	231007-VEVERI- Setup_012	0.003 m	-0.000 0.003 -0.001 m	1
<input type="checkbox"/>	V35	231007-VEVERI- Setup_045	0.003 m	-0.000 0.001 -0.002 m	1
<input checked="" type="checkbox"/>	V26	231007-VEVERI- Setup_014	0.002 m	-0.002 0.000 0.000 m	1
<input checked="" type="checkbox"/>	V40	231007-VEVERI- Setup_041	0.002 m	0.000 0.002 -0.001 m	1
<input checked="" type="checkbox"/>	V37	231007-VEVERI- Setup_049	0.002 m	-0.001 0.001 0.001 m	1
<input checked="" type="checkbox"/>	V19	231007-VEVERI- Setup_018	0.002 m	-0.002 0.001 0.000 m	1
<input checked="" type="checkbox"/>	V36	231007-VEVERI- Setup_047	0.002 m	-0.001 0.002 0.000 m	1
<input type="checkbox"/>	V25	231007-VEVERI- Setup_013	0.001 m	0.001 0.001 0.000 m	1
<input checked="" type="checkbox"/>	V39	231007-VEVERI- Setup_041	0.001 m	-0.001 -0.000 0.001 m	1
<input checked="" type="checkbox"/>	V21	231007-VEVERI- Setup_005	0.001 m	0.001 -0.000 -0.000 m	1
<input type="checkbox"/>	V37	231007-VEVERI- Setup_050	0.001 m	-0.000 0.000 -0.001 m	1
<input checked="" type="checkbox"/>	V37	231007-VEVERI- Setup_048	0.001 m	-0.001 0.000 -0.000 m	1

Do transformace mračna bodů vstupují pouze vřicovací body tedy označené v tabulce, body kontrolní nevstupují do transformace mračna bodů, ale pouze se z nich počítají odchytky na jednotlivých bodech.

### 5.5.3 Ověření relativní přesnosti modelu

Pro ověření relativní přesnosti modelu jsem použil kombinaci dvou metod měření. Jedná se o metodu laserového skenování, kde testuji registrované mračno bodů s metodou kontrolních měř.

Kontrolní míry byly měřeny distem Leica, tak aby byly v mračnu bodů snadno identifikovatelné a zároveň dostatečně charakterizovaly zaměřovaný objekt. Jsou to míry především protilehlých stěn.



Obrázek 29 - Grafické znázornění ověření relativní přesnosti modelu

Výsledky tohoto porovnání jsou uvedeny v příloze „06.2\_Ověření relativní přesnosti modelu“. Z výsledků tohoto porovnání můžeme říci, že žádná z kontrolních měř nepřekročila rozdíl v délce o více než 2 cm.

Tabulka 6 - Ověření relativní přesnosti modelu

OVĚŘENÍ RELATIVNÍ PŘESNOSTI MODELU			
Č. O.	Leica RTC 360	Disto Leica	Diference
	[mm]	[mm]	[mm]
1	1490	1480	10
2	5980	5960	20
3	1080	1080	0
4	2930	2940	-10
5	2850	2850	0
6	2970	2960	10
7	2710	2700	10
8	840	830	10
9	4650	4670	-20
10	1350	1350	0
11	1970	1970	0
12	4110	4110	0
13	1050	1060	-10
14	3830	3830	0
15	1430	1430	0



## 6 GRAFICKÉ ZPRACOVÁNÍ

V rámci této kapitoly se zaměříme na grafické zpracování měřické dokumentace jiho-východní části Paláce s břítovou věží hradu Veveří, které bylo provedeno s využitím specifických softwarů a metodik.

Klíčovým zdrojem informací pro grafické zpracování byla metodická publikace „Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči“ od Jana Veselého, vydaná Národním památkovým ústavem v Praze v roce 2014. Tato publikace poskytuje podrobné informace o přístupech k měřické dokumentaci, specifických potřebách a spolupráci mezi památkáři a zeměměřiči.

Dále byly využity aktuální technická norma ČSN 01 3420, která byla taktéž klíčová pro správné zpracování výkresů a dokumentaci dle předpisů pro tvorbu výkresů stavebních částí.

Výsledkem grafického zpracování jsou detailní výkresy zahrnující půdorysy, řezy a pohledy na objekt z různých úhlů. Tyto výkresy jednak ukazují současný stav objektu, ale také poskytují důležitou dokumentaci pro následnou projekční a restaurátorskou činnost.

### 6.1 Grafický software

#### 6.1.1 Autodesk ReCap PRO 2024

Autodesk ReCap PRO je pokročilý software od společnosti Autodesk, určený pro práci s mračny bodů. Hlavní účel spočívá ve zpracování, editaci a správě 3D dat.

Software nabízí nástroje pro čištění a optimalizaci mračen bodů, což zahrnuje odstranění nadbytečných bodů, zlepšení kvality dat a snížení velikosti souborů pro snadnější manipulaci.

Což bylo s ohledem na můj hardware klíčovou vlastností proč jsem se rozhodl částečně zpracovat mračna bodů právě v tomto programu.

Grafické zpracování v programu Autodesk ReCap PRO 2024 se liší od programu Leica Cyclone Register 360 tím, že v ReCap PRO jsem zpracovával už registrované mračno bodů. V tomto programu je taktéž nutné vytvořit nový projekt, následně naimportovat registrované mračno bodů v mém případě ve formátu „e57“ a následně jsem si pomocí funkce „Limit box“ mračno bodů ořízl na požadovaný rozsah.

Výsledkem je zpracované mračno bodů v Autodesk formátu „rcp“, které je nutné pro zpracování mračna bodů v sw. Autocad a také zobrazuje požadovaný rozsah pro vytvoření následné výkresové dokumentace.

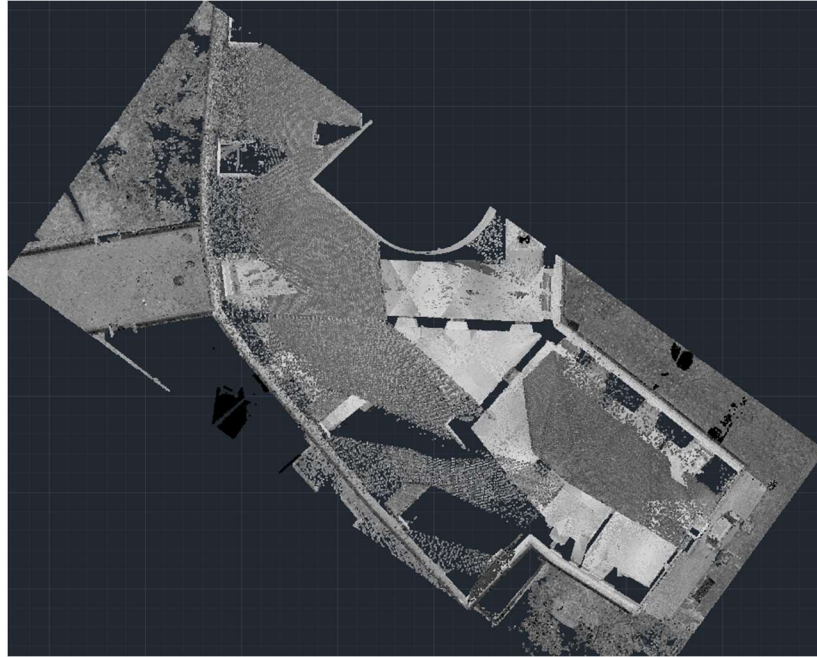
Software ReCap PRO má využití i v pozdějších fázích zpracování výkresové dokumentace, zejména pro měření rozměrů dveří, oken, relativních výšek jednotlivých pokojů od nulové roviny atd.

### **6.1.2 Autodesk AutoCAD 2024**

Autodesk AutoCAD je pokročilý software vyvinutý společností Autodesk, určený pro tvorbu 2D a 3D výkresů. Nabízí rozsáhlé množství nastavení a pokročilých funkcí, například pro kótování, textové anotace a správu vrstev. Software AutoCAD představuje komplexní nástroj pro technické výkresy, což ho činí ideálním softwarem pro moji diplomovou práci.

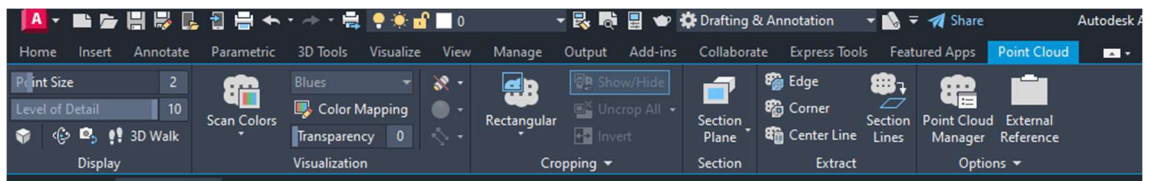
Grafické zpracování v sw. AutoCAD je intuitivní jak při tvorbě 2D dokumentace, tak při práci ve 3D, kde jsem zpracovával mračno bodů. Nejprve je nutné nastavit správné měřítko jednotek, které je standardně nastaveno na milimetry. Většina nastavení se provádí pomocí příkazů v příkazovém řádku, konkrétně nastavení jednotek výkresu se provádí příkazem „Units“. Následně do seznamu vrstev přidáme všechny požadované vrstvy s odpovídajícími atributy a můžeme přejít ke zpracování mračna bodů.

Import mračna bodů se provádí pomocí ikony „Insert > Attach“, kde vybereme naše mračno bodů ve formátu „rcp“, což je formát Autodesk získaný ze zpracování mračna bodů v programu Autodesk ReCap Pro. Po naimportování mračna bodů toto mračno přesuneme do vrstvy point cloud kvůli dalšímu zpracování.



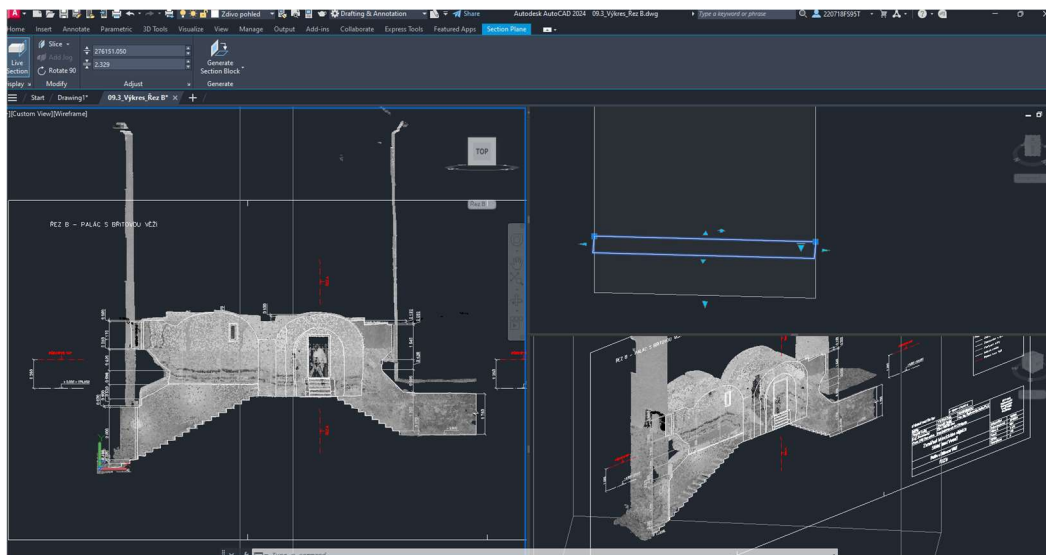
Obrázek 30 - Naimportované mračno bodů v sw. Autocad 2024

Poté označíme mračno bodů a zobrazí se nám lišta pro další zpracování mračna bodů.



Obrázek 31 - Nabídka na zpracování mračna bodů v sw. Autocad 2024

V záložce „Rectangular“ nastavíme výřez na požadovanou část mračna bodů, velikost zobrazených bodů, detailnost nebo barvy mračna bodů. Následně nastavíme „Section Plane“, kde vybereme, jak potřebujeme mračno bodů ořezat. Při označení tohoto ořezu můžeme nastavit typ ořezu na „Slice“, což je výhodné zejména při kreslení pohledů na fasádu, řezů nebo tvorbě půdorysů. Další důležitou funkcí je nastavení pohledu pomocí ikony „View > Viewport Configuration > Three: Left“. Toto nastavení nám umožní rozdělit pracovní plochu na tři okna, kde v prvním máme pohled shora na výkres, ve druhém pomocí „Section Plane“ ovládáme pohled na mračna a v posledním okně kontrolujeme výkres ve 3D.



Obrázek 32 - Ukázka rozdělení pracovní plochy v sw. Autocad 2024 při zpracování 3D výkresů

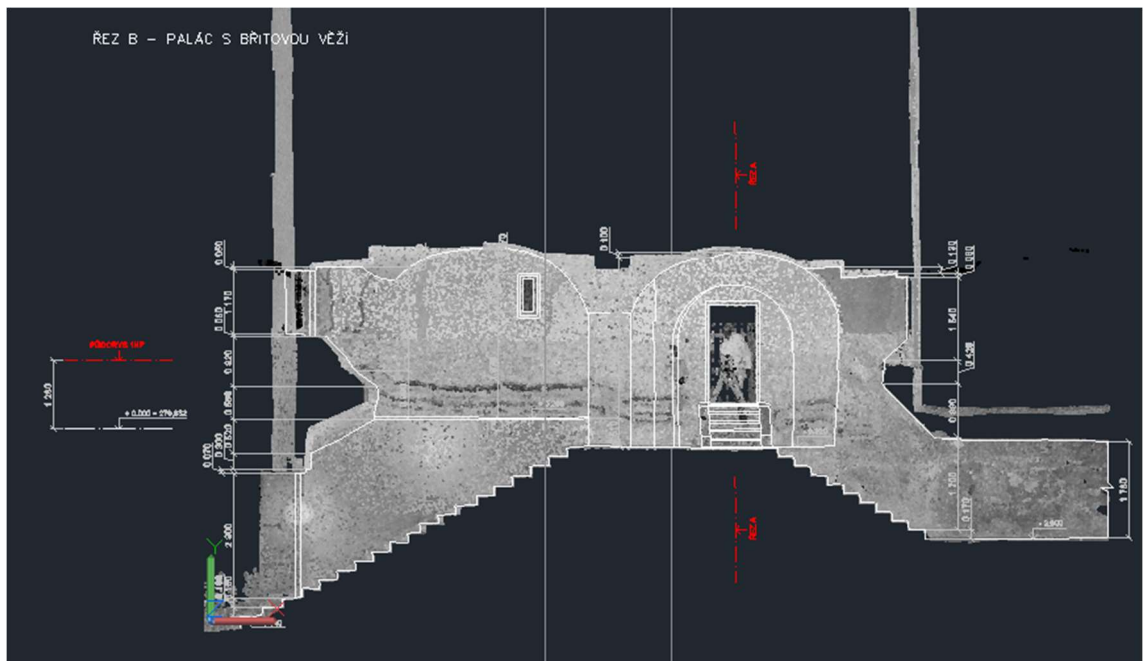
Můžeme také nastavit velikost zobrazených bodů, detailnost nebo barvy mračna bodů například podle výšky, což je výhodné při zpracování historických stropů.

V neposlední řadě musíme správně nastavit UCS (User Coordinate System), což nám umožňuje pracovat ve vlastním souřadnicovém systému. To je obzvlášť důležité při kreslení ve 3D, kde by se nám jinak kresba nezobrazovala v požadované rovině, ale v rovině s hodnotou 0. Pro nastavení tohoto systému vložíme do mračna bodů „Box“ ze záložky „3D Tools“ a nastavíme hranu tohoto objektu do požadované roviny. Poté pomocí příkazu „UCS“ nastavíme UCS tak, že natočíme osu X podélně a osu Y příčně. Toto nastavení uložíme a pojmenujeme pro lepší orientaci v souřadnicových systémech. Nakonec zamkneme vrstvu point cloud a vrstvu obsahující box, aby nedošlo k nechtěnému posunu mračna bodů.

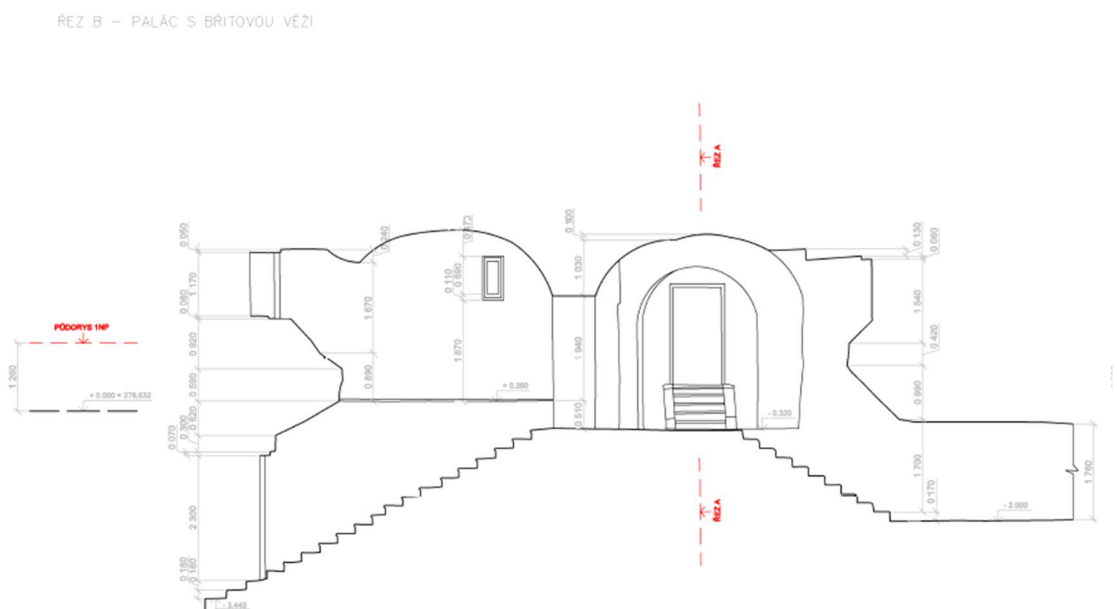
To by bylo vše potřebné pro zpracování stavební a výkresové dokumentace. Výsledkem zpracování v AutoCAD 2024 je půdorys části hradu Veverí, pohledy na fasádu a podélné řezy. Niž jsou uvedeny ukázky z jednotlivých částí stavební dokumentace.

## 6.2 Ukázky grafického zpracování stavebních výkresů

### 6.2.1 Ukázka řezu B – Palác s břitovou věží



Obrázek 33 - Řez B – Palác s břitovou věží v sw. Autocad

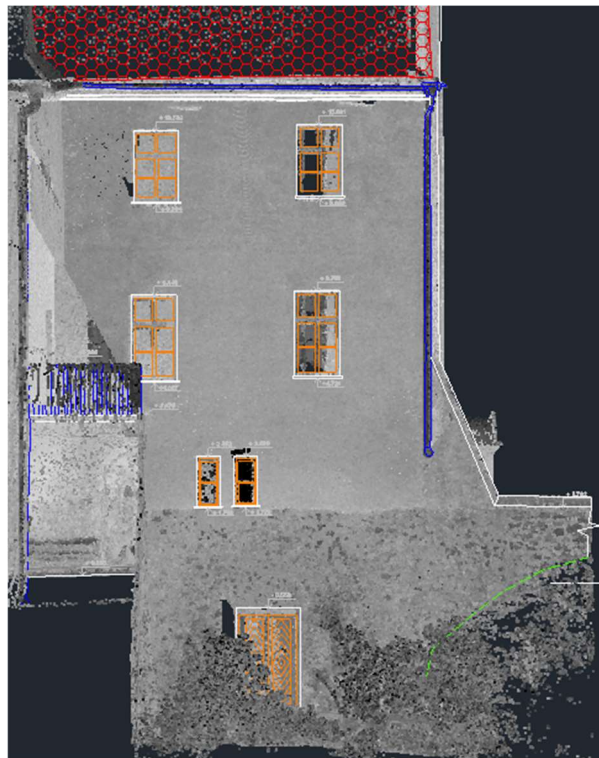


Obrázek 34 - Řez B-Palác s břitovou věží

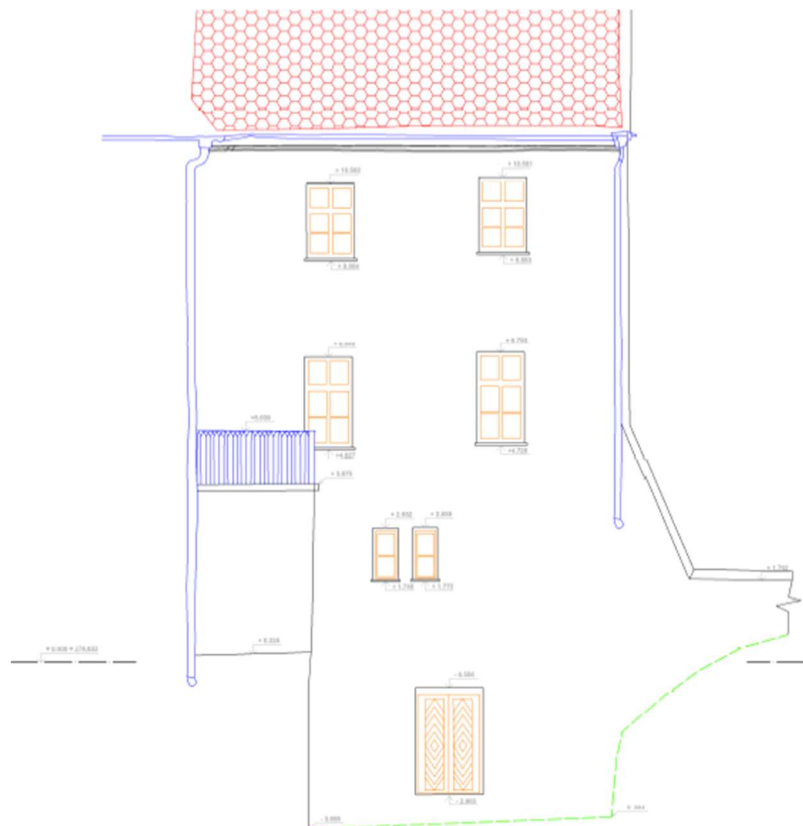




### 6.2.3 Ukázka JZ pohledu – Palác s břitovou věží



Obrázek 37 - Pohled JZ – Palác s břitovou věží v sw. Autocad



Obrázek 38 - Pohled JZ-Palác s břitovou věží

## 7 ZÁVĚR

V rámci této diplomové práce byla provedena detailní měřická a stavební dokumentace jiho-východní části Paláce s britovou věží hradu Veveří. V tomto projektu jsem se zaměřil na aplikaci moderních geodetických metod a technologií, především metody laserového skenování, která umožnila získat přesné a detailní údaje o geometrii a struktuře měřeného objektu. Tato metoda byla zvolena zejména pro její schopnost zachytit komplexní informace o objektu, což je zásadní pro účely památkové péče.

Zpracování a výpočet klasického geodetického měření a metody laserového skenování proběhlo v sw. Groma; Microsoft Excel; Leica Cyclone REGISTER 360. Tyto softwary mi umožnily efektivní výpočty a zpracování dat, jejichž výsledky jsou uvedeny v přílohách k této diplomové práci.

Hlavním cílem této práce bylo vytvoření stavebních výkresů. Výkresy detailně dokumentují současný stav části hradu Veveří. Tyto stavební výkresy by nebylo možné vytvořit bez příslušného grafického softwaru jako je Autodesk ReCap PRO; Autodesk AutoCaD 2024.

Výsledkem diplomové práce jsou protokoly o výpočtech, soubory s testováním přesnosti měření, seznamy souřadnic, technické zprávy a stavební dokumentace v podobě stavebních výkresů.

Závěrem, diplomová práce poskytla komplexní řešení pro dokumentaci a analýzu části hradu Veveří, což je přínosné nejen pro účely geodetů, ale především pro oblast památkové péče.



## 8 PŘÍLOHY

### 8.1 Seznam zkratk

GNSS – Global Navigation Satellite System

RTK – Real Time Kinematic

LOC – Level of Completeness - Úroveň úplnosti

LOA – Level of Accuracy - Úroveň přesnosti

LOD - Level of Detail - Úroveň detailu

DOF – Depth of Field - Hloubka ostrosti

FOV – Field of View – Zorné pole

RMS – Root Mean Square – Kvadratická chyba

HDR – High Dynamic Range

BIM – Building Information Moedeling

VIS – Visual Inertial System

ČSN – Česká státní norma

PMS – Pomocná měřické síť

PPM – Parts Per Milion

SW – Software

S-JTSK – Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

Bpv – Balt po vyrovnání

UCS – User Coordinate System

## 8.2 Seznam obrázků

Obrázek 1 - hrad Veveří.....	11
Obrázek 2- Pohled na hrad Veveří rok 1840 .....	12
Obrázek 3 - hrad Veveří ohraničení zájmové lokality .....	13
Obrázek 4 - Schéma prostorové polární metody [5].....	17
Obrázek 5 - Schéma jednotlivých segmentů GNSS [22].....	18
Obrázek 6 - Schéma RTK metody [21] .....	19
Obrázek 7 - Ukázka mračna bodů.....	21
Obrázek 8 - Ukázka základní dokumentace [7].....	24
Obrázek 9 - Ukázka vnitřních prostor zájmové lokality .....	26
Obrázek 10 - Ukázka dočasné stabilizace bodů pomocné měřické sítě .....	27
Obrázek 11 - Ukázka rozmístění vlíčovacích a kontrolních bodů.....	28
Obrázek 12 - Totální stanice Trimble M3 .....	29
Obrázek 13 - GNSS přijímač Trimble R8s .....	30
Obrázek 14 - Laserový skener Leica RTC 360.....	31
Obrázek 15 - Leica RTC360 a Leica Cyclone FIELD 360 mobilní aplikace [22] .....	32
Obrázek 16 - Ukázka upevnění přijímače Trimble R8s při měření .....	34
Obrázek 17 - Ukázka zaměření vlíčovacích bodů .....	35
Obrázek 18 - Ukázka napojení stanovisek metodou cloud to cloud Leica FIELD 360..	37
Obrázek 19 - 3D pohled Leica FIELD 360      Obrázek 20 - Přehled stanovisek Leica FIELD 360 .....	38
Obrázek 21 - Schéma řešení společnosti Leica Geosystems [23] .....	38
Obrázek 22 - Ukázka uživatelského prostředí - Leica Cyclone Register 360 .....	39
Obrázek 23 - Základní obrazovka při importu mračna bodů a vlíčovacích bodů - Leica Cyclone Register 360.....	42
Obrázek 24 - Ukázka zpracování pre-registrovaných dat - Leica Cyclone Register 360	42
Obrázek 25 - Ukázka seznamu souřadnic VB .....	43

Obrázek 26 - Ukázka automatického vyhledání vlíčovacích bodů - Leica Cyclone Register 360.....	43
Obrázek 27 - Ukázka oříznutí mračna bodů - Leica Cyclone Register 360 .....	44
Obrázek 28 - Ukázka výsledků zpracování mračna bodů - Leica Cyclone Register 360 .....	45
Obrázek 29 - Grafické znázornění ověření relativní přesnosti modelu .....	48
Obrázek 30 - Naimportované mračno bodů v sw. Autocad 2024.....	51
Obrázek 31 - Nabídka na zpracování mračna bodů v sw. Autocad 2024.....	51
Obrázek 32 - Ukázka rozdělení pracovní plochy v sw. Autocad 2024 při zpracování 3D výkresů.....	52
Obrázek 33 - Řez B – Palác s břitovou věží v sw. Autocad .....	53
Obrázek 34 - Řez B-Palác s břitovou věží .....	53
Obrázek 35 - Ukázka členitosti stropů v sw. Autocad – Palác s břitovou věží .....	54
Obrázek 36 - Ukázka zpracování části půdorysu 1 NP-Palác s břitovou věží.....	54
Obrázek 37 - Pohled JZ –Palác s břitovou věží v sw. Autocad .....	55
Obrázek 38 - Pohled JZ-Palác s břitovou věží.....	55

### 8.3 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Výsledky ověření součtové konstanty pro hranol č. 1.....	33
Tabulka 2 - Možnosti nastavení laserového skenování u přístroje Leica RTC 360 [23] 36	
Tabulka 3 - Odchytky na jednotlivých vlíčovacích bodech .....	46
Tabulka 4 - Výsledek testování přesnosti vlíčovacích bodů.....	46
Tabulka 5 - Odchytky při transformaci na vlíčovacích a kontrolních bodech.....	47
Tabulka 6 - Ověření relativní přesnosti modelu .....	48

## **8.4 Seznam příloh k praktické části diplomové práci**

### **01\_Technická zpráva (.pdf)**

### **02\_Průvodní zpráva (.pdf)**

### **03\_Zpracování družicových měření**

03.1\_Protokol zpracování družicových měření (.pdf)

### **04\_Ověření součtové konstanty hranolů**

04.1\_Protokol ověření součtové konstanty hranolů (.pdf)

### **05\_Protokoly o výpočtech**

05.1\_Protokol vyrovnání sítě (.pdf)

05.2\_Protokol podrobného měření (.pdf)

05.3\_Protokol Cyclone – Modelu (.pdf)

### **06\_Testování přesnosti**

06.1\_Porovnání opakovaného zaměření vřícovacích bodů (.pdf)

### **07\_Seznamy souřadnic**

07.1 Seznam souřadnic - Vyrovnání sítě (.pdf)

07.2 Seznam souřadnic – Podrobných bodů (.pdf)

### **08\_Ověření relativní přesnosti modelu**

08.1\_Ověření relativní přesnosti modelu (.pdf; .dgn)

### **09\_Výkresy**

09.1\_Výkres\_Půdorys (.pdf; .dwg)

09.2\_Výkres Řez A (.pdf; .dwg)

09.3\_Výkres Řez B (.pdf; .dwg)

09.4\_Výkres\_Pohled SV (.pdf; .dwg)

09.5\_Výkres\_Pohled JV (.pdf; .dwg)

09.6\_Výkres\_Pohled JZ (.pdf; .dwg)

## 9 SEZNAM ZDROJŮ

- [1] – BUČEK, Ondřej. Vevěří jako přemyslovský a lucemburský markraběcí hrad (1213-1411). Brno: Masarykova univerzita, Filozofická fakulta, Historický ústav, 2018. Dostupné z: [https://is.muni.cz/th/ktaua/Diplomova\\_prace\\_-\\_finalni.pdf](https://is.muni.cz/th/ktaua/Diplomova_prace_-_finalni.pdf) [5.5.2024].
- [2] – TUČKA, Otakar, FLODROVÁ, Milena a ŠRÁMKOVÁ, Marta. Hrad Vevěří: historie a současnost = Vevěří Castle: the history and nowadays = Burg Vevěří: Geschichte und Gegenwart. Brno: Simon Ryšavý, 2014. 83 s. ISBN 978-80-7354-126-2.
- [3] – ŠVÁBENSKÝ, Otakar, VITULA, Alexej a BUREŠ, Jiří. Inženýrská geodézie I: Geodézie ve stavebnictví. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2006.
- [4] – ŠTRONER, Martin. Teorie chyb a vyrovnávací počet 1: Vyrovnání geodetické sítě volné, vázané. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. Dostupné z: [https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/TCH1/tch\\_pred\\_A.pdf](https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/TCH1/tch_pred_A.pdf) [5.5.2024].
- [5] – ŠTRONER, Martin. Geodézie 2. Měření při účelovém mapování a dokumentaci skutečného provedení budov. Praha. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. Dostupné z: [https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/GEY2/pred\\_5\\_Metrologie\\_Ucelove\\_mapovani.pdf](https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/GEY2/pred_5_Metrologie_Ucelove_mapovani.pdf) [5.5.2024].
- [6] – URBAN, Rudolf. Geodézie 3: Trigonometrická metoda. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. Dostupné z: [https://k154.fsv.cvut.cz/~urban/GED2/154GED2\\_Geod%C3%A9zie\\_3.pptx](https://k154.fsv.cvut.cz/~urban/GED2/154GED2_Geod%C3%A9zie_3.pptx) [5.5.2024].
- [7] – VESELÝ, Jan. Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči. Praha: Národní památkový ústav, ÚOP středních Čech, 2014. Edice odborná a metodická publikace, svazek 49. ISBN 978-80-86516-79-0.
- [8] – BUREŠ, Jiří. Vybraná realizovaná technologická řešení v inženýrské geodézii. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2017. Habilitační práce.
- [9] – QU, Xuanyu, SHU, Bao, DING, Xiaoli, LU, Yangwei, LI, Guopeng a WANG, Li. Experimental Study of Accuracy of High-Rate GNSS in Context of Structural Health Monitoring. Remote Sensing. 2022, 14(19), 4989. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14194989> Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/19/4989> [5.5.2024].
- [10] – YU, Jiayong, MENG, Xiaolin, SHAO, Xudong, YAN, Banfu a YANG, Lei. Identification of dynamic displacements and modal frequencies of a medium-span suspension bridge using multimode GNSS processing. Engineering Structures. 2014, vol. 81, s. 432-443. ISSN 0141-0296. Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029614006154>. DOI: 10.1016/j.engstruct.2014.10.010 [5.5.2024].
- [11] – ŠVÁBENSKÝ, Otakar, VITULA, Alexej a BUREŠ, Jiří. Inženýrská geodézie I: Návody ke cvičením. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2006.

- [12] – Novatel, What are Navigation Satellite Systems GNSS, Dostupné z: <https://novatel.com/tech-talk/an-introduction-to-gnss/what-are-global-navigation-satellite-systems-gnss> [5.5.2024].
- [13] – Ground Penetrating Radar Systems, Dostupné z: <https://www.gp-radar.com/article/3d-laser-scanning-explained> [5.5.2024].
- [14] – LENDA, Grzegorz a MARMOŁ, Urszula. Integration of high-precision UAV laser scanning and terrestrial scanning measurements for determining the shape of a water tower. *Measurement*. 2023, vol. 218, 113178. ISSN 0263-2241. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.113178>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026322412300742X> [5.5.2024].
- [15] – GEOTRONICS Praha s.r.o., Technický popis totální stanice Trimble M3, Dostupné z: [https://geotronics.cz/wp-content/uploads/2016/05/022543-155J-CZE\\_TrimbleM3\\_DS\\_A4\\_0414\\_LR-00000002.pdf](https://geotronics.cz/wp-content/uploads/2016/05/022543-155J-CZE_TrimbleM3_DS_A4_0414_LR-00000002.pdf) [5.5.2024].
- [16] – GEOTRONICS Praha s.r.o., Technický popis Trimble R8s GNSS přijímač, Dostupné z: [https://geotronics.cz/wp-content/uploads/2016/05/022516-130-CZE\\_TrimbleR8s\\_DS\\_A4\\_0415\\_LR\\_Geotronics.pdf](https://geotronics.cz/wp-content/uploads/2016/05/022516-130-CZE_TrimbleR8s_DS_A4_0415_LR_Geotronics.pdf) [5.5.2024].
- [17] - Leica Geosystems AG., Heerbrugg, Switzerland: Leica RTC360 3D Reality Capture solution, Dostupné z: [https://www.sunbeltsales.co.uk/legacy/survey/media/vortex\\_resources/assets/datasheet-leica-rtc360-laser-scanner.pdf](https://www.sunbeltsales.co.uk/legacy/survey/media/vortex_resources/assets/datasheet-leica-rtc360-laser-scanner.pdf) [5.5.2024].
- [18] – XIANG, Sihua, CHEN, Sihai, WU, Xin, XIAO, Ding a ZHENG, Xiawei. Study on fast linear scanning for a new laser scanner. *Optics & Laser Technology*. 2010, vol. 42, no. 1, s. 42-46. ISSN 0030-3992. Dostupné také z: <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2009.04.019> [5.5.2024].
- [19] – ARYAN, Afrooz, BOSCHÉ, Frédéric a TANG, Pingbo. Planning for terrestrial laser scanning in construction: A review. *Automation in Construction*. 2021, vol. 125, 103551. ISSN 0926-5805. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103551>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580521000029> [5.5.2024]
- [20] – ŠTRONER, Martin. Geodézie 2. Moderní geodetické měřické technologie (GNSS, 3D skenování, DPZ, Fotogrammetrie). Praha. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. Dostupné z: [https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/GEY2/pred\\_3\\_Metrologie\\_Moderni\\_pristroje.pdf](https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/GEY2/pred_3_Metrologie_Moderni_pristroje.pdf) [5.5.2024].
- [21] – ŠIKOLA, Jan. Testování GNSS modulu uBlox 9. generace. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra geomatiky, 2020. Diplomová práce. Vedoucí práce Ing. Zdeněk Vyskočil, Ph.D.

[22] – Leica Geosystems AG., Heerbrugg, Switzerland: Leica Cyclone FIELD 360,  
Dostupné z:  
[https://lfgm.fsv.cvut.cz/content/events/telc2018/texty/SEKCE%20A/6\\_DSantora.pdf](https://lfgm.fsv.cvut.cz/content/events/telc2018/texty/SEKCE%20A/6_DSantora.pdf)  
[5.5.2024].

[23] – Leica Geosystems AG., Heerbrugg, Switzerland: Leica Cyclone FIELD 360,  
Dostupné z:  
[https://lfgm.fsv.cvut.cz/content/events/telc2018/texty/SEKCE%20A/6\\_DSantora.pdf](https://lfgm.fsv.cvut.cz/content/events/telc2018/texty/SEKCE%20A/6_DSantora.pdf)

[24] – ŠTRONER, Martin. Teorie chyb a vyrovnávací počet 1. Vyrovnání geodetické sítě volné a vázané. Praha. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.  
Dostupné z: [https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/TCH1/tch\\_pred\\_A.pdf](https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/TCH1/tch_pred_A.pdf) [5.5.2024].