

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ
STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Státní zámek Valeč (Karlovy Vary) – měřická dokumentace skleníku

Vedoucí práce Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.

Katedra geomatiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Belecká Jméno: Sabina Osobní číslo: 477250
Zadávací katedra: Katedra geomatiky - K155
Studijní program: N0732A260020 - Geodézie a kartografie
Studijní obor: 36T0GKIG - Inženýrská geodézie

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Státní zámek Valeč (Karlovy Vary) - měřická dokumentace skleníku

Název diplomové práce anglicky: Valeč Castle (Karlovy Vary) - metrical documentation of glasshouse

Pokyny pro vypracování:

- ve spolupráci se zadavatelem provedte rekognoskaci zaměřovaného prostoru a definujte typ, parametry a rozsah výstupů projektu,
- navrhnete vhodné měřické metody a technologické postupy pro vytvoření definovaných výstupů,
- proveďte měřické práce v zájmovém území v nezbytném rozsahu s důrazem na možnosti kontroly přesnosti,
- zpracujte pořízená data do podoby výstupů,
- shrňte dosažené výsledky a zhodnoťte jejich přesnost a vypovídací schopnost v kontextu dalšího využití zadavatelem

Seznam doporučené literatury:

ZÍMA, Michal. Ulice Havelská (Praha 1) - měřická dokumentace podloubí domů č.p. 504 - 512. diplomová práce; Praha: Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2021.

VÁŠOVÁ, Barbora. Novoměstská radnice v Praze - měřická dokumentace Mázhausu. diplomová práce; Praha: Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2019.

NOVOTNÝ, Radek. Kostel Stěti sv. Jana Křtitele Dolní Chabry (Praha) - dílčí měřická dokumentace. diplomová práce; Praha: Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2020.

VESELÝ, Jan. Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči. V Praze: Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště středních Čech v Praze ve spolupráci s Národním památkovým ústavem, generálním ředitelstvím, 2014. Odborné a metodické publikace (Národní památkový ústav)

NOVÝ, Miroslav a Eliška, NOVÁ. Valeč - skleník v areálu státního zámku č.p. 1. stavebněhistorický průzkum; Ústí n. Labem, 2009.

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 16. února 2022 Termín odevzdání DP v IS KOS: 15. května 2022
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové 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“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou prací na téma *Statní zámek Valeč (Karlovy Vary) – měřická dokumentace skleníku* zpracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze dne

.....

(podpis autora)



Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Jindřichovi Hodačovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a pomoc při zpracování této práce a během měřických pracích v terénu. Za pomoc při měření a pořízení fotodokumentace bych dále chtěla poděkovat mému spolužákovi Bc. Adamovi Hrdinovi. Děkuji také zadavateli Mgr. Jakubovi Chaloupkovi za vstřícnost, ochotu a poskytnutí potřebných informací a podkladů.



Abstrakt

Diplomová práce se zabývá měřickou dokumentací skleníku v areálu Státního zámku Valeč. Toto téma vzniklo ve spolupráci se správou zámku a pracovníkem Národního památkového ústavu. Na začátku práce je popsána lokalita a zaměřovaný objekt. Následuje objasnění používaných měřických metod a způsob sběru dat v terénu. Největší část je pak věnována postupu zpracování dat a tvorbě výstupů. Na závěr jsou shrnuty dosažené výsledky, okomentována je také přesnost měření.

Klíčová slova

zámek Valeč, skleník, laserové skenování, mračno bodů, měřická dokumentace, CloudCompare, Leica BLK360, Microstation, Agisoft Metashape, Groma, fotogrammetrie, síťový model

Abstract

This diploma thesis deals with the metrical documentation of the glasshouse in the Valeč Castle area. This subject was created in cooperation with the castle administration and an employee of the National Heritage Institute. Thesis begins with a description of the glasshouse and its location followed by the explanation of the used metrical methods and the ways of data collection in the field. The largest part is dedicated to the methods of data processing and outputs creation. Final section summarizes the achieved results and also comments on the measurements accuracy.

Key words

Valeč castle, glasshouse, laser scanning, point cloud, metrical documentation, CloudCompare, Leica BLK360, Microstation, Agisoft Metashape, Groma, photogrammetry, mesh



Seznam použitých zkratk

ČSN	Česká státní norma
DMP	Digitální model povrchu
FTG	Fotogrammetrie
HDR	High Dynamic Range (vysoký dynamický rozsah)
IBMR	Image Based Modeling and Rendering (metoda modelování založená na snímcích)
IMU	Inertial Measurement Unit (inerciální měřicí jednotka)
NPÚ	Národní památkový ústav
RGB	Red - Green - Blue (barevný model: červená – zelená – modrá)
TS	Totální stanice
VB	Vlícovací bod



Obsah

Úvod.....	9
1 Popis lokality a objektu	10
1.1 Valeč.....	10
1.2 Zámek Valeč.....	10
1.3 Valečský zámecký skleník	11
1.3.1 Sedlový skleník	13
1.3.2 Pultový skleník.....	15
2 Měřická dokumentace	17
2.1 Používané metody při měřické dokumentaci	18
2.1.1 Polární metoda	19
2.1.2 Laserové skenování.....	19
2.1.3 Fotogrammetrické metody	20
3 Práce v terénu.....	22
3.1 Použité přístroje a pomůcky při měření.....	22
3.1.1 Laserový skener Leica BLK360.....	22
3.1.2 Totální stanice Leica TS06.....	23
3.1.3 Digitální fotoaparát Nikon D7100 + objektiv	24
3.1.4 Další měřické pomůcky.....	24
3.2 Sběr dat.....	25
3.2.1 Laserové skenování.....	25
3.2.2 Měření totální stanicí.....	26
3.2.3 Pořízení snímků.....	27
4 Zpracování naměřených dat	29
4.1 Použité programy	29
4.1.1 CloudCompare	29
4.1.2 Leica Cyclone REGISTER 360	30
4.1.3 Groma.....	30
4.1.4 MicroStation.....	30
4.1.5 Agisoft Metashape	31
4.2 Zpracování dat ze skeneru	31
4.2.1 Registrace mračen	32
4.2.2 Oříznutí mračen a filtrace šumu.....	33
4.2.3 Tvorba síťového modelu	42



4.3	Zpracování dat z totální stanice	47
4.4	Tvorba výkresů	47
4.5	Fotogrammetrická dokumentace vybraných detailů	52
5	Výstupy dokumentace	58
5.1	Mračno bodů	58
5.2	Výkresová dokumentace	58
5.3	3D modely detailů konstrukce	59
5.4	Vizualizace	59
5.5	Fotodokumentace	59
6	Porovnání výsledků laserového skenování s výsledky fotogrammetrie	60
7	Zhodnocení přesnosti naměřených dat	64
7.1	Hodnocení kvality registrace mračna	64
7.2	Kontrola měření totální stanicí	65
7.3	Ověření polohového a výškového umístění registrovaného mračna	65
7.4	Přesnost vytvořených modelů detailů konstrukce	67
8	Závěr	69
9	Seznam použité literatury a zdrojů	71
10	Seznam obrázků	73
11	Seznam tabulek	75
12	Seznam příloh	76
12.1	Tištěné přílohy	76
12.2	Digitální přílohy	77



Úvod

Valečský skleník, jehož historie sahá až do 18. století, čeká dlouho očekávaná rekonstrukce, během které dojde ke kompletní obnově všech částí skleníku. Zakázku vyhlásil Národní památkový ústav, v jehož správě Státní zámek Valeč je. Zcela opravena bude konstrukce skleníku, dojde k novému zasklení, přibudou inženýrské sítě. Návštěvníci se mohou těšit na nově otevřenou restauraci s terasou, ze které budou mít výhled na historické jádro Valče a okolí. Samozřejmě bude i pěstování rostlin pro zámeckou zahradu. (1)

A právě z tohoto důvodu bylo v diskusi se zadavateli rozhodnuto, že bude stávající dokumentace skleníku doplněna o další měřickou dokumentaci, díky níž bude zachycen skutečný stav objektu těsně před jeho rekonstrukcí. Vyhotovené výstupy pak budou sloužit při inventarizaci všech prvků ocelové konstrukce. Skleník jako takový je rozdělen podle typu zastřešení na sedlovou a pultovou část (viz obrázek č. 7, str. 16). Největší důraz je kladen právě na část se sedlovou střechou, pro kterou bude na podkladě výsledků z laserového skenování vyhotovena dílčí měřická dokumentace v podobě stavebních výkresů. Dalším výstupem bude kompletní očištěné mračno bodů obou zaměřených částí skleníku a 3D modely vybraných detailů konstrukce, které budou vytvořeny pomocí metod fotogrammetrie.

Práce je rozdělena do několika částí, ve kterých bude nejdříve popsána historie zámeckého areálu včetně měřeného objektu, následovat bude popis zvolených měřických metod a postup práce při sběru dat v terénu. Největší část diplomové práce je pak věnována popisu zpracování naměřených dat. V závěru práce je okomentována přesnost měření a jsou zde shrnuty výstupy, které při své práci využije zadavatel Mgr. Jakub Chaloupka z loketského pracoviště Národního památkového ústavu.

Cílem této diplomové práce je vytvořit následující dílčí výstupy:

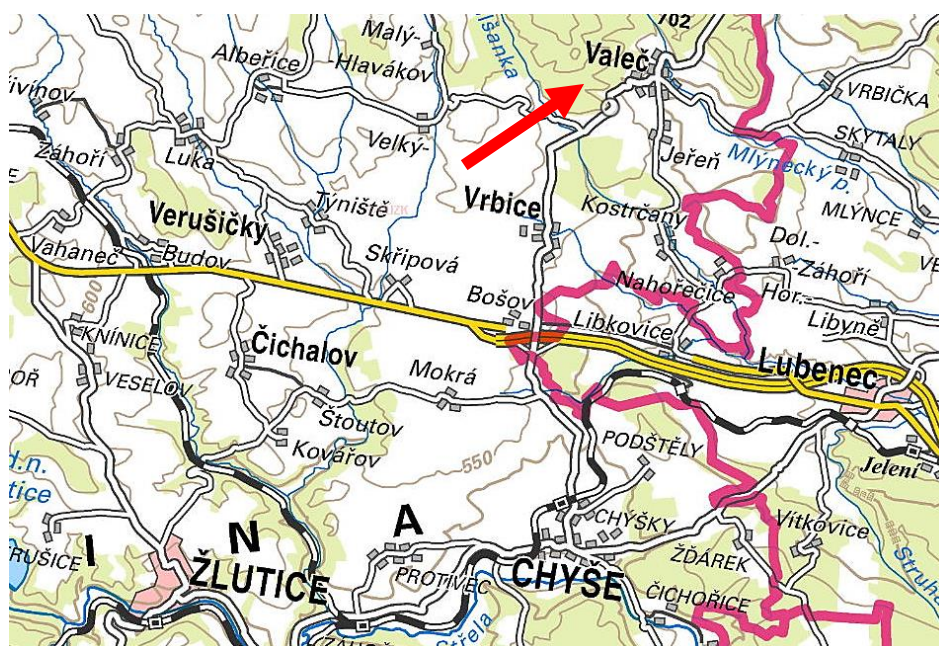
- upravené mračno bodů celého objektu
- výkresová dokumentace sedlového skleníku (půdorys, pohledy a řezy)
- síťové modely vybraných detailů konstrukce

1 Popis lokality a objektu

1.1 Valeč

Valeč je maličká obec ležící na úpatí Doupovských hor v okrese Karlovy Vary. Dnes zde žije necelých 400 obyvatel. První zmínky o této obci pocházejí z roku 1358, tedy z období vlády Karla IV.

Zajímavostí je bohatost Valče na kulturní památky. Samotné jádro obce je městskou památkovou zónou a lidé se sem tak mohou přijet podívat například na kostel Narození svatého Jana Křtitele, kostel Nejsvětější Trojice, faru, barokní pískovcový sloup, špitál, hřbitovní kostel, sýpku a v neposlední řadě na největší dominantu této obce – zámek Valeč. (2)



Obr. 1: Obec Valeč (3)

1.2 Zámek Valeč

Historie tohoto objektu sahá až do čtrnáctého století. Ačkoliv se v dochovaných listinách hovoří o zámku, jednalo se v té době spíše o pozdně gotický hrad, který od 16. do 19. století prošel několika přestavbami. Mezi tu významnější se řadí velkolepá barokní přestavba zámku, zámeckého areálu a celého panství z roku 1694 vedená stavitelem Francescem Barelli, jeho nástupcem Antoniem Bianno Rossem a Janem Kryštofem Tyllem, který nastupuje na místo Antonia po jeho smrti.

V roce 1847 pak došlo k novorenesanční úpravě, o 43 let později dochází k přestavbě novobarokní.

Po druhé světové válce se stal zámek na chvíli ozdravovnou pro válečné veterány, v 50. letech útočištěm pro korejské děti a na dlouho poté dětským domovem. V roce 1976 zámek zachvátil ničující požár. Následky tohoto neštěstí jsou opravovány dodnes.

Nyní je zámek pod správou Národního památkového ústavu, který zajišťuje i zpřístupnění veřejnosti. Neopomenutelnou součástí zámku je i zámecký park. Tuto barokní zahradu zdobí sochy z dílny Matyáše Bernarda Brauna, návštěvníci si mohou prohlédnout také budovu letohrádku, zámecký kostel, středověké tvrziště, sklepy nebo právě opravovaný valečský theatron. (4)



Obr. 2: Pohled na zámek ze zámeckého parku (Foto Adam Hrdina)

1.3 Valečský zámecký skleník

Následující text byl čerpán z (5), pokud není uvedeno jinak.

Existenci první stavby sloužící k pěstování teplomilných rostlin lze potvrdit až z dokumentů z poslední čtvrtiny 18. století. Skleník, který je součástí zámeckého areálu, zde stál pravděpodobně i dříve, předpokládá se konec 17. století při zakládání parku, bohužel ale nejsou dochovány archivní prameny, které by tuto domněnku mohly dokázat.

První zmínku o skleníku tak lze dohledat až v Schallerově topografii Království českého z roku 1785, kde byl areál zámku popsán takto (překlad z němčiny): „ [zámek] ... opatřený nádherně zřízeným libosadem a okrasnou zahradou, v níž se vyskytují nákladně založené vodotrysky a kaskády, stejně jako mnohé z kamene vytesané sochy a skleníky naplněné různými cizokrajnými plodinami a květinami.“ (6)

Podobný popis je možné nalézt i v Eichlerově sbírce z roku 1826, kde zámeckou zahradu popisuje farář Bott de Pierot.

Objekt skleníku byl poprvé zobrazen na mapách stabilního katastru z roku 1841 (viz obrázek č. 3). Při prodeji valečského panství v roce 1937 byl zapsán v inventáři zámeckého zahradnictví. Dále se můžeme o skleníku dočíst v Lorenzově kronice, psané v letech 1945-1965, kde popisuje rozdělení skleníku na tři části – studený, teplý a palmový.

Studená a teplá část tvoří pultový skleník, na který navazuje skleník sedlový (palmový), jehož jihozápadní nároží je členěno vystupujícím pětibokým rizalitem, završeným prosklenou kupolí. K sedlovému skleníku dále přiléhá stavba přízemního domku.



Obr. 3: Objekt skleníku na mapách stabilního katastru (3)



Obr. 4: Objekt skleníku – ortofoto (3)

1.3.1 Sedlový skleník

Text této kapitoly byl čerpán z (5), pokud není uvedeno jinak.

Lorenz ve své kronice popsal sedlový skleník následovně (překlad z němčiny):

„Palmový skleník s kopulí nechal hrabě Thurn dopravit v roce 1894 ze svého paláce ve Vídni do Valče včetně 200 let staré palmy Chomarops. V tomto palmovém skleníku byly umístovány k přezimování mohutné palmy, které zčásti krásily v létě zámecké louky. Ty, které nebyly schopné transportu, byly kaktus (Cereus ebumens), cca 4 metry vysoký a 20 cm v průměru, palmy Chamarops excelsa, Phönix recuinata, Kentie Ollmoreana, Yucca filimentosa, Drazena indivisa a další. Potom zde stálo mohutné Agave amerikana a stejně tak mohutná rostlina ozdobná listem „Hina ensete“ se svými až 3 metry dlouhými, 30-40 cm širokými listy. Jakožto zcela vzácnou rostlinu by bylo ještě třeba zmínit palmu Cykas.“ (7)

Na obrázku č. 5 je mimo jiné zachycena jižní stěna skleníku, která je tvořena kamennou podezdívkou, na níž je založena ocelová prosklená konstrukce stěny, členěná do pětice polí oddělených mezi sebou sloupky. Nachází se zde i vstupní dveře. Na jižní stěnu navazuje již zmíněný pětiboký rizalit, jehož konstrukce stojí taktéž na kamenné podezdívce. Ta sahá až na zdivo, které tvoří suterén pod ním (bývalá kotelna). Samotný rizalit je završen prosklenou kupolí osmibokého půdorysu.

Východní stěna stojí opět na podezdívce a je tvořena prosklenou ocelovou konstrukcí. Severní stěna je nahrazena starší cihelnou zdí, na kterou navazuje prosklený úsek. Na něm nalezneme druhý exteriérový vstup. Západní stěna rozděluje sedlový skleník od pultového. Tvořena je cihelnou příčkou, která je v horní části opět z ocelové prosklené konstrukce.

Zastřešení má sedlový tvar, je neoddělitelně spojeno s prosklenými stěnami skleníku. Tvořeno je šesticí párů šikmých nosníků. Podélné ztužení konstrukce střechy zajišťují ocelové vaznice.

V exteriéru se kolem rizalitu nese schodiště, které vede do suterénu. Nyní je v značně poškozeném stavu.



Obr. 5: Pohled na jižní část sedlového skleníku (Foto Adam Hrdina)

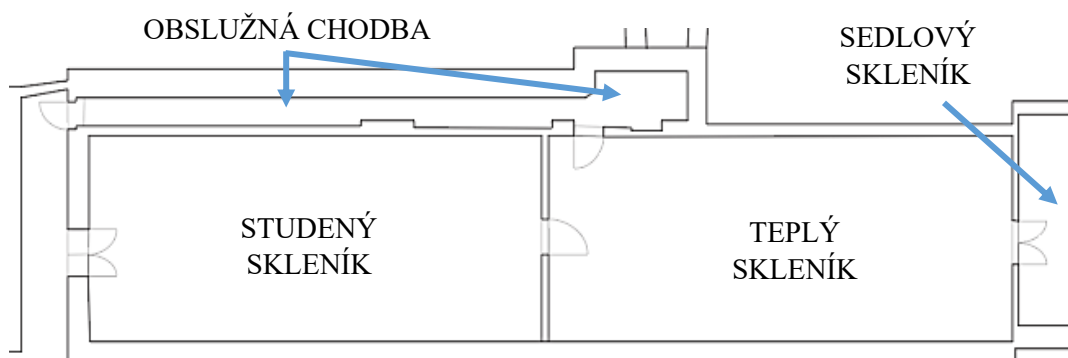
Interiér sedlové části skleníku je přístupný z jižní i severní strany, komunikačně je propojen na východní části s pultovým skleníkem, na severní zděné stěně je umístěn vstup do navazujícího domku.

1.3.2 Pultový skleník

Text této kapitoly byl čerpán z (5).

Oproti sedlovému skleníku je tento objekt zčásti zděný, doplněný o konstrukci tvořenou 18 kusy zohýbaných ocelových nosníků „I“ profilu, které tvoří stěnu i pultové zastřešení. Na západě je objekt opatřen štítovou stěnou. Vstup do skleníku z exteriéru nalezneme na západní straně, je zde umístěn i vstup do zadní chodby. Od jižního konce štítové stěny začíná podezdívka, na které stojí ocelová konstrukce pultového skleníku.

Dispozičně je skleník rozčleněn do tří prostor oddělených mezi sebou cihelnými příčkami (viz obrázek č. 6). Západní prostora tvoří studený skleník. Dříve se zde pěstovaly převážně květiny a dekorativní rostliny jako jsou růže, primule, azalky, muškáty apod. Na severní stěně je dnes možné najít pozůstatky kovových konzol, které původně držely dřevěné police.



Obr. 6: Půdorys pultové části skleníku (5)

Další část, teplý skleník, je přístupná ze západní prostory, obslužné chodby nebo vstupem v příčce ze sedlového skleníku. Tato prostora byla zázemím pro ty nejvzácnější a jedinečné rostliny. Tropickou kvetoucí flóru zde tvořily například orchideje, kaktusy, mohutné palmy, hyacinty a tulipány. Třetí prostor tvoří obslužná chodba běžící souběžně s podélnou osou na severu.

Pultový skleník je dnes zčásti v havarijním stavu. Před několika lety se zřítily téměř polovina jedné ze stěn. Zmíněná chodba je tak přístupná jen zhruba ze 2/3 své původní délky.

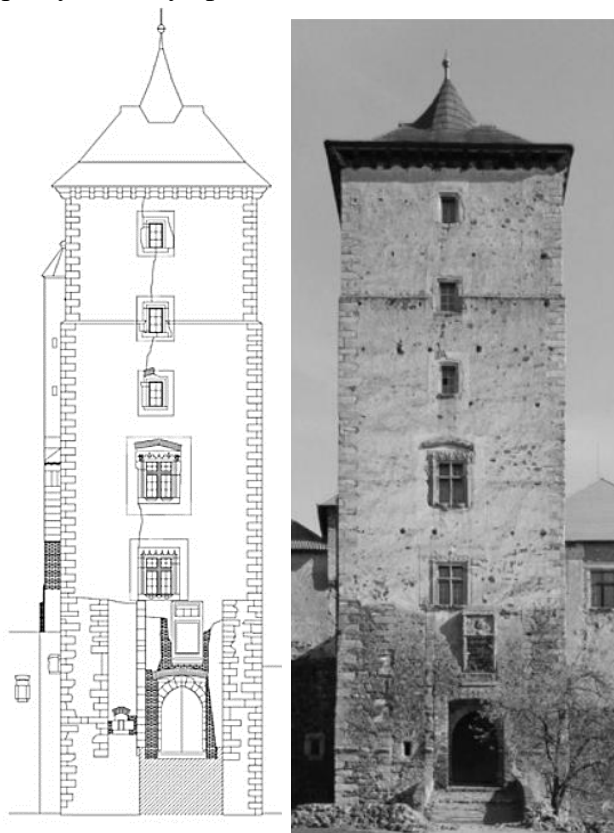


Obr. 7: Pohled na pultovou část skleníku (Foto Jindřich Hodač)

2 Měřická dokumentace

Text v této kapitole a navazujících podkapitolách byl čerpán z (8), pokud není uvedeno jinak.

Měřická dokumentace staveb patří mezi nepostradatelné složky praktické památkové péče i vědeckého výzkumu historické architektury. Mezi výstupy takové práce se i dnes řadí převážně papírové výtisky klasické 2D dokumentace, tj. půdorysy, svislé řezy, pohledy, dále také výstupy fotogrammetrie či 3D skenování, jako jsou mračna bodů, fotoplány, snímky apod.



Obr. 8: Ilustrační obrázek: Zakreslení a fotoplán vstupní věže švihovského hradu (9)

Základem dobrého projektu, posuzování vhodnosti či nevhodnosti navrhovaných zásahů, vedení vědecké činnosti, je vždy kvalitně zpracovaná dokumentace. Neobejde se bez ní projektant připravující podklady pro obnovu, přestavbu či rekonstrukci, stavební historik provádějící stavebně historický průzkum, památkový architekt NPÚ a další.

Předpokladem úspěšně zakončeného projektu je bezpochyby správná komunikace mezi zhotovitelem a zadavatelem. Důraz by měl být kladen již na samotné zadání, aby byly efektivně využity veškeré prostředky a došlo k naplnění účelu dokumentace.

2.1 Používané metody při měřické dokumentaci

Aby byla v rámci měřické dokumentace zajištěna kvalita vyhotovovaných výstupů, je potřeba využít měření prováděná metodami geodetickými nebo s geodézií příbuznými (fotogrammetrie, 3D skenování apod.).

Historicky byly často používány metody založené na ortogonálním měření – tj. metody kolmice. Jejich základem jsou měřické přímky, na které jsou z jednotlivých podrobných bodů spouštěny kolmice. Měří se pak vzdálenost od počátku přímky k patě kolmice a délka kolmice. Dále byla používána například metoda oměrná, při které jsou měřeny vzdálenosti mezi charakteristickými body stavby. V dnešní době se tyto metody používají spíše při zaměřování menších a pravidelných objektů, nebo slouží jako metody doplňkové.

Základem všech geodetických prací, hlavně po nástupu cenově dostupných elektronických dálkoměrů, se dnes stala prostorová polární metoda. S rozvojem nových technologií přichází i další metody jako jsou 3D skenování, využívání bezpilotních zařízení a digitálních kamer. Mezi výhody těchto metod patří jednodušší dokumentování nepravidelných útvarů a často také zjednodušení a zefektivnění dokumentačních prací v terénu.

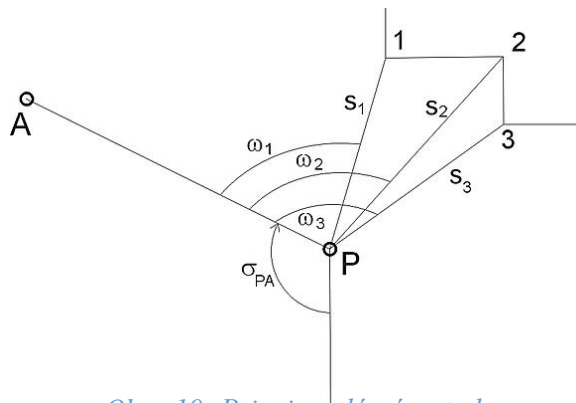


Obr. 9: Laserové skenování skenerem Leica BLK360 (Foto Adam Hrdina)

V následujících podkapitolách budou přiblíženy metody, které byly použity v rámci této diplomové práce. Již od počátku bylo dohodnuto, že bude skleník zdokumentován metodou laserového skenování. Pro kontrolu přesnosti bylo provedeno i měření totální stanicí, pomocí které byly zaměřeny identické body na objektu. Pro vyhotovení modelů vybraných detailů konstrukce byly použity metody fotogrammetrie.

2.1.1 Polární metoda

Polární metoda je založena na měření šikmých délek, vodorovných a zenitových úhlů od stanoviště k námi určovanému bodu. Při určování souřadnice Z se měří i výška stanoviště a cíle. Z naměřených údajů a známých souřadnic stanoviště, na kterém je zcentrována a zhorizontována totální stanice, a alespoň jedné orientace, lze jednoduše vypočítat souřadnice zaměřovaných bodů v daném souřadnicovém systému.



Obr. 10: Princip polární metody

Tato metoda se používá např. při geodetickém zaměření historických objektů, ale také pro zaměření identických bodů pro potřeby fotogrammetrie či laserového skenování.

2.1.2 Laserové skenování

Laserové skenování je dnes běžně používanou měřickou metodou, při které dochází k neselektivnímu určování 3D souřadnic bodů a jejich ukládání do paměti. Výsledkem je tzv. „mračno bodů“ obsahující až stovky miliónů bodů. Velkým přínosem této metody je rychlý sběr dat a jednoduché měření i nepravidelných ploch. Výstupem bývá 3D model, ze kterého je možné určit například plochu, objem a další parametry v rámci analýzy objektu. Mezi hlavní nevýhody bezesporu patří velký objem dat, což se odráží na vysokých požadavcích na hardware a software, dále také časová náročnost při zpracování. (10)



Skenování funguje na principu prostorové polární metody, měřeny jsou vodorovné a zenitové úhly a šikmé délky. Přesnost měření délek značně ovlivňuje povrch skenovaného objektu, od kterého se vyslaný laserový paprsek odráží. Nejlepší výsledky přináší skenování světlého materiálu s drsným povrchem, např. dřevo, papír nebo bílé zdivo. Mezi nevhodné povrchy pak patří lesklé předměty, mokré objekty a černé lesklé povrchy. Podmínky ale nemusí být vždy ideální a občas mohou nastat situace, kdy je potřeba naskenovat objekt skládající se ze zmíněných nevhodných povrchů. Taková situace musela být řešena právě při zaměření skleníku v rámci této diplomové práce.

Měření skrz sklo obecně neposkytuje přesné výsledky. Problém je v průchodu laserového paprsku dvěma různými prostředími s odlišnými indexy lomu. Z tohoto důvodu dochází „k ohnutí“ světelného paprsku, což značně ovlivňuje naměřenou vzdálenost. V naměřených datech tak mohou vznikat různé deformace. Dále je také potřeba věnovat pozornost šumu, který je způsoben odrazem laserového paprsku od skleněné desky. Stěny a další zaměřené prvky se promítají mimo objekt a v naměřených datech pak vzniká jakési zdvojení konstrukce. Ukázka tohoto problému je zobrazena na obrázcích č. 24 a 25 (str. 35).

S ohledem na velikost měřeného objektu lze tuto situaci řešit různě. Zakoupit se dají antireflexní spreje, které předmět pokryjí tenkým bílým povlakem potlačující nežádoucí odrazivost. Průhledné části lze v některých případech překrýt či polepit například kusem papíru. Tyto metody lze využít pro měření a vytváření modelů malých předmětů, v našem případě by toto řešení bylo jak finančně, tak časově velmi náročné. Z toho důvodu budou komplikace vznikající měřením průhledných ploch řešeny hlavně při zpracování dat „v kanceláři“ (více v kapitole 4.2.2).

2.1.3 Fotogrammetrické metody

Fotogrammetrie je obor, který se zabývá zpracováním informací z pořízených snímků. Rozlišujeme jednosnímkovou fotogrammetrii, která se využívá nejčastěji při dokumentaci plošných objektů, a fotogrammetrii vícesnímkovou, pod kterou spadá stereofotogrammetrie, průseková fotogrammetrie a metoda obrazové korelace. Pomocí těchto metod jsme schopni získat 2D výstupy nebo 3D modely zaměřovaného objektu.

Pro získání hustých mračen bodů a následně síťových modelů vybraných detailů konstrukce, které jsou představeny v kapitole 3.2.3 na str. 27, byla použita metoda obrazové korelace (IBMR). Při této metodě jsou nasnímány fotografie s konvergentními osami, které se následně zpracují ve specializovaném software. Mimo sbíhající se osy musí být na snímcích zajištěn i překryt. Pro určení měřítka modelu je dále potřeba změřit alespoň jednu vzdálenost mezi definovanými body. Na základě těchto požadavků jsou pak automaticky získávány body mračna. Principem výpočtu je obrazová korelace, během které dochází k nalezení polohy bodu na dvou a více snímcích. Tento vyhledávací algoritmus se nazývá korelační analýza.

Přesnost této metody je dána zejména obrazovou kvalitou snímků a jejich konfigurací. Nevýhodou je hlavně časová náročnost při zpracování a vznik tzv. prázdných míst, které mohou být zapříčiněny snímkováním homogenních, lesklých či skleněných ploch a zakrytých míst. Obecně se jedná o metodu vhodnou pro dokumentaci členitějších objektů, ze kterých chceme získat detailní model vytvořený z vypočteného hustého mračna bodů.

Mezi potřebné vybavení pro práci v terénu patří fotoaparát s vhodným objektivem, pomůcky pro vyznačení vlíčovacích bodů, měřítka a měřidla.



Obr. 11: Konfigurace snímků



3 Práce v terénu

V této kapitole budou popsány použité přístroje a pomůcky při měření, dále způsob sběru dat v terénu.

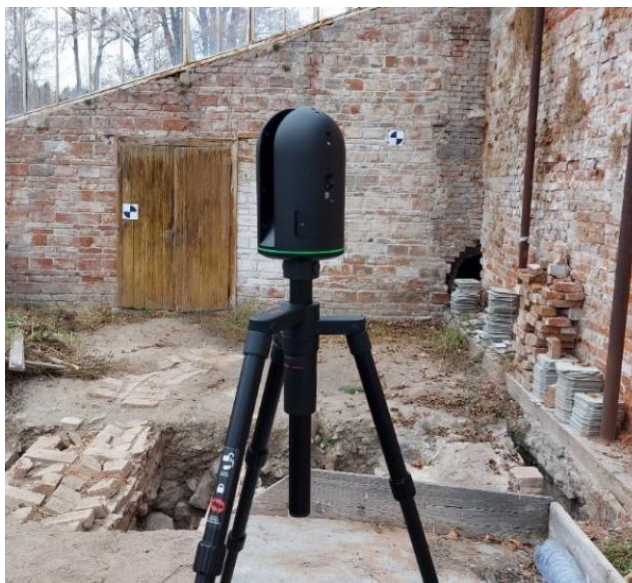
3.1 Použité přístroje a pomůcky při měření

3.1.1 Laserový skener Leica BLK360

Pro naskenování celého skleníku byl použit skener Leica BLK360 (v.č.: 3503293). Jedná se o skener, který se svými rozměry 16 x 10 cm a hmotností 1 kg řadí mezi nejkompaktnější skenery na světě. Součástí je integrovaný sférický obrazový systém, který nasnímá měřené okolí v podobě plnobarevných panoramatických snímků v HDR kvalitě, dále také termografický panoramatický snímač.

Skener zvládne poskytnout data až do vzdálenosti 60 metrů s rozsahem skenování 360° x 300°. Doba skenování na jednom stanovisku zpravidla nepřekročí 4 minuty a je dána nastaveným rozlišením zaměřovaných bodů. Lze volit mezi třemi typy – vysoké (5 mm/10 m), střední (10 mm/10 m) a nízké (20 mm/10 m). 3D přesnost bodů je pak 6 mm na 10 m/ 8 mm na 20 m. Se skenerem je možné měřit jak v interiéru, tak exteriéru. Nesmí být však opomenuta pracovní teplota, která je v rozmezí od +5 do +40°C.

Skener je možné přímo v terénu ovládat pomocí iPad v aplikaci Cyclone FIELD 360, kde lze nastavit například rozlišení, kvalitu fotografií apod. Po naskenování si může uživatel prohlédnout naměřené mračno, případně provést i základní registraci. Skener je ale také možné v terénu ovládat i bez iPad jen za pomoci bočního tlačítka. Základní nastavení stačí přednastavit v kanceláři na počítači, ke kterému se skener připojí pomocí vlastní Wi-Fi. (11)



Obr. 12: Laserový skener Leica BLK360

3.1.2 Totální stanice Leica TS06

Pro zaměření černobílých terčů použitých při skenování a dalších identických bodů byla použita totální stanice Leica TS06 (v.č.: 1342473). K měření délek je využíván fázový dálkoměr s přesností měřené délky $1.5 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ ($2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ v případě bezhranolového měření). Úhlová přesnost 0.6 mgon je dána směrodatnou odchylkou měřeného úhlu v jedné skupině. (12)



Obr. 13: Leica TS06 (13)

3.1.3 Digitální fotoaparát Nikon D7100 + objektiv

Snímky pro účely fotogrammetrického zpracování a obvyčejné dokumentace objektu byly pořízeny fotoaparátem Nikon D7100 (v.č.: 4805773). Ten využívá obrazový snímač CMOS formátu DX s 24.1 miliony pixelů. Systém automatického zaostřování s 51 zaostřovacími poli včetně 15 snímačů křížového typu pro přesné automatické zaostření. Fotoaparát je dále vybaven horním a zadním krytem z hořčíkové slitiny, nabízí sériové snímání s frekvencí 6 obr/s, vysokou citlivost ISO s nastavením v rozmezí 100-6400, funkci výřezu 1.3x z formátu DX aj. (14)



Obr. 14: Digitální fotoaparát Nikon D7100 (14)

Spolu s fotoaparátem byl použit objektiv Sigma 17-50 mm EX DC HSM.

3.1.4 Další měřické pomůcky

Při měření byly dále použity následující pomůcky: stativ, černobílé terče pro signalizaci identických bodů, výtyčka s hranolem, geodetické hřeby, fixy, křídly, lepicí páska, mačeta, štafle, kriminalistická měřítka, samolepící štítky, svinovací metr.

3.2 Sběr dat

První měřické práce proběhly 24.11.2021, kdy byla zaměřena sedlová část skleníku. V tento den bylo převážně oblačno, bezvětří, teplota kolem 5 °C. Za účelem zaměření pultového skleníku a pořízení snímků vybraných detailů konstrukce zadavatelem byl uskutečněn i druhý výjezd a to 22.4.2022. Teplota se tento den pohybovala kolem 10 °C, celý den bylo oblačno, chvílemi i pršelo.

V obou případech byla nejprve provedena rekognoskace, během které byl prozkoumán a očištěn měřený objekt. Uvnitř a kolem skleníku byly odklizeny prkna, větve, roští a další předměty, které by mohly překážet při měření. Dále byly po objektu pro účely laserového skenování rozmístěny černobílé terče. Ty je vhodné umisťovat pravidelně, ale s určitými lokálními nepravidelnostmi (např. v jiné výšce). (15)

Ve videu od společnosti Leica Geosystems byl proveden pokus, na jak velkou vzdálenost je skener BLK360 schopný rozeznat terče při různém nastavení rozlišení. Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce č. 1. Na základě tohoto testu byly použity terče velikosti 15.24 cm. (16)

Tab. 1: Skener BLK360 - Testování schopnosti rozeznání terčů

Rozlišení	Vzdálenost									
	3.1 m		7.6 m		10.7 m		13.7 m		16.8 m	
Nízké 20 mm/10 m	✓	✓								
Střední 10 mm/10 m	✓	✓	✓	✓	✓					
Vysoké 5 mm/10 m	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

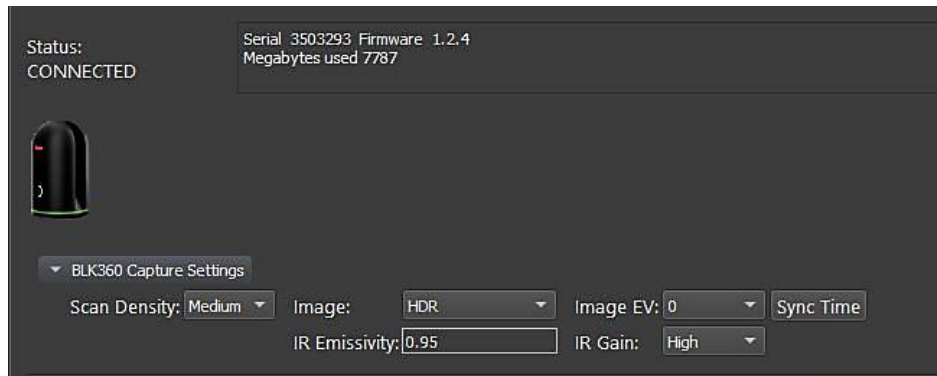
Pozn.: *modře* – terč velikosti 15.24 cm (6“)

zeleně – terč velikosti 11.43 cm (4.5“)

3.2.1 Laserové skenování

Před každým měřením bylo potřeba v kanceláři nastavit parametry skenování. Skener byl pomocí Wi-Fi připojen k počítači, v programu BLK360 Data Manager byl skener vyhledán a taktéž připojen.

V aplikaci byla nastavena střední hustota skenování, fotografování s HDR a nulová korekce expozice (viz obrázek č. 15). Pro uvolnění paměti byly ze zařízení odstraněny veškeré skeny.



Obr. 15: Nastavení parametrů v programu BLK360 Data Manager

Ovládání skeneru Leica BLK360 je velmi jednoduché. Díky integrované IMU jednotce, která umožňuje automatickou orientaci přístroje při naklonění do 5°, stačí na vybraném stanovisku skener přibližně zhorizontovat a podržením tlačítka na boku zařízení zapnout. Kolem dokola začne oranžově blikat signalizační pruh, který se po chvíli rozsvítí zeleně. Skener je v tento moment připraven k měření, pro spuštění měření stačí opět zmáčknout ovládací tlačítko. Nejprve je nasnímán panoramatický snímek, následně probíhá skenování. Během celého procesu bliká signalizační světlo oranžově, po dokončení skenování blikání přestane a skener dá rozsvícením zeleného světla najevo, že je připraven k dalšímu měření. V tento moment byl skener přemístěn na další stanovisko a stejným postupem bylo zahájeno další měření. Při uvedeném nastavení trval jeden sken zhruba 3 minuty a 40 sekund.

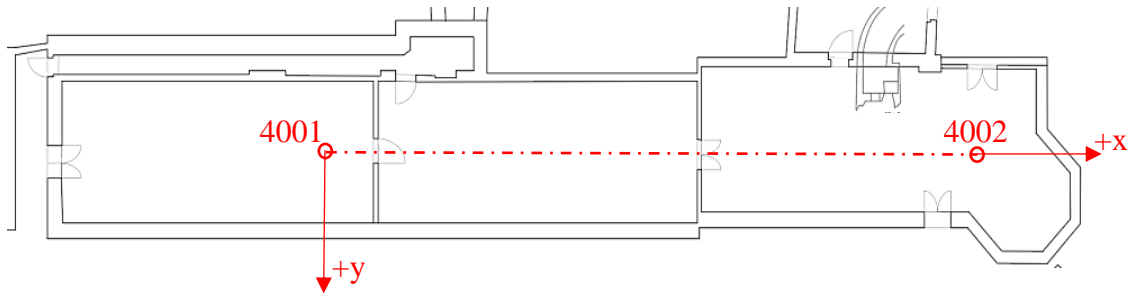
24.11. probíhaly měřické práce od 10:00 do 15:00. Celkem bylo nasnímáno 40 skenů v okolí sedlového skleníku (příloha 8). Při měření v dubnu bylo od 10:15 do 14:45 změřeno 36 skenů (příloha 9). Měřické náčrty stanovisek jsou uvedeny v příloze č. 7.

3.2.2 Měření totální stanicí

Totální stanice byla použita pro zaměření černobílých terčů a dalších identických bodů, které budou použity ke kontrole registrace naměřeného mračna bodů.

Měřickou síť tvořila dvě stanoviska č. 4001 a 4002. Souřadnicový systém byl zvolen místní. Osa +x byla vložena do záměry z bodu 4001 na bod 4002. (viz obrázek č. 16). Celkem bylo polární metodou zaměřeno 30 bodů. Černobílé terče byly číslovány od čísla 1, jednoznačně identifikovatelné podrobné body na objektu od čísla 100.

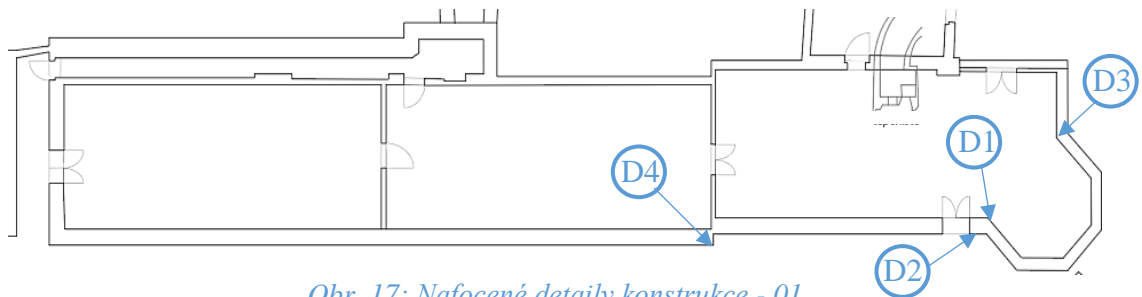
Upravený zápisník měření je v příloze č. 2, měřický náčrt v příloze č. 7.



Obr. 16: Náčrt měřické sítě

3.2.3 Pořízení snímků

V rámci druhého výjezdu byly pořízeny snímky čtyř detailů konstrukce (viz obrázky č. 17 a 18).



Obr. 17: Nafocené detaily konstrukce - 01



Obr. 18: Nafocené detaily konstrukce - 02



Před samotným focením byly na konstrukci nakresleny křížky, příp. nalepeny štítky s nakreslenou značkou (detail č. 1), svinovacím metrem byly mezi těmito body změřeny vzdálenosti. Kolem konstrukce byla také rozmístěna kriminalistická měřítka délky 10 - 15 cm. Následně byly z různých úhlů, pozic a vzdáleností pořizovány snímky. Během focení byl kladen důraz na zachování stejné ohniskové vzdálenosti.

Nastavení parametrů fotoaparátu:

Konstanta komory: **17 mm**

Čas expozice: **1/50 – 1/100**

Clonové číslo: **f10 – f13**

Světelná citlivost: **ISO 500 – 800**

Celkem bylo pořizeno 195 snímků:

Detail 1: **43 fotografií**

Detail 2: **68 fotografií**

Detail 3: **46 fotografií**

Detail 4: **38 fotografií**

4 Zpracování naměřených dat

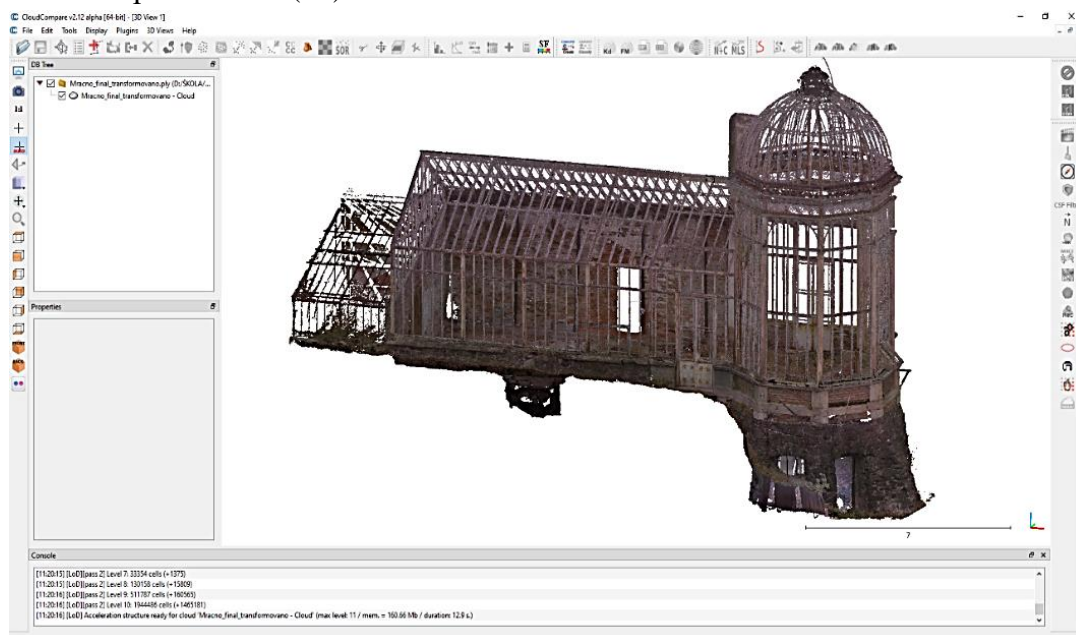
V této kapitole budou představeny programy, které byly použity pro zpracování naměřených dat. V navazujících podkapitolách je pak popsán pracovní postup při úpravě dat z laserového skenování, zpracování dat z totální stanice, postup tvorby výkresové dokumentace a síťových modelů metodami fotogrammetrie.

4.1 Použité programy

Pro práci s naskenovaným mračnem bodů byl použit program Leica Cyclone REGISTER 360 a CloudCompare. Data z totální stanice byla zpracována v programu Groma. K vyhotovení výkresové dokumentace posloužil program Microstation. Síťové modely detailů konstrukce pak byly z pořízených snímků vytvořeny v programu Agisoft Metashape.

4.1.1 CloudCompare

Hlavní výhodou tohoto programu je volně přístupný (open-source) zdrojový kód vyvinutý v jazyce C++. Zdarma si ho můžou stáhnout majitelé operačních systému Windows, Linux a Mac OS X. CloudCompare umožňuje používat několik základních nástrojů pro editování a vizualizaci mračna bodů, příp. trojúhelníkových sítí. Postupem času byly doplněny algoritmy umožňující registraci, segmentaci, výpočet statistik, vzdáleností nebo geometrických charakteristik, převzorkování, manipulaci se skalárními poli a další. (17)



Obr. 19: Pracovní prostředí software CloudCompare



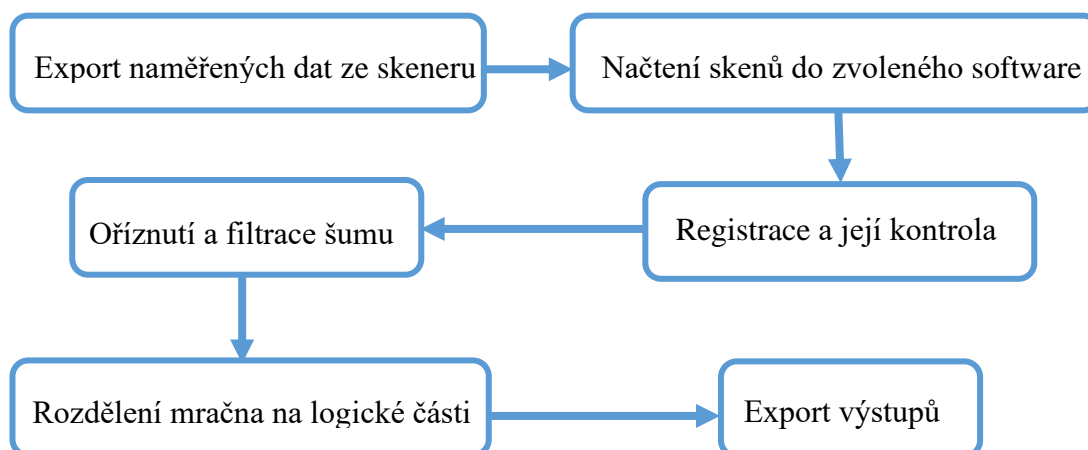
4.1.5 Agisoft Metashape

Software Agisoft Metashape (dříve Agisoft PhotoScan) slouží k fotogrammetrickému zpracování digitálních snímků. Umožňuje zpracovávat snímky z RGB nebo multispektrálních kamer do podoby hustého bodového mračka, texturovaných modelů, orotofot apod. Vhodný je pro nováčky na poli fotogrammetrie, ale i pro odborníky, kterým umožňuje nastavovat parametry pro specifické úlohy a různé typy dat. (21)

4.2 Zpracování dat ze skeneru

Obecně lze práci s mračnem bodů rozdělit do několika kroků. Nejprve je potřeba naměřená data exportovat ze skeneru. Po každém měření byl v kanceláři skener pomocí Wi-Fi připojen k počítači. V programu BLK360 Data Manager byly všechny skeny označeny a staženy do zvolené složky. Jeden sken má velikost zhruba 600 MB, tento krok byl časově poměrně náročný a až po dvou hodinách exportování bylo možné pokračovat v práci. V rámci zpracování naskenovaných dat následuje registrace, při které dochází ke spojení bodových mraček naměřených z několika stanovisek do jednoho celku. Po registraci je soubor s daty příliš velký a obsahuje značné množství nepotřebných dat, o které je nutné mračno zredukovat. Následuje tak úprava mračka - oříznutí a filtrace. Mezi základní nástroje při filtraci patří odstranění duplicitních bodů a další funkce, které budou popsány dále. Dále je možné bodové mračno transformovat do zvoleného souřadnicového systému a přejít k tvorbě modelů. Posledním krokem je pak export výstupů do požadovaných formátů.

Postup zpracování naskenovaných dat pořízených v rámci této diplomové práce je naznačen na následujícím schématu:





4.2.1 Registrace mračen

K registraci byl použit program Leica Cyclone REGISTER 360, který je popsán v kapitole 4.1.2. Data ze dvou měřických dní byla zprvu zpracovávána samostatně. Prvním krokem bylo založení projektu, do kterého byly naimportovány příslušné skeny.

Při měření byly použity černobílé terče, v nastavení tedy byla zaškrtnuta možnost *Auto Cloud* a *Auto B&W Target*. Nejprve byl pokus provést automatickou registraci všech skenů najednou. To ale vedlo k zamrznutí aplikace, která následně „spadla“. Mračna tak bylo potřeba načítat po částech, které byly spojeny manuálně pomocí funkce *Visual Alignment*.

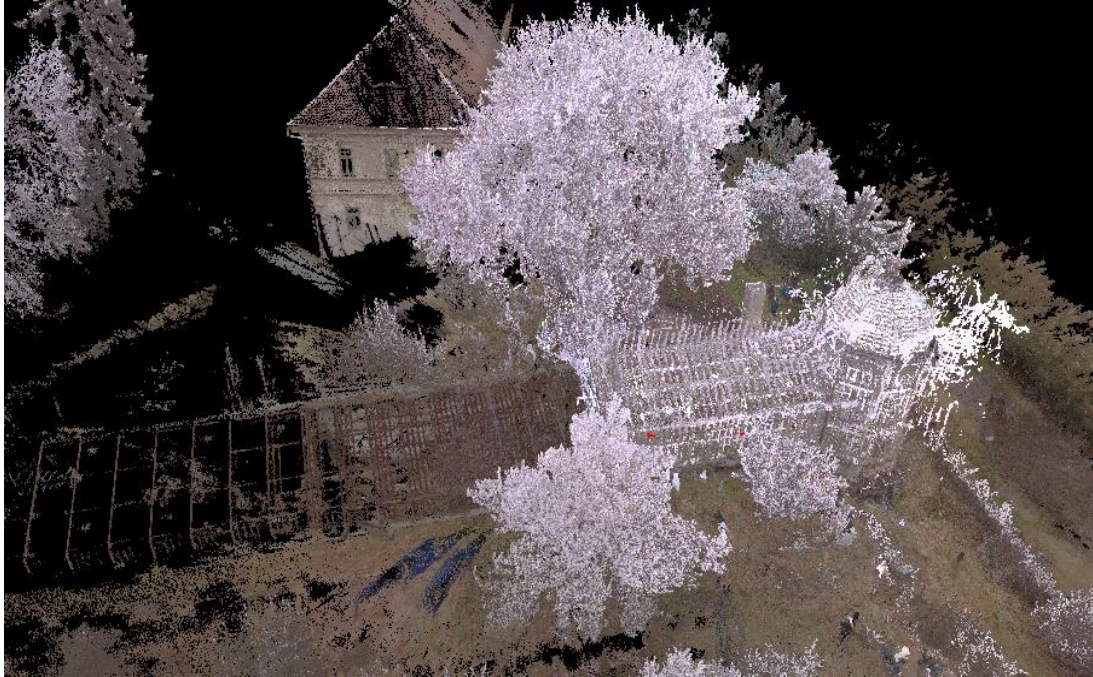
Po registraci si je možné výsledné mračno prohlédnout v záložce *Review and Optimize*, kde jsou mimo jiné uvedeny parametry registrace – celková chyba svazku a procentuální překrytí a propojení skenů. Zároveň je možné zobrazit přesnosti jednotlivých propojení skenů a v případě větších odchylek provést znovu manuální registraci. Výsledné parametry registrace jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Tab. 2: Parametry registrace

Měření dne	Celková chyba svazku	Procentuální překrytí	Procentuální propojení
24.11.2021	0.010 m	49 %	82 %
22.04.2022	0.012 m	45 %	77 %

Další kontrolou kvality je zobrazení mračna pomocí funkce *TruSlicer*. Každému mračnu je přiřazena jiná barva a v překrytových oblastech je tak možné vyhodnotit kvalitu spojení. K tomu slouží i nástroj, pomocí kterého si uživatel může ve všech třech osách nastavit řezy daným objektem, takto případné deformace a posuny vyniknou nejlépe. Mračno po registraci bylo tímto způsobem zkontrolováno na několika místech, nikde nebyla nalezena závažná chyba.

Po kontrole a úpravách práce pokračuje v záložce *Finalize*, kde se pouze nastavuje pohled na mračno, který bude na hlavní stránce vygenerovaného reportu. V následující záložce *Report* lze pak nastavit dvě věci - finální podobu protokolu a způsob a formáty, do kterých bude mračno exportováno. Z důvodů, které budou přiblíženy v kapitole 4.2.2, byla registrovaná mračna z obou měřických dní exportována jednotlivě ve formátu *.ptx.



Obr. 21: Výsledek po registraci mračen sedlové části skleníku

4.2.2 Oříznutí mračen a filtrace šumu

Nejprve byla zpracována sedlová část skleníku, která byla zaměřena jako první.

V rámci samostatných skenů dochází, z důvodu průchodu laserového paprsku sklem, k lokálním deformacím, kvůli kterým není možné mračno upravovat rovnou v celku. Spojená mračna by se překrývala a chybně zaměřené části z jednotlivých skenů by nebylo možné jednoduše odstranit. Svoji roli také hraje velikost souboru, která po registraci dosahuje až na 17 GB. Práce s takhle velkým množstvím dat není plynulá, a i z tohoto důvodu bylo potřeba skeny zpracovávat po menších částech.

Mračna tak byla ve formátu *.ptx importována do programu CloudCompare jednotlivě. Pomocí funkce *Segmentace* byla nejdříve oříznuta nepotřebná data, například okolní vegetace, objekty a siluety. Na obrázcích č. 22 a 23 jsou zobrazeny příklady deformací, které bylo potřeba řešit individuálně. Je vidět, že v některých místech dochází ke zkroucení zaměřované konstrukce. Z fyzikálních důvodů, které byly přiblíženy v kapitole 2.1.2, není možné spoléhat se na data získaná skenováním skrz sklo, proto byly při úpravě naskenovaných dat z jednoho stanoviska odstraněny všechny části, které byly ve směru od stanoviska naskenovány právě skrz zasklení.



Obr. 22: Ukázka deformace – 1

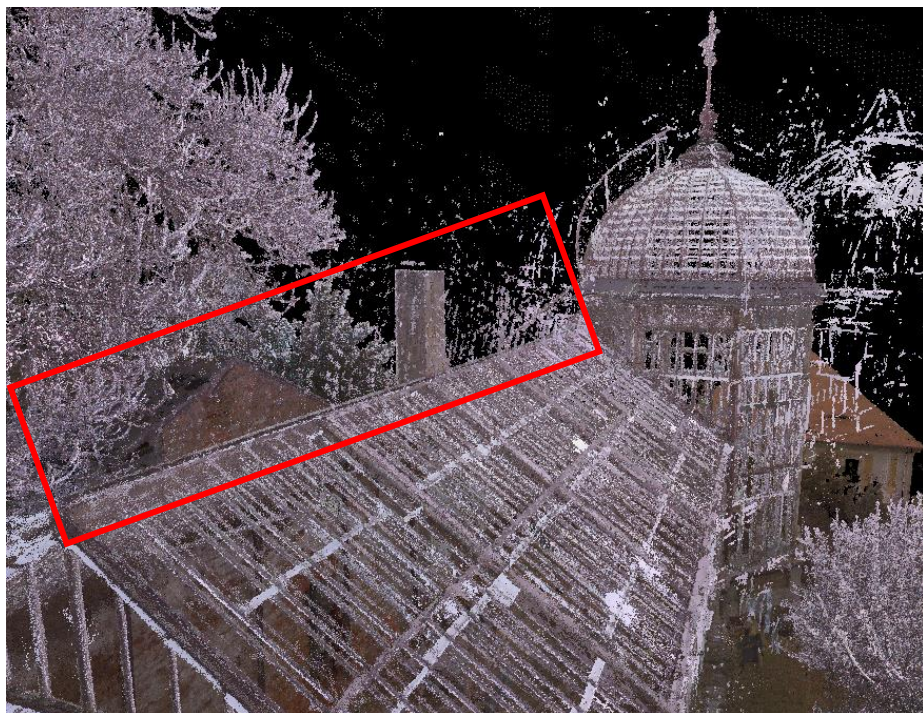


Obr. 23: Ukázka deformace – 2

Dále bylo potřeba odstranit šum vznikající odrazem laserového paprsku od skleněných tabulí. Jak je vidět na obrázku č. 24 a 25, nejvíce byla touto chybou zatížena kupole, kde dochází k odrazu po celém obvodu, a hřeben sedlové střechy.



Obr. 24: Šum v místě kupole



Obr. 25: Šum v místě sedlové střechy

Zmíněné části šlo poměrně jednoduše oříznout pomocí funkce *Segmentace*. Jiný přístup však bylo potřeba zvolit v případě jemnějšího šumu, který vzniká po celé zasklené ploše. Na obrázku č. 26 je možné porovnat část zaměřeného pultového skleníku se sedlovým skleníkem. U těchto dvou částí je rozdíl v zasklení. V mračnu, obarveném dle hodnot RGB získaných z fotografií, je tak možné vidět bílé zbarvený šum, který se vyskytuje hlavně na pravé části skleníku.

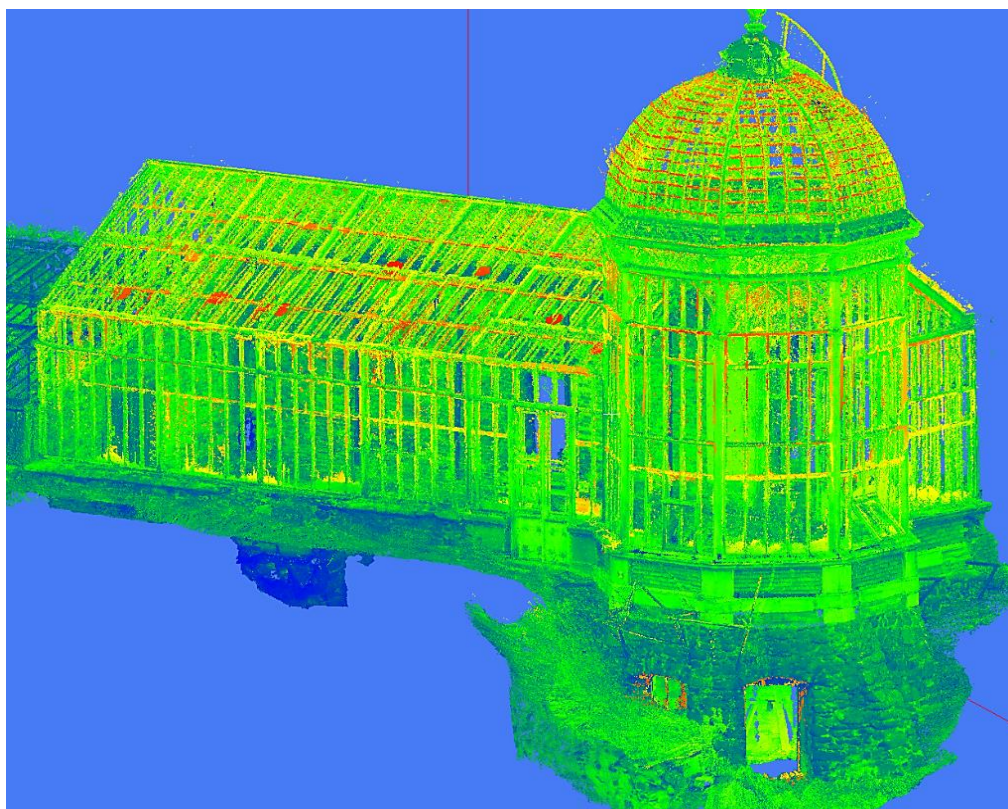


Obr. 26: Šum na zasklené části skleníku

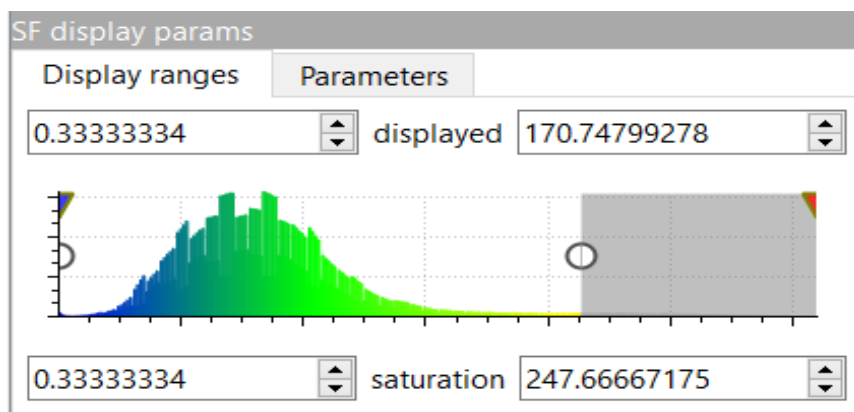
Pro další postup bylo nutné vytvořit tzv. skalární pole, díky kterému bylo možné zmíněný šum odstranit. Barvy mračna byly převedeny na skalární pole pomocí funkce *Edit – Colors – Convert Colors to Scalar Field*. V nastavení funkce byla zaškrtnuta možnost $Composite = ((R+G+B)/3)$. Jak můžeme vidět na obrázku č. 27, každému bodu mračna byla přiřazena barva na základě aritmetického průměru z hodnot barevného modelu RGB.

Takové zobrazení mračna je přehlednější a pouhým pohledem lze lépe rozlišit místa, která jsou zatížena oním šumem (body zbarvené žlutě až červeně).

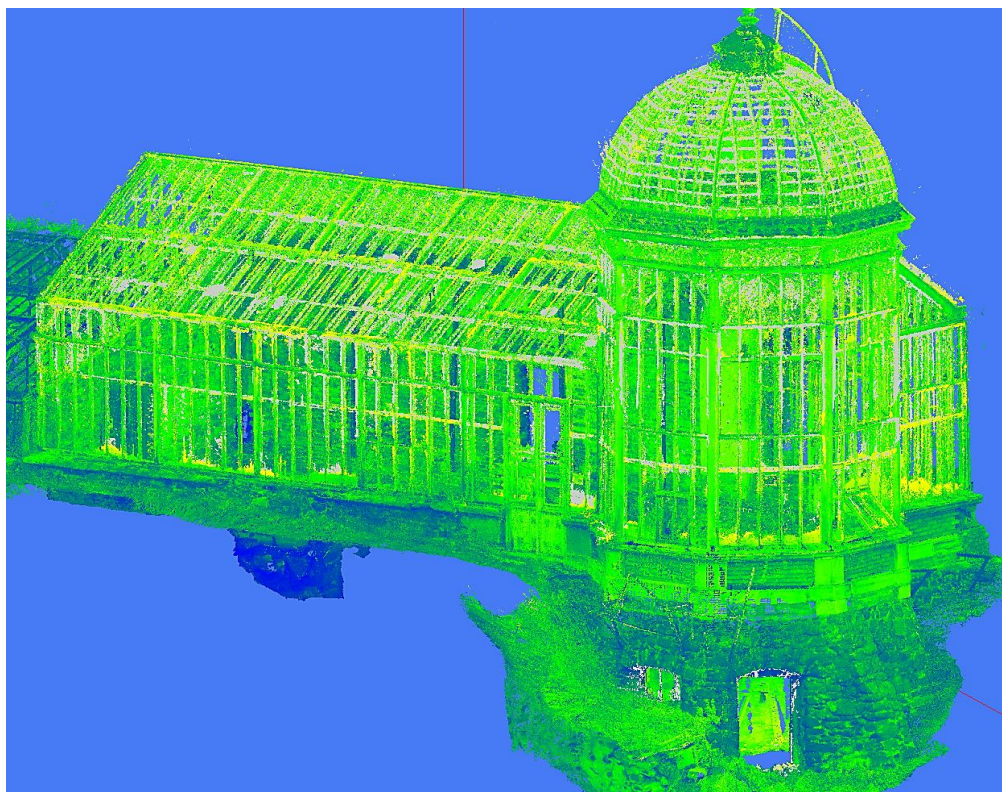
Pomocí histogramu vytvořeného skalárního pole byl při pohledu na mračno, kde se body mimo zvolený interval v histogramu obarvují šedě, určen úsek, který bude z mračna odstraněn. Na obrázku č. 28 je patrné, že zmíněný šum tvoří jen malou část změřeného mračna. Označeny byly hodnoty s barevným rozhraním od 170 do 247.



Obr. 27: Vytvořené skalární pole

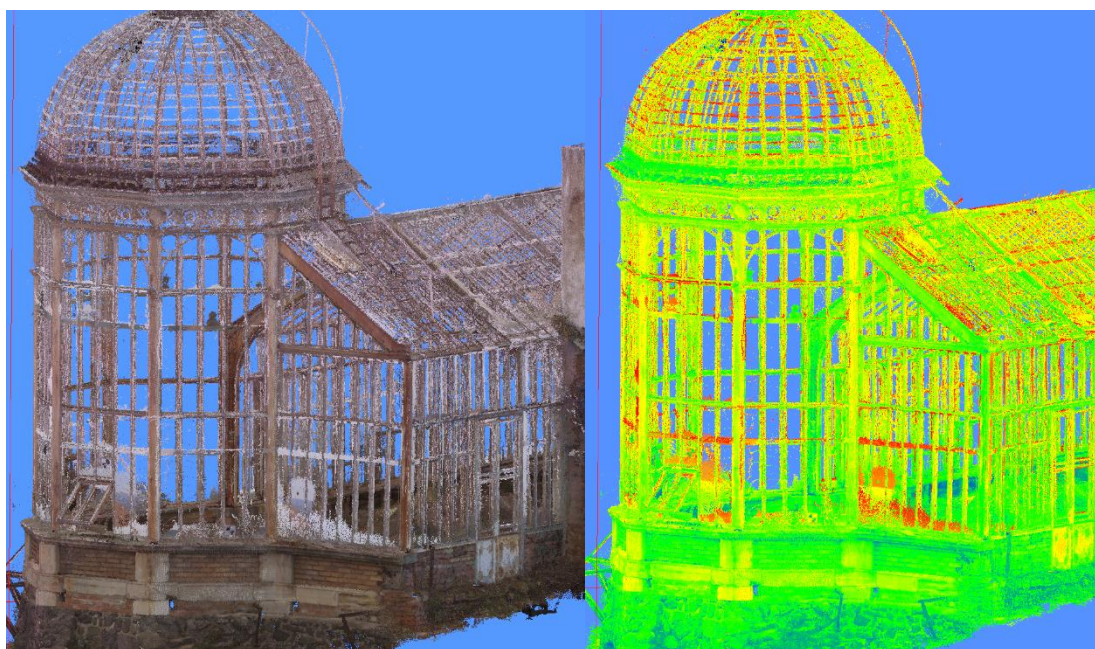


Obr. 28: Histogram vytvořeného skalárního pole



Obr. 29: Označená část mračna (šedě) určená k odstranění

Pomocí funkce *Edit – Scalar Fields – Filter By Value* bylo vytvořeno nové mračno obsahující pouze ty body, jejichž interval byl určen v histogramu. Výsledek je zobrazen na obrázku č. 30.



Obr. 30: Pohled na mračno po prvním pokusu o odstranění šumu

Na předchozím obrázku je vidět, že mračno není ještě dostatečně očištěno. Popsaný postup byl tedy proveden znovu. Odstraněny byly hodnoty skalárního pole od 130 do 170. Výsledek (viz obrázek č. 31) už vypadal mnohem lépe a nebylo potřeba výpočet opakovat.



Obr. 31: Výsledek první části filtrace

Dalším krokem bylo odstranění duplicitních bodů pomocí funkce *Tools – Others – Remove duplicate points*. V nastavení se pouze volí minimální vzdálenost mezi body, ta byla nastavena na hodnotu 2 mm.

Dále byla použita funkce *Tools – Clean – Noise Filter*. Ta pro každý bod z mračna vybere nejbližší body, kterými proloží rovinu. Za šum je považován bod, který se od této roviny vzdaluje minimálně o námi zvolenou hodnotu a to 15 mm.

V rámci zmíněných funkcí bylo vyzkoušeno několik nastavení. Ocelová konstrukce skleníku je tvořena prvky menších rozměrů, bylo tak potřeba hlídat případnou ztrátu detailu a vyhodnotit, jaké parametry bude nejrozumnější zvolit.

Následovalo očištění mračna pultové části skleníku, která byla zaměřena ke konci dubna. Postup byl téměř totožný s úpravou mračna sedlového skleníku. Registrované skeny byly do programu CloudCompare načítány také jednotlivě. Ačkoliv je pultový skleník z větší části neprosklený, bylo i v tomto případě potřeba odstranit některé části zaměřeného mračna z jednotlivých stanovisek. Jednalo se především o místa změřená na vzdálenost větší než cca 10 m od stanoviště, kdy už

byla ocelová konstrukce naskenována nekvalitně (viz obrázek č. 32). Tato skutečnost vyplývá z nastaveného rozlišení a z přesnosti bodu mračka udávané výrobcem (6 mm/10 m). V případě palmového skleníku s tímto nebyl takový problém, protože se v porovnání s pultovým skleníkem jedná o menší objekt.



Obr. 32: Pohled na naskenovaná data z jednoho stanoviště

Oříznutá mračka zaměřeného pultového skleníku pak byla spojena do jednoho celku pomocí funkce *Merge*. V rámci úpravy mračka byl také použit postup na odstranění vybraných bodů pomocí histogramu vytvořeného skalárního pole. Díky tomu byl filtrován šum vznikající odrazem od skleněných desek a také část naskenovaného suchého porostu proplétajícího se konstrukcí. Zbylý plevel a travní porost byly spolu s dalšími nežádoucími objekty odstraněny pomocí funkce *Segmentace*. Funkce *Remove duplicate points* a *Noise filter* byly spuštěny se stejným nastavením jako v případě sedlového skleníku.

V tomto momentě existovala dvě upravená mračka (pultový a sedlový skleník), která byla spojena pomocí funkce *Align two point clouds* do jednoho celku. Jedno mračko se označí jako referenční (zůstane na místě), druhé pak jako to pohybující se. V obou mračkách se v překrytové části vyberou minimálně 4 identické body a zapne se výpočet. Kontrola spojení proběhla vytvořením a prohlédnutím řezů konstrukcí ve vodorovném i svislém směru, dále byly pomocí funkce *Distance computation* vypočteny vzdálenosti mezi mračky v překrytových oblastech. Na konstrukci byly tyto hodnoty do 2 mm, odchylky v řádech i desítek centimetrů byly pouze v místě dveří a dalších objektů, se kterými bylo během měření manipulováno.

Výsledné mračno skleníku (viz obrázek č. 33) bylo exportováno do standardizovaného formátu *.e57 (příloha 10), který může uživatel importovat téměř do jakéhokoliv zvoleného software.



Obr. 33: Pohled na výsledné mračno

V následující tabulce je shrnut úbytek bodů v návaznosti na jednotlivé kroky při úpravě mračen:

Tab. 3: Úbytek bodů při úpravě mračen

	Sedlová část		Pultová část	
	Počet bodů		Počet bodů	
Mračno po registraci	267 miliónů		228 miliónů	
Mračno po oříznutí	133 miliónů	-49.8 %	117 miliónů	-48.7 %
Po <i>Filter By Value</i>	128 miliónů	-1.9 %	116 miliónů	-0.4 %
Po <i>Noise filter</i>	93 miliónů	-13.1 %	89 miliónů	-11.8 %
Po <i>Remove duplicate points</i>	64 miliónů	-10.9 %	80 miliónů	-3.9 %

Úpravami klesl počet bodů zaměřené sedlové části o 75.7 %, u pultového skleníku o 64.8 %.

Celková velikost souboru upraveného a očištěného mračna celého objektu je 2.5 GB (ve formátu *.e57) a obsahuje 138 miliónů bodů.

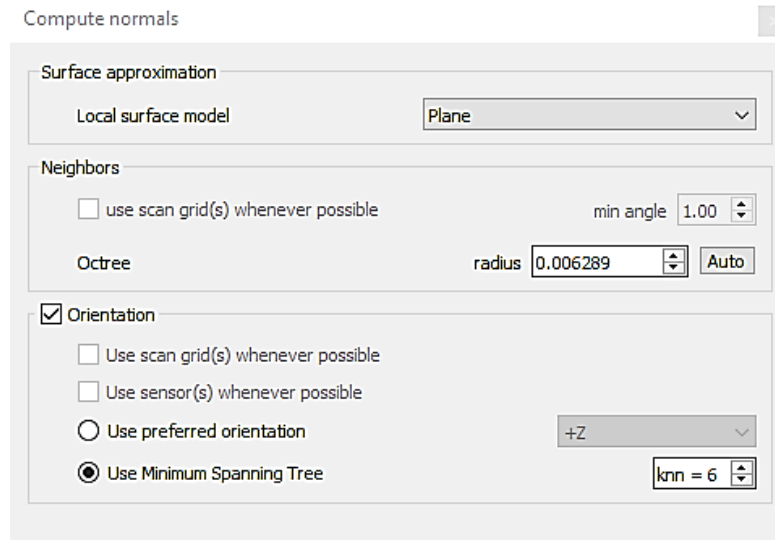
4.2.3 Tvorba síťového modelu

V rámci druhého měřického výjezdu byly vyfoceny detaily vybraných částí konstrukce, ze kterých byly vytvořeny dílčí prostorové modely. Postup této práce bude popsán později v kapitole 4.5. Pro zajímavost, ukázkou kvality a úrovně detailu dat získaných laserovým skenováním a pro porovnání právě s metodami fotogrammetrickými, byly v registrovaném mračnu sedlové části skleníku vybrány některé detaily konstrukce, ze kterých byla vyhotovena síť (anglicky *Mesh*). Jedná se o plošný útvar složený z velkého množství sousedících trojúhelníkových plošek s vrcholy v bodech mračna, který může být pokryt i barevnou texturou. (8)

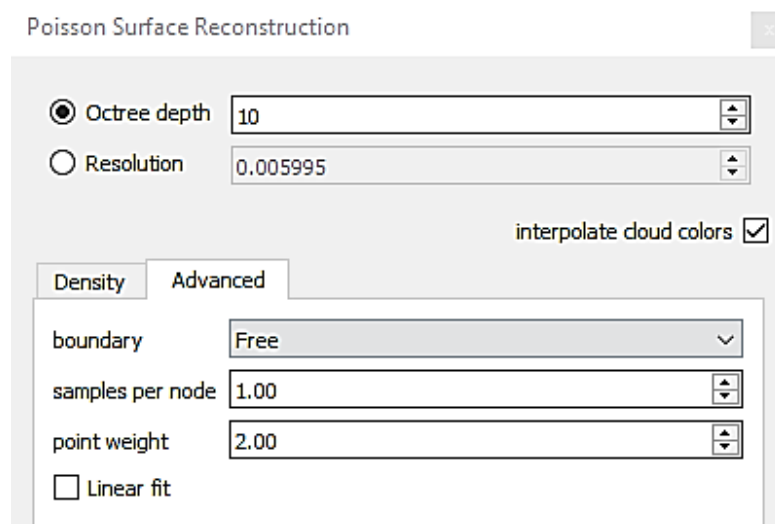
K vytvoření síťového modelu byl použit program CloudCompare. Výsledná podoba subtilní konstrukce skleníku v upraveném mračnu může být ovlivněna postupy filtrace. Z toho důvodu byly pro rekonstrukci detaily vybrány z neočištěného mračna bodů, tedy z mračna po registraci a hrubém oříznutí, ve kterém je uchováno větší množství dat. U jednoho vybraného detailu bylo navíc provedeno očištění mračna od bílého šumu vznikajícího skenováním zasklené části dle postupu popsaného v kapitole 4.2.2. Celkem bylo pro tvorbu modelů připraveno 5 detailů dobře zachycených v bodovém mračnu – reliéfní ozdoby na vstupních dveřích a část navazující podezdívky, detail konstrukce, kde se sbíhá stěna rizalitu s východní stěnou, část nosné konstrukce zastřešení a detail konstrukce na jižní stěně.

Zpracování začalo výpočtem normálových vektorů pomocí funkce *Edit – Normals – Compute*, které jsou důležité pro získání informace o povrchu mračna bodů. Výpočet byl proveden pro každý detail několikrát s různým nastavením, jednotlivé výsledky se od sebe ale příliš nelišily, postačilo tedy ponechat výchozí nastavení (viz obrázek č. 34).

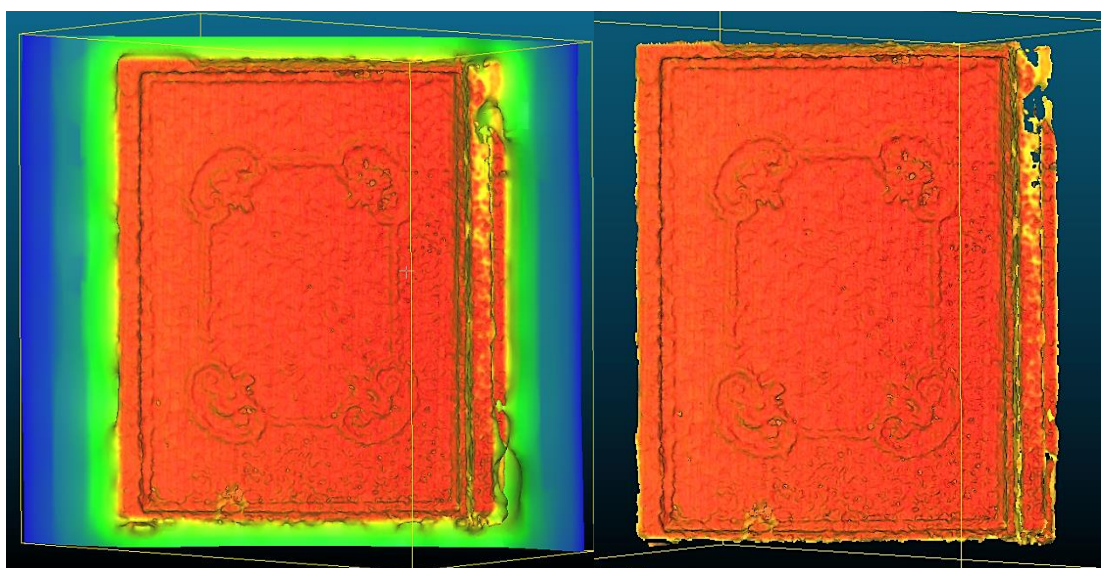
Po výpočtu normál již mohl být použit plugin na tvorbu plošného útvaru *Poisson Surface Reconstruction*. Stejně jako v předchozím případě byl výpočet proveden vícekrát. Nejvíce se osvědčilo nastavení zobrazené na obrázku č. 35. V záložce *Density* byla zaškrtnuta možnost, aby byla hustota bodů zobrazena jako samostatné skalární pole. Díky tomu mohl být pomocí histogramu a funkce *Edit – Scalar Fields – Select By Value* získaný model oříznut. Výsledek je zobrazen na obrázku č. 36.



Obr. 34: Nastavení funkce Edit – Normals – Compute



Obr. 35: Nastavení funkce Poisson Surface Reconstruction



Obr. 36: Výsledek funkce Poisson Surface Reconstruction (vlevo), oříznutý model (vpravo)

Na následujících obrázcích jsou porovnány fotografie s výslednými modely, kterým byla přiřazena barva (textura) odvozená ze skenerem pořízených RGB fotografií.



Obr. 37: Detail 1 – fotografie (vlevo), model z mračna (vpravo)



Obr. 38: Detail 2 – fotografie (vlevo), model z mračna (vpravo)



Obr. 39: Detail 3 – fotografie (vlevo), model z mračna (vpravo)



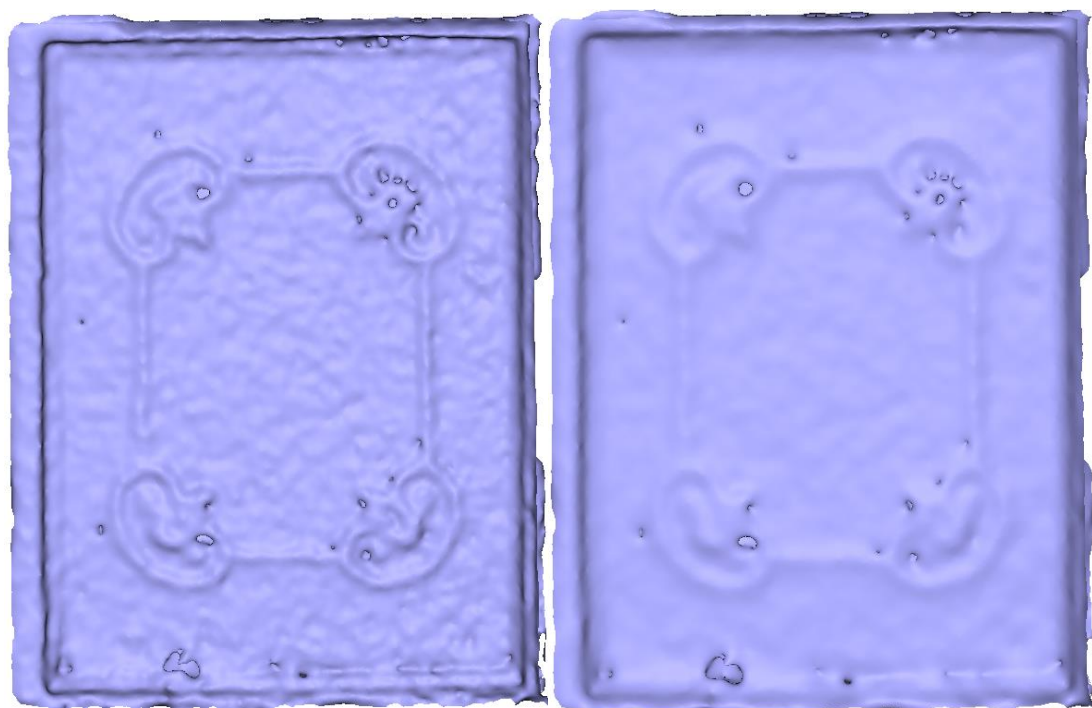
Obr. 40: Detail 4 – fotografie (nahore), model z mračna (dole)



Obr. 41: Detail 5 – fotografie (vlevo), model z mračna (vpravo)

Na obrázcích je vidět, že výstupy z bodového mračna získaného laserovým skenováním nejsou zcela přesné. Například výsledný model detailu č. 1 (obrázek č. 37) vytváří dojem zvlněného plechu, ve skutečnosti tomu tak ale není. Podobná situace pak nastává téměř u všech modelů.

Program CloudCompare nabízí funkci *Edit – Mesh – Smooth*, pomocí které byly vypočtené modely vyhlazeny. Ukázka výsledku je zobrazena na obrázku č. 42.



Obr. 42: Model před použitím funkce *Smooth* (vlevo) a vyhlazený model (vpravo)



Jak je vidět na předešlých obrázcích, z dat pořízených metodou laserového skenování lze vytvářet síťové modely, které se v rámci možností přibližují skutečnosti. To ale velmi záleží na částech konstrukce, které se použijí pro zpracování. Lepší výsledky v našem případě dávají rovinné plochy bez zákrytů pokryté dostatečným množstvím bodů. Nekvalitní výstupy přináší vytváření 3D modelů detailů spojů či samotné konstrukce skleníku (viz obrázek č. 41). To je dáno hlavně vzdáleností, ze které byly tyto prvky skenovány a nastaveným rozlišením skenování. Konstrukce skleníku je tvořena prvky malých rozměrů a není tak pro zpracování tohoto typu naskenována dostatečně. U modelů se špatně identifikují hrany, spojovací prvky a spoje jednotlivých částí jsou hůře rozpoznatelné, modely působí rozmazaně, povrch je zvlněný i v případě rovinných ploch (dle skutečnosti).

Pro kvalitnější výstupy byly v našem případě použity metody fotogrammetrie, blíže v kapitole 4.5. V kapitole 6 jsou pak porovnány výstupy z laserového skenování s metodami fotogrammetrie.

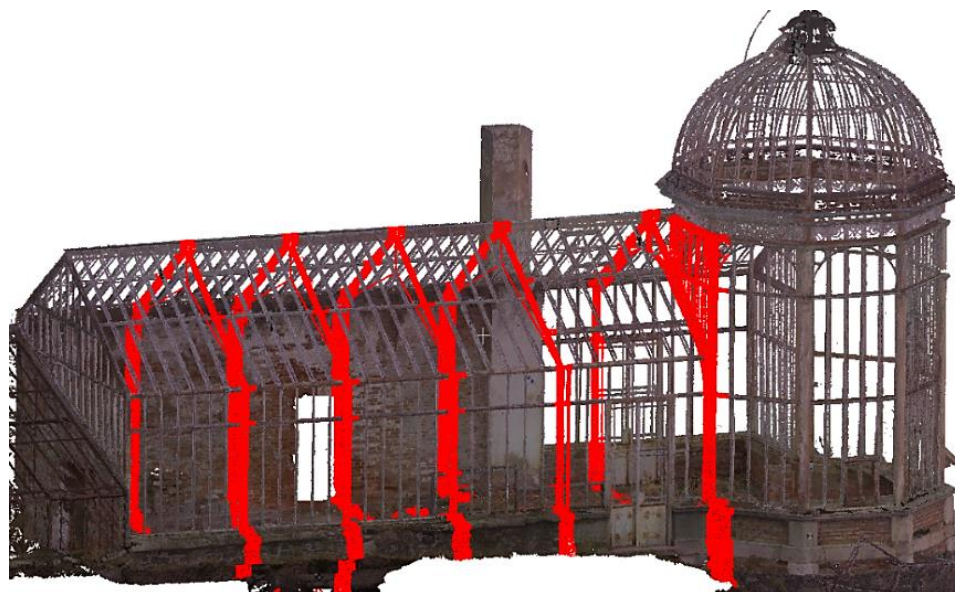
4.3 Zpracování dat z totální stanice

Naměřená data byla exportována z totální stanice a nahrána do programu Groma. Pomocí funkce *Zpracování zápisníku* bylo zpracováno měření ve dvou polohách. Následně byl vytvořen nový seznam souřadnic, do kterého byly zapsány XYZ souřadnice bodů 4001 [1000.000, 5000.000, 100.000] a 4002 [1000.000, 5026.677, 99.970] (náčrt měřické sítě je na obrázku č. 16, str. 27). Souřadnice identických bodů byly vypočteny pomocí funkce *Polární metoda dávkou*. Protokoly o výpočtech a seznam souřadnic jsou součástí příloh 3 - 5.

4.4 Tvorba výkresů

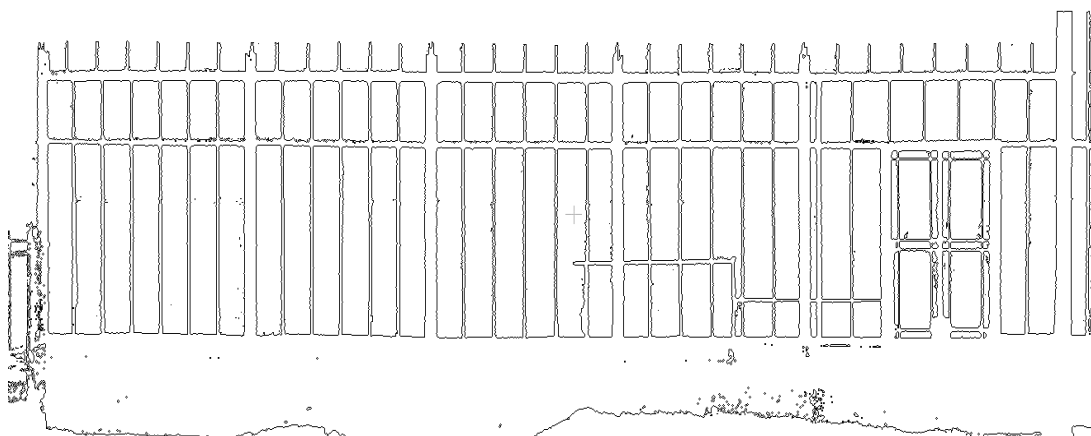
Prioritou měřické dokumentace skleníku na zámku Valeč je sedlová část skleníku, kterou v blízké době čeká před rekonstrukcí inventarizace všech prvků ocelové konstrukce. Na základě této skutečnosti bylo spolu se zadavatelem rozhodnuto, že postačí vyhotovit výkresovou dokumentaci jen této části skleníku.

V programu CloudCompare bylo mračno zaměřeného palmového skleníku rozděleno na 21 částí (*příloha 11*) – čtyři stěny, osm stran rizalitu, samostatná kupole, střecha rozdělená na severní a jižní část a pět svislých řezů v místech nosné konstrukce (viz obrázek č. 43), dále byl vytvořen i jeden vodorovný řez.



Obr. 43: Svislé řezy

Pomocí funkce *Cross Section - Contour* byla z jednotlivých mračen vytvořena jednoduchá vektorizace (viz obrázek č. 44). Výsledek byl uložen do formátu *.dxf. Tyto soubory byly následně otevřeny v programu Microstation, ve kterém byly výkresy vyhotovovány.



Obr. 44: Jednoduchá vektorizace mračna

Nejprve byl otevřený výkres uložen do formátu *.dgn, následně proběhla úprava a příprava pracovního prostředí. Hlavní a pracovní jednotky výkresu byly nastaveny na metry. Dále byly otevřeny dialogy nástrojů. Mezi nejčastěji používané patřil dialog *Manipulovat, Upravit a Režim nájezdu*.







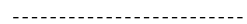
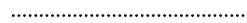


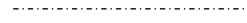
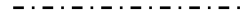
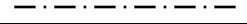

Důležitou součástí výkresu jsou vrstvy (hladiny), do kterých bývá výkres standartně uspořádán. Před samotným kreslením tak byla vytvořena tabulka vrstev (viz tabulka č. 4), která obsahuje název vrstvy, typ a tloušťku čáry a barvu vrstvy.

Tab. 4: Tabulka vrstev

Název vrstvy	Typ čáry	Tloušťka a čáry	Barva vrstvy	Poznámka
DEAFULT				prázdná vrstva
GRAFICKE_MERITKO	plná	0 (tenká)	0	
KOTY	plná	0 (tenká)	15	
MRACNO_VEKTOR	plná	0 (tenká)	80	
OBRAZKY				připojené rastry
OHRANICENI_REZU	plná	0 (tenká)	128	
POKRACOVANÍ KCE	tečkovaná	0 (tenká)	0	předpok. průběh
POMOCNE_POPISY	plná	0 (tenká)	0	
POPISKA+SITUACE	plná	0 (tenká)	0	
PRUBEH_REZU	čerchovaná	2 (tlustá)	128	
PRVKY_POD_REZEM	plná	0 (tenká)	0	
PRVKY_NAD_REZEM	čerchovaná se dvěma tečkami	0 (tenká)	0	
REZ	plná	2 (tlustá)	0	řez konstrukcí
RAM_VYKRES	plná	0 (tenká)	52	
RAM_TISK	plná	0 (tenká)	3	
SOURADNICOVE_KRIZKY	plná	0 (tenká)	34	

Typy a tloušťky čar byly voleny dle základní škály tlouštěk a typů čar užívaných ve stavebních výkresech památkových objektů (viz tabulka č. 5). Vychází se z ČSN 013420, jedná se ale o rozšířenou verzi, která se používá u obzvlášť složitých objektů, pro které je stávající normou definovaná škála nedostačující. (8)

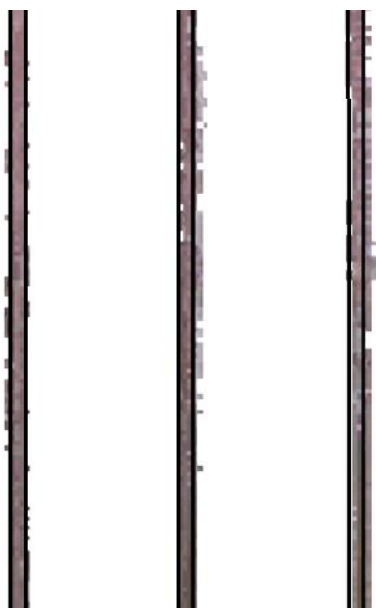
Tab. 5: Základní škála tlouštěk a typů čar

Tloušťka		Použití
Velmi tenká		předpokládaný průběh, rekonstrukce
Tenká		viditelné hrany pod i nad rovinou řezu
Tlustá		řez konstrukcemi stavby
Velmi tlustá		vyznačení průběhů řezů, hřebeny střech
Typ čáry		Použití
tlustá plná		řez konstrukcemi stavby
tenká plná		viditelné hrany a obrysy pod rovinou řezu
tenká čárkovaná		skryté hrany a obrysy pod rovinou řezu
tečkovaná		předpokládaný průběh
tenká čerchovaná se dvěma tečkami		hrany nad rovinou řezu
tenká čerchovaná		sklopená čela kleneb
tenká čerchovaná		osy trámů, nosníků apod.
tenká čerchovaná		osy záměr, polygonové strany
tlustá čerchovaná		vyznačení průběhů řezů
tlustá čerchovaná se dvěma tečkami		hřebeny a hrany střech

Po načtení vektorové vrstvy a přípravě prostředí začalo obkreslování prvků konstrukce náležitě rozříděných do vytvořených hladin. V CloudCompare byly v případě potřeby pomocí funkce *Point picking* zjišťovány a ověřovány vzdálenosti. Při řešení detailů a spojů některých částí konstrukce není rozlišení mračna dostačující, proto bylo i velmi často nahlíženo na pořízenou fotodokumentaci (*příloha 36*).

Stěny sedlové části skleníku jsou mimo nosnou konstrukci tvořeny dvojitými výplňovými rámy. Na základě konzultace se zadavatelem bylo rozhodnuto, že budou na výkresech nakresleny pohledy na danou část konstrukce z exteriéru i z interiéru.

Vytvořené výkresy budou sloužit hlavně jako schémata, do kterých budou zapisovány poznámky týkající se stáří a stavu konstrukce. Z toho důvodu je možné dovolit určitý stupeň generalizace. Např. u výplňových rámu bylo předpokládáno, že mají stejnou tloušťku, ačkoliv tomu nemusí vždy odpovídat informace získaná na základě skenování (viz obrázek č. 45). Ve skutečnosti je rozdíl v tloušťkách způsoben pouze různým množstvím tmelu, pomocí kterého jsou uchyceny skleněné tabule.

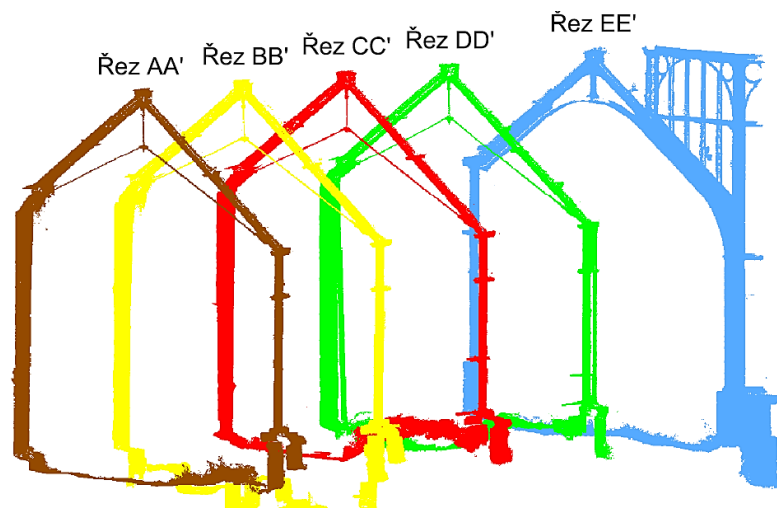


Obr. 45: Generalizace tloušťky sloupků

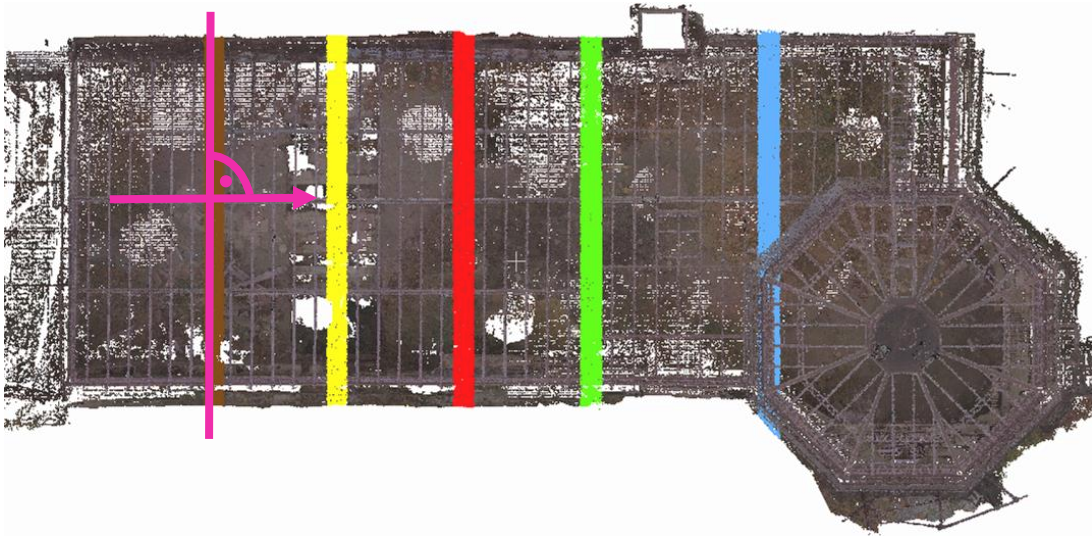
Určitý stupeň generalizace je potřeba volit i v návaznosti na zvolené měřítko. Po dohodě bylo zvoleno měřítko 1 : 50 pro všechny výkresy. Není tedy žádoucí zakreslovat do výkresů detaily menší než cca 3 cm, které by dostatečně nevynikly. Ve stávající dokumentaci, která byla poskytnuta zadavatelem, jsou již detaily spojů a průběhu některých konstrukcí vyhotoveny. Výkresy v menším měřítku tedy nebylo potřeba zpracovávat.

Po dokončení kresby byly výkresy doplněny o rám tisku a výkresu, popisku se situací a souřadnicové křížky, které byly nakresleny pomocí zapnutého přichytávání na mřížku. Doplněny byly také kóty. Pro porovnání se stávající dokumentací byly rozměry konstrukce v půdoryse kótovány stejným způsobem jako v poskytnutých projekčních podkladech. Do pohledů byly doplněny výškové kóty. Jako srovnávací rovina byla zvolena úroveň prahu vstupních dveří na jižní stěně skleníku. Nakonec byl do každého výkresu připojen rastrový obrázek pohledu na mračno vygenerovaný v programu CloudCompare. Pomocí funkce *Transformace* v programu Microstation byl rastr napasován na jednoduchou vektorizaci, podle které byly výkresy vyhotovovány. Seznam výkresů je uveden v kapitole 5.2 na str. 59.

Po domluvě se zadavatelem byl dále vytvořen výkres znázorňující průběh geometrické deformace ve směru kolmém na osu konstrukce. V programu CloudCompare byly z mračna vyříznuty části nosné konstrukce (šikmé nosníky + sloupky svislých stěn) viz obrázek č. 46. Tloušťka jednoho řezu odpovídá tloušťce konstrukce, tedy zhruba 15 cm. Směr pohledu svírá kolmicí s rovinou danou prvním řezem A-A' (viz obrázek č. 47). Pomocí funkce *Display – Render to file* byly pořízeny snímky včetně detailů konstrukce, které byly do formy výkresu se všemi náležitostmi zpracovány v programu Microstation.



Obr. 46: Obarvené mračno

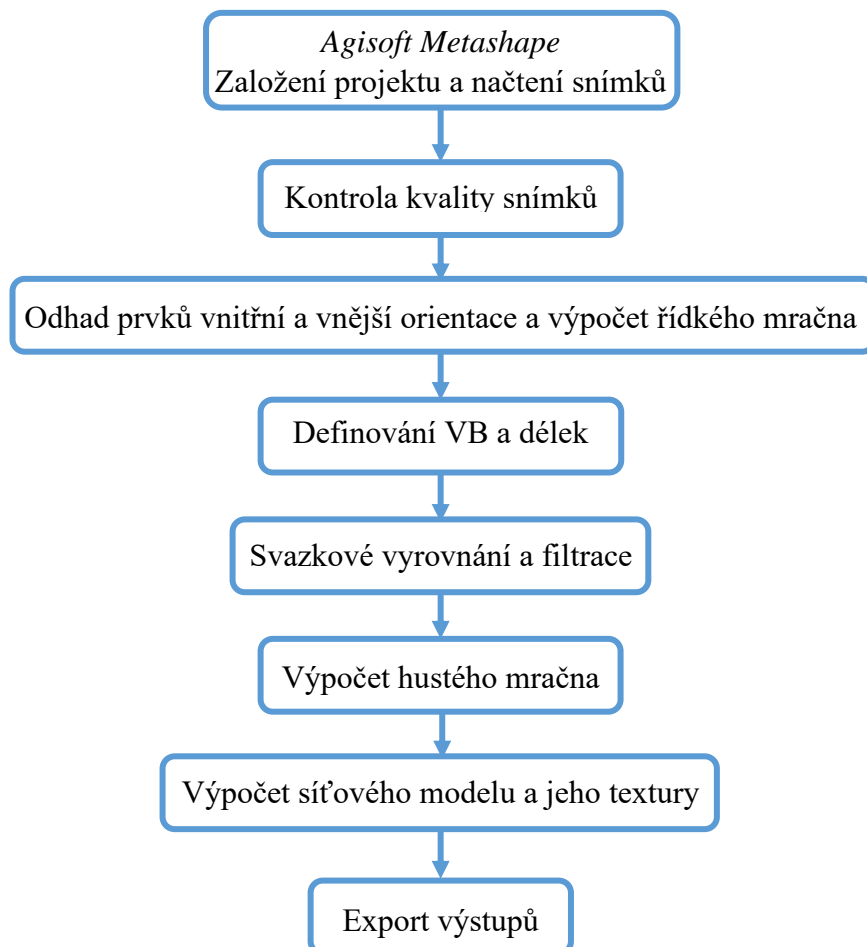


Obr. 47: Směr pohledu

4.5 Fotogrammetrická dokumentace vybraných detailů

V následujícím textu bylo čerpáno ze zdrojů (22) a (23).

Postup fotogrammetrického zpracování snímků se řídil tímto schématem:





Pořízené snímky byly exportovány z fotoaparátu ve formátu *.jpg. K fotogrammetrickému zpracování byl použit software Agisoft Metashape, ve kterém byl založen nový projekt pro každý vyhotovovaný detail. Do projektu byly načteny snímky.

Nejprve byla zkontrolována kvalita snímků pomocí funkce *Estimate image quality*. Dle manuálu k programu Agisoft Metashape je doporučený koeficient kvality 0.5 a vyšší. Snímky s nižším koeficientem je lepší z výpočtu vyloučit, nebo je z projektu odstranit úplně. Toto kritérium nesplnilo celkem 6 snímků napříč fotografiemi všech detailů, z projektů byly odstraněny.

Následovalo spuštění funkce *Align photos*, při které dochází k odhadnutí prvků vnitřní a vnější orientace spolu s výpočtem řídkého mračna. V nastavení funkce byla zvolena vysoká přesnost odhadnutí prvků vnitřní orientace. Parametr *Key point limit*, který nastavuje maximální množství klíčových bodů snímků, byl nastaven dle doporučených hodnot na 40 000 a *Tie point limit*, určující max. počet spojovacích bodů na snímku, byl nastaven na hodnotu 10 000.

Po výpočtu bylo potřeba definovat vlíčovací body na přiložených měřítkách. Na snímcích byly dále označeny všechny body, mezi kterými byly určeny vzdálenosti (přímo změřené nebo byly dány velikostí použitých měřítok a body na nich zvolenými). Dále byly definovány charakteristiky přesnosti:

- přesnost vlíčovacího bodu: **0.001 m**
- přesnost oměrných měř: **0.001 m**
- přesnost sejmutí značky na snímku: **2 pix**

Funkcí *Optimize Cameras* bylo provedeno svazkové vyrovnání, které mimo jiné zpřesňuje parametry vnější a vnitřní orientace. Pro zajištění maximální přesnosti je vhodné funkci zapnout po každé úpravě měřených dat, či při změně jejich přesnosti. Posledním krokem před výpočtem hustého mračna byla filtrace spojovacích bodů pomocí funkce *Gradual Selection*. Filtrace probíhá několikrát, jejím cílem je najít a odstranit nevhodné spojovací body. Nejprve se zvolí jedno kritérium, nastaví se jeho hodnota, provede se výpočet a označené body se odstraní. Následuje výpočet zmíněného svazkového vyrovnání a proces filtrace se opakuje s jiným parametrem.

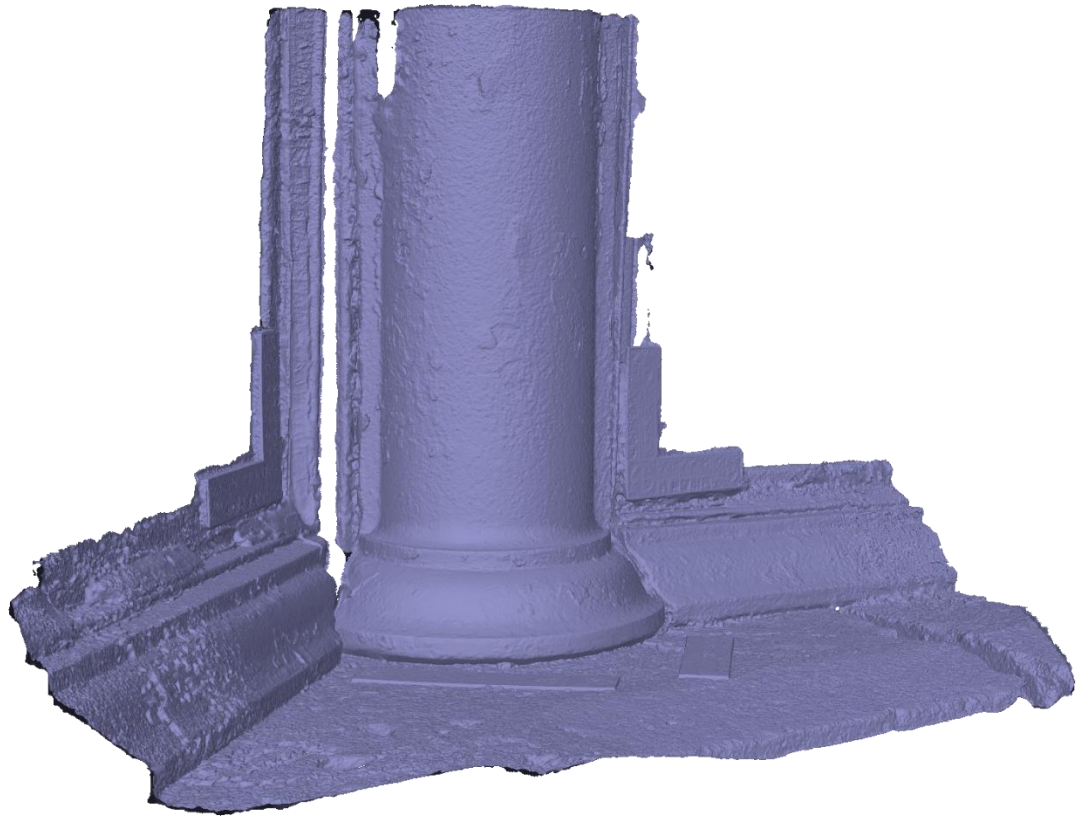
Výpočet hustého mračna byl spuštěn funkcí *Build Dense Cloud*. V nastavení byla zvolena vysoká kvalita hloubkových map. Parametr *Depth filtering*, který filtruje mračno o odlehlé body, má 3 možnosti nastavení. Pro členité objekty s malými detaily je vhodné zvolit *Mild*, *Aggressive* pro objekty bez výrazných detailů a také pro leteckou fotogrammetrii. Zvolený stupeň filtrace *Moderate* je kompromisem těchto dvou možností. Výpočet hustého mračna trval zhruba hodinu a půl pro každý detail konstrukce. Výsledek byl zkontrolován a zeditován. Odstraněny byly chybné body a body mimo oblast zájmu.

Posledním krokem bylo zpracování polygonového 3D modelu a jeho textury pomocí funkce *Build Mesh*. Typ povrchu (*Surface type*) byl nastaven na *Arbitrary*, který se používá pro uzavřené objekty jako jsou sochy, budovy apod. Podkladem pro tvorbu sítě (*Mesh*) bylo vypočtené husté mračno. Parametr *Face count*, který vyjadřuje maximální počet polygonů ve výsledné síti, byl nastaven na hodnotu 10 000 000, která odpovídá hodnotě označované jako *High*. Funkcí *Build texture* byla po výpočtu polygonové sítě vypočtena textura 3D modelu.

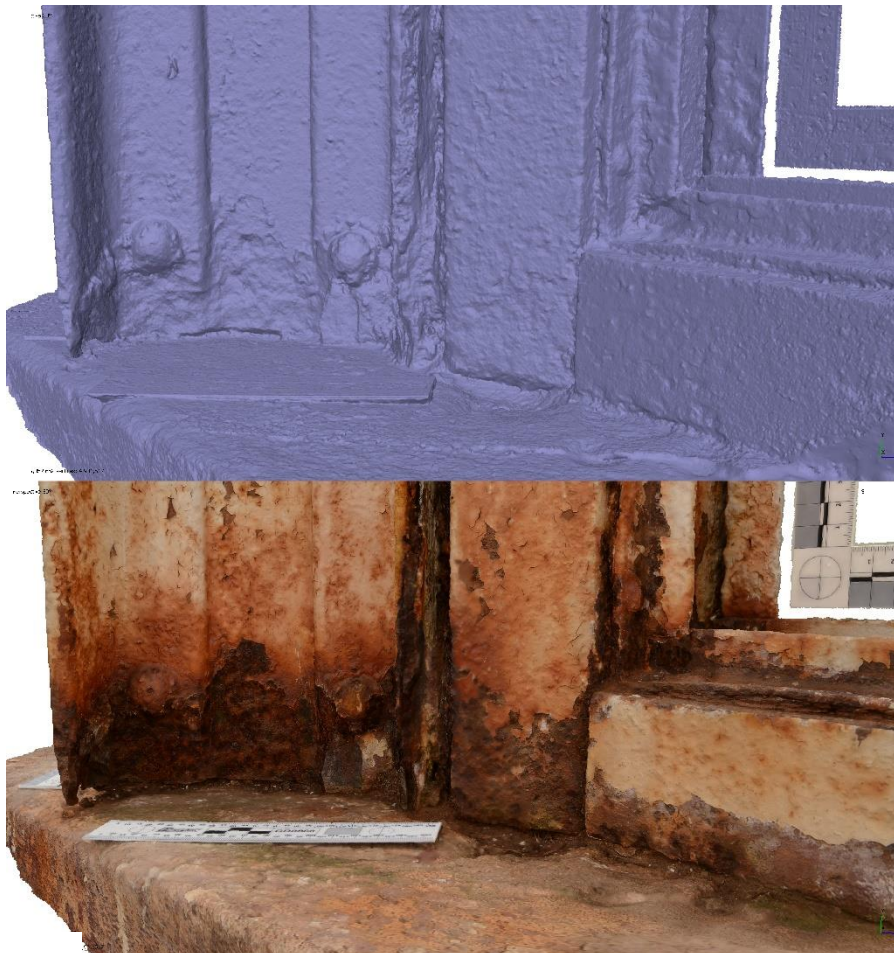
Na následujících obrázcích jsou zobrazeny pohledy na vytvořené 3D modely. Na obrázku č. 17 v kapitole 3.2.3 (str. 27) je načrtnuto, kde se vybrané detaily nachází.



Obr. 48: Model - detail 1 – bez textury (nahore), s texturou (dole)



Obr. 49: Model - detail 2 – bez textury (nahore), s texturou (dole)



Obr. 50: Model - detail 3 – bez textury (nahore), s texturou (dole)



Obr. 51: Model - detail 4 – bez textury (vlevo), s texturou (vpravo)



Přesnost vyhotovených modelů lze vyhodnotit na základě středních chyb definovaných délek. Tyto hodnoty jsou uvedeny v protokolu o zpracování vygenerovaném v programu Agisoft Metashape (*přílohy 25 – 28*). Okomentovány jsou v kapitole 7.4, ve které je přesnost vytvořených síťových modelů rozebrána podrobněji. Zde lze podotknout, že se výsledné střední chyby pohybují v řádu desetin milimetrů, což lze považovat za vyhovující výsledek.

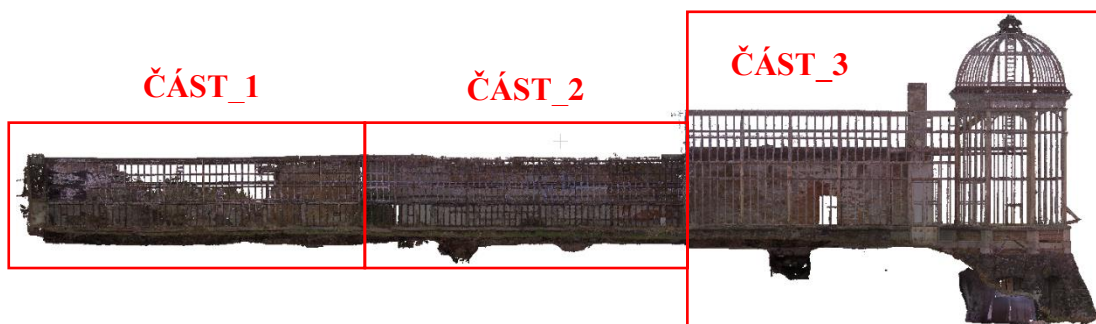
Při pohledu na jednotlivé modely (s texturou i bez) se nezdá, že by byly zatíženy chybami. Úroveň detailu je vyhovující, hrany konstrukce jsou dobře identifikovatelné. Pohledem lze rozlišit druh spojovacích součástí (nýty, šrouby). Nedostatek, který je potřeba podotknout, je vznik prázdných míst. Z důvodu nepřístupnosti nebylo možné tato místa vyfotografovat, neexistují zde tak data, na jejichž základě by byla síť vypočtena. Jedná se hlavně o prostory mezi okenními deskami.

5 Výstupy dokumentace

V následující kapitole jsou shrnuty dílčí výstupy měřické dokumentace skleníku.

5.1 Mračno bodů

Spojené a upravené mračno bylo exportováno do formátu *.e57. Jelikož se jedná o velký soubor (2.5 GB), pro jednodušší práci s daty bylo mračno rozděleno na tři části (viz obrázek č. 52). Ve stejném formátu byly také exportovány všechny oříznuté části mračna sedlového skleníku na jejichž základě byla vyhotovena výkresová dokumentace (viz tabulka č. 12, str. 77). Dále jsou k této diplomové práci přiloženy i neupravené skeny ze skeneru Leica BLK360 (přílohy 8 – 11).



Obr. 52: Rozdělení mračna

5.2 Výkresová dokumentace

Celkem 22 vyhotovených výkresů (viz tabulka č. 6) bylo exportováno ve formátu *.pdf pro účely tvorby tiskových výstupů. V programu Adobe Acrobat Pro DC bylo upraveno zobrazování vrstev tak, aby se při otevření výkresu automaticky nezobrazovala vrstva *Mracno_vektor* a připojené rastry. Nejmenší rozměr výkresu je A4, největší pak 4xA4 (840 x 297 mm).

Soubory s výkresy byly v programu Microstation uloženy do formátů *.dgn a *.dwg. (přílohy 14 – 16). Ve složce s *.dgn a *.dwg soubory jsou také přiloženy referenční rastrové obrázky pohledů na mračno, které jsou k výkresům připojeny relativně.



Tab. 6: Seznam výkresů

Číslo výkr	Název výkresu	Název souboru*	Měřítko	Formát
V01	Půdorys	V01_pudorys	1 : 50	3xA4
V02	Pohled – stěna - jih	V02_Pohled_stena_jih	1 : 50	3xA4
V03	Pohled – stěna – západ	V03_Pohled_stena_zapad	1 : 50	A3
V04	Pohled – stěna – východ	V04_Pohled_stena_vychod	1 : 50	A3
V05	Pohled – stěna - sever	V05_Pohled_stena_sever	1 : 50	3xA4
V06	Pohled – rizalit – jihozápad	V06_Pohled_rizalit_jihozapad	1 : 50	A3
V07	Pohled – rizalit - jih	V07_Pohled_rizalit_jih	1 : 50	A3
V08	Pohled – rizalit – jihovýchod	V08_Pohled_rizalit_jihovychod	1 : 50	A3
V09	Pohled – rizalit – východ	V09_Pohled_rizalit_vychod	1 : 50	A3
V10	Pohled – rizalit – severovýchod	V10_Pohled_rizalit_severovychod	1 : 50	A3
V11	Pohled – rizalit – sever	V11_Pohled_rizalit_sever	1 : 50	A3
V12	Pohled – rizalit – severozápad	V12_Pohled_rizalit_severozapad	1 : 50	A4
V13	Pohled – rizalit – západ	V13_Pohled_rizalit_zapad	1 : 50	A3
V14	Pohled - kupole	V14_Pohled_kupole	1 : 50	A3
V15	Pohled – střecha - jih	V15_Pohled_strecha_jih	1 : 50	3xA4
V16	Pohled – střecha - sever	V16_Pohled_strecha_sever	1 : 50	4xA4
V17	Svislý řez A-A'	V17_Svisly_rez_AA	1 : 50	A4
V18	Svislý řez B-B'	V18_Svisly_rez_BB	1 : 50	A4
V19	Svislý řez C-C'	V19_Svisly_rez_CC	1 : 50	A4
V20	Svislý řez D-D'	V20_Svisly_rez_DD	1 : 50	A4
V21	Svislý řez E-E'	V21_Svisly_rez_EE	1 : 50	A4
V22	Svislé řezy - deformace	V22_Svislé_řezy_deformace	1 : 50	A4

* přípona souborů *.dgn a *.dwg

5.3 3D modely detailů konstrukce

Výsledné 3D modely detailů, které byly vytvořeny na základě metod fotogrammetrie, byly exportovány do formátu *.obj. Hustá mračna, ze kterých byly modely vypočteny, byla exportována do formátu *.ply. Dále byly uloženy protokoly o výpočtu a samotné projekty z programu Agisoft Metashape (přílohy 17 - 32).

5.4 Vizualizace

Pro nahlédnutí na vyhotovené výstupy bez nutnosti importování mračna, modelů či projektů do specializovaných software, byly vytvořeny pohledy na vyhotovené výstupy (z fotogrammetrie i laserového skenování) ve formátu *.png (přílohy 33 - 35).

5.5 Fotodokumentace

Součástí příloh je i fotodokumentace celého objektu pořízená během měření v terénu (příloha 36).

6 Porovnání výsledků laserového skenování s výsledky fotogrammetrie

V momentě, kdy bylo rozhodnuto o druhém měřickém výjezdu na zámek Valeč, byly z již zpracovaného mračna sedlové části skleníku vybrány detaily konstrukce, ze kterých byly vyhotoveny 3D modely. Cílem je ukázat další možnosti práce s porízenými daty, zároveň také porovnat výsledky s metodami fotogrammetrie, na jejichž základě byly vytvořeny modely zadavatelem vybraných částí konstrukce.

V této kapitole budou porovnány vyhotovené výstupy a použité metody. Postupy tvorby síťových modelů jsou uvedeny v kapitolách 4.2.3 (laserové skenování) a 4.5 (fotogrammetrie).

Pro porovnání byl pomocí obou měřických metod vyhotoven model nosné části konstrukce, kde se sbíhá východní stěna s rizalitem (viz obrázek č. 53).



Obr. 53: Detail konstrukce

Na obrázku č. 54 je vidět už na první pohled obrovský rozdíl v počtu bodů, které mračna obsahují.

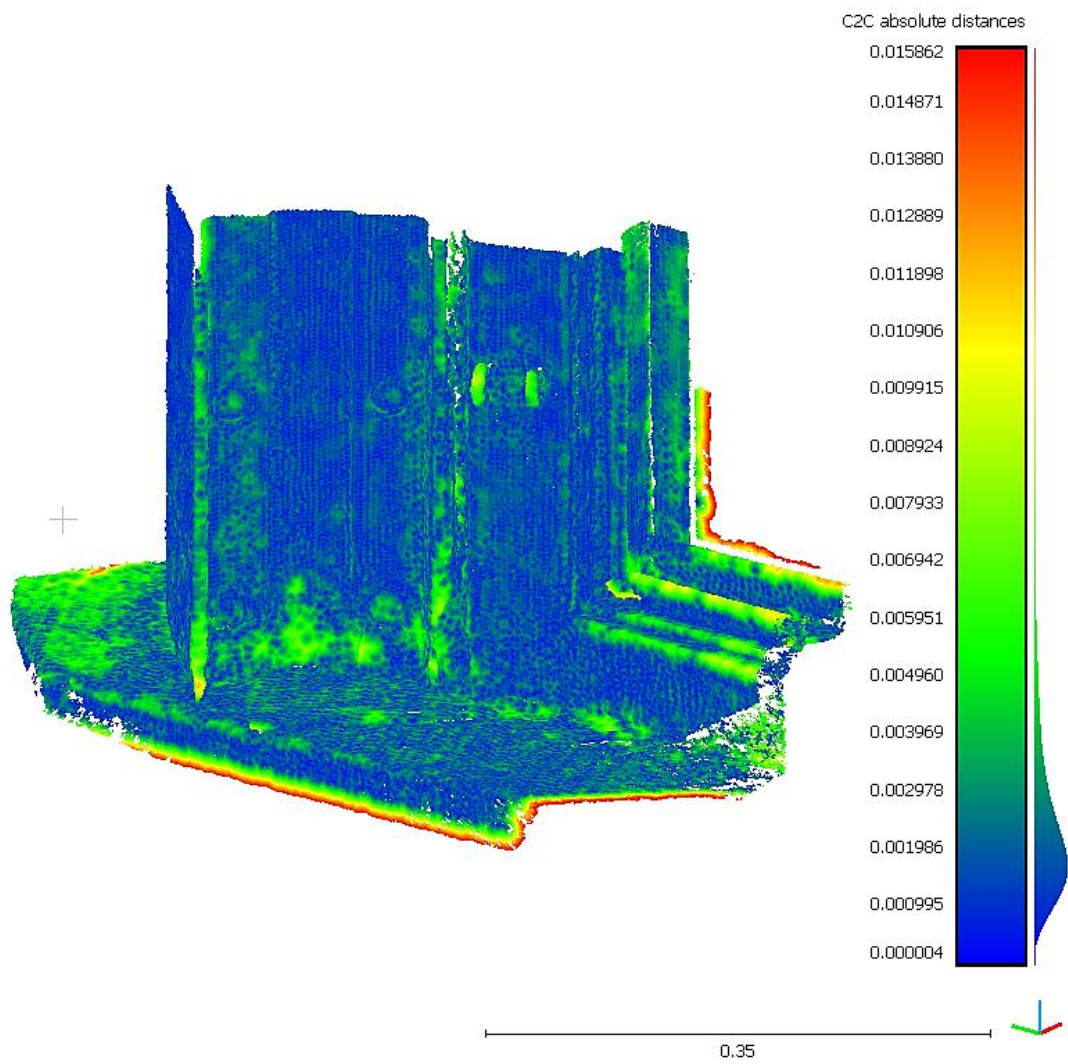


Obr. 54: Mračno bodů – laserové skenování (vlevo), fotogrammetrie (vpravo)

Vyříznutý detail z registrovaného neočištěného mračna získaného metodou laserového skenování obsahuje necelých 115 000 bodů, zatímco husté mračno, vytvořené ze zpracovaných snímků, obsahuje zhruba 29 600 000 bodů, skoro 260x více.

V programu CloudCompare byla na sebe pomocí funkce *Clouds Registration* mračna natransformována. Následně byly, pro zřetelnější porovnání a zobrazení odchylek, mezi mračny vypočteny vzdálenosti funkcí *Distance computation*. Výsledek je zobrazen na obrázku č. 55. Z vygenerovaného skalárního pole, jehož barevné spektrum je dáno vypočtenými vzdálenostmi mezi mračny, je vidět, že se největší odchylky nacházejí v místech hran konstrukce, které jsou mnohem lépe zachyceny v mračnu bodů získaného zpracováním snímků, a v zakrytých místech, kde nejsou skenerem pořízena žádná data. Jinak jsou ale mračna tvarově téměř totožná, skalární pole tvoří převážně tmavá modrá barva, která značí odchylky do 2 mm.

Na obrázku č. 56 jsou zobrazeny vytvořené 3D modely. Není překvapením, že se množství bodů mračna projevilo na výsledné kvalitě sítě. U modelu ze skenování jsou hůře rozlišitelné detaily a hrany konstrukce. Celkově působí model rozmazaně, spoje konstrukcí nejsou příliš dobře rozlišitelné. Naprosto opačná situace pak nastává u modelu ze snímků.



Obr. 55: Vzdálenosti mezi mračny



Obr. 56: 3D model – laserové skenování (vlevo), fotogrammetrie (vpravo)

Metody fotogrammetrie jsou velmi dobrým nástrojem pro přesné zachycení měřeného objektu. Mezi výhody použité technologie IBMR patří podstatně nižší náklady na techniku, v některých případech si měřič vystačí i s fotoaparátem v telefonu. V terénu pak dochází k minimalizaci prací, sběr dat je oproti skenování rychlejší.

Výhodou skenování je automatizovaný proces přímého měření 3D bodů. Ovládání skeneru, konkrétně Leica BLK360, je velmi jednoduché a po krátkém zaškolení je možné vyslat do terénu v podstatě kohokoliv. Nevýhodou je pak pořizovací cena skeneru a větší objem dat, které kladou vyšší požadavky na software a hardware.

V obou případech klesá přesnost výsledků se vzdáleností, ze které byla data pořízena. Výsledky laserového skenování dále ovlivňují chyby z vlivu měřeného objektu jako např. vícenásobný odraz, dvojitý odraz nebo chybné určení souřadnic výsledného bodu při měření na rohy objektu. To je dáno hlavně velikostí laserové stopy a vzdáleností, ze které je objekt skenován. (10)

Ideálně by při měřické dokumentaci měly být metody kombinovány, pokud to lze. To mimo jiné dokazuje i obrázek č. 57. Na něm je zobrazen pohled na detail č. 2 v naskenovaném mračnu. Místo je značně prořídlé a pro další zpracování (například tvorbu modelu) nevhodné. V případě měřické dokumentace skleníku, který je tvořen subtilní konstrukcí, je vhodnější zvolit pro zaměření metodu laserového skenování. Fotogrammetricky pak lze naskenované mračno doplnit v místech, kde nemáme z důvodu zákrytu data nebo tam, kde je rozlišení naskenovaných dat nedostačující.



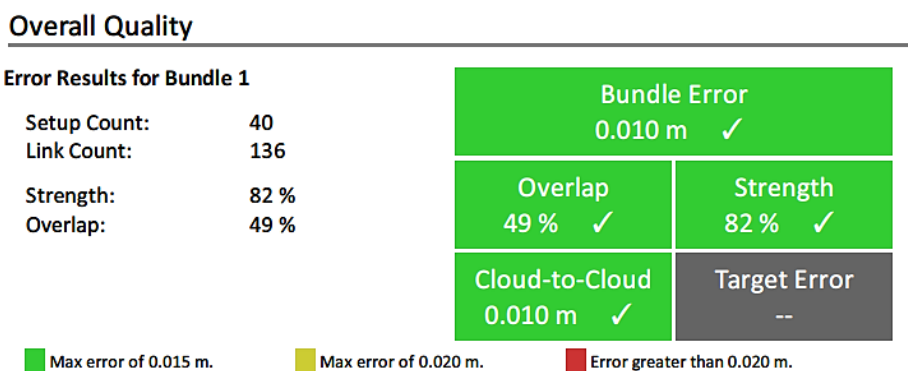
Obr. 57: Pohled na detail č. 2 – foto (vlevo), mračno (vpravo)

7 Zhodnocení přesnosti naměřených dat

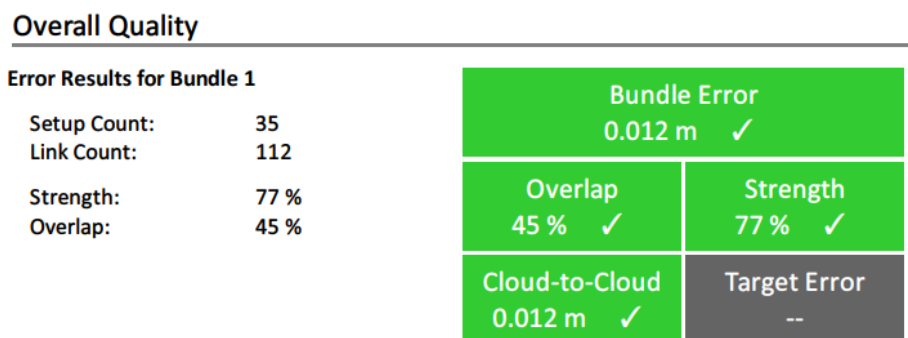
V této kapitole budou shrnuty všechny metody, kterými byla zkontrolována přesnost naměřených dat a výsledků.

7.1 Hodnocení kvality registrace mračna

Hodnocení kvality registrace mračna bylo přiblíženo v kapitole 4.2.1. V rámci registrace v programu Leica Cyclone REGISTER 360 je možné sledovat celkovou chybu svazků, procentuální překrytí a propojení skenů. Všechny tyto údaje jsou uvedeny v protokolu, který je součástí příloh této diplomové práce (*přílohy 12 a 13*). Výsledné parametry registrace jsou uvedeny na obrázcích č. 58 a 59.



Obr. 58: Přehled parametrů registrace mračna zaměřené sedlové části skleníku



Obr. 59: Přehled parametrů registrace mračna zaměřené pultové části skleníku

Barevně (zelená, žlutá a červená) jsou v protokolu rozlišeny přesnosti propojení skenů. Největší chyba byla při prvním měření 0.018 m mezi skeny č. 31 a 29, to byla také jediná hodnota, která překročila hodnotu 0.015 m. Po registraci skenů pultového skleníku byla největší chyba 0.018 m u propojení skenů č. 27 a 24, 28 a 26. Propojení s chybou větší než 0.015 m je v případě druhého měření více. Horší přesnost je dána především obtížnější registrací. Pultový skleník je v dost neudržovaném stavu. Je zde hodně plevele, suti, ocelová konstrukce je tenká, skenována je z různých úhlů a nebylo



v některých místech vždy jednoduché nalézt dostatečné překrytové území při zapnutí funkce *Visual Alignment* v software Leica Cyclone REGISTER 360, ve kterém byla mračna registrována. I tak lze ale říct, že výsledná přesnost odpovídá přesnosti očekávané, která vychází z přesnosti použitého přístroje a podmínek při měření.

7.2 Kontrola měření totální stanicí

V programu Groma bylo zpracováno měření ve dvou polohách. V protokolu (*příloha 3*) nebyla žádná měření vyhodnocena jako podezřelá.

Odhad kolimační chyby: 0.0001 gon

Odhad indexové chyby: 0.0014 g

7.3 Ověření polohového a výškového umístění registrovaného mračna

Při měření totální stanicí bylo zaměřeno několik identických bodů - černobílé terče a jednoznačně identifikovatelné podrobné body na konstrukci (měřické náčrty jsou k nahlédnutí v příloze č. 7) . Souřadnice těchto bodů byly sejmuty z bodového mračna. V programu Groma byly založeny dva seznamy souřadnic obsahující souřadnice identických bodů v místním souřadnicovém systému (měření totální stanicí) a v systému naskenovaného mračna. Funkcí *Výpočty – Transformace* byl shodnostní transformací vypočten transformační klíč. Díky souřadnicovým rozdílům na identických bodech určených při výpočtu můžeme zkontrolovat správnost registrace skenů. CloudCompare pracuje s matematicky definovaným souřadnicovým systémem, před výpočtem byly identickým bodům z mračna zaměněny souřadnice X a Y, které byly následně vynásobeny hodnotou -1.

Tab. 7: Souřadnicové rozdíly identických bodů

Bod	dX	dY
	[m]	[m]
1	0.008	0.002
3	-0.002	-0.003
4	0.000	-0.001
5	-0.002	0.002
8	-0.005	-0.003
105	-0.001	-0.005
106	0.005	0.005
108	-0.004	-0.002
112	0.001	0.006



Dále byly porovnány šikmé délky odečtené z mračna pomocí funkce *Point picking* s délkami vypočtenými ze souřadnic zaměřených bodů.

Tab. 8: Porovnání délek

Délka mezi body	Mračno [m]	Totální stanice [m]	Rozdíl [m]
1 - 3	7.131	7.122	0.009
3 - 4	4.200	4.198	0.002
8 - 3	8.079	8.077	0.002
8 - 108	12.640	12.637	0.003
5 - 106	30.698	30.690	0.008
112 - 114	3.090	3.087	0.003
118 - 3	36.775	36.766	0.009
8 - 112	12.697	12.704	-0.007
105 - 3	26.130	26.130	0.000

Pro kontrolu výškového umístění registrovaného mračna byly porovnány výšky (souřadnice Z) identických bodů sejmутých z mračna a vypočtených z měření totální stanicí. Z vypočtených a odečtených výšek byly určeny rozdíly, jejich průměr a odchylky od průměru.

Tab. 9: Porovnání výšek

Bod	Výška - TS [m]	Výška - mračno [m]	Rozdíl výšek [m]	Odchylky [m]
1	102.195	-2.876	105.071	-0.001
3	100.950	-4.123	105.073	0.001
4	102.387	-2.688	105.075	0.002
5	100.810	-4.261	105.071	-0.001
8	100.505	-4.563	105.068	0.004
105	101.940	-3.134	105.074	0.002
106	101.925	-3.150	105.075	0.003
108	102.081	-2.990	105.071	-0.001
112	101.024	-4.050	105.074	0.002
		∅	105.072	

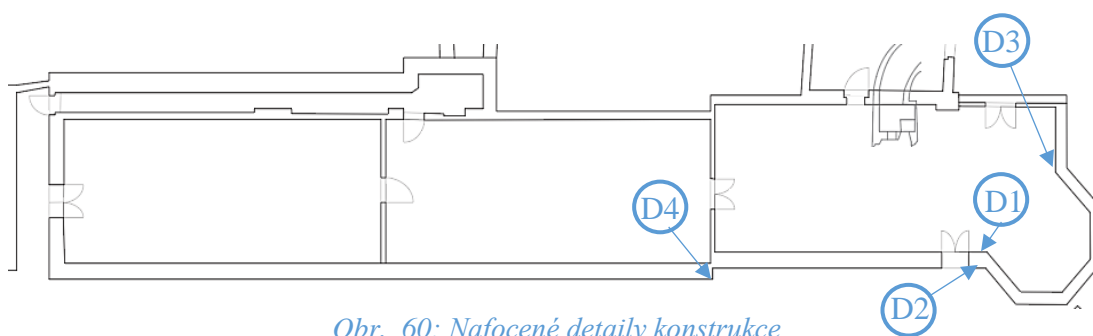
Ve všech třech případech ověření se dá říct, že je velikost odchylek náhodná a nezdá se, že by systematicky narůstala. Největší zjištěná odchylka dosahuje 9 mm u porovnání délek. Velikost odchylek odpovídá očekávané přesnosti. Některé zaměřené body nebyly z důvodu obtížného odečtu z mračna pro vyhodnocení použity.

7.4 Přesnost vytvořených modelů detailů konstrukce

Během zpracování 3D modelů v programu Agisoft Metashape byla kontrolována přesnost oměrných měř, které definují měřítko modelu. V terénu byly vzdálenosti měřené pomocí svinovacího metru odhadovány na 0.5 mm. Přesnost kriminalistických měřitek je 0.1 mm. V software byla nastavena přesnost délek 1 mm. Výsledné odchylky jsou uvedeny v následující tabulce č. 10.

Tab. 10: Odchylky zadaných oměrných měř

Číslo detailu	Oměrná	Odchylka	Průměrná odchylka
	[m]	[m]	[m]
1	0.13025	-0.00025	0.00029
	0.13141	0.00041	
	0.07515	0.00015	
	0.07467	-0.00033	
	0.09976	-0.00024	
	0.09972	-0.00028	
2	0.09988	-0.00012	0.00030
	0.14979	-0.00021	
	0.07469	-0.00031	
	0.07545	0.00045	
3	0.17338	-0.00012	0.00024
	0.09993	-0.00007	
	0.09973	-0.00027	
	0.07499	-0.00001	
	0.07545	0.00045	
4	0.15360	0.00110	0.00072
	0.11320	-0.00030	
	0.12345	-0.00005	
	0.15241	-0.00109	
	0.12881	0.00031	



Obr. 60: Nafocené detaily konstrukce



Jak je vidět v tabulce, průměrná odchylka u modelů 1 – 3 je téměř totožná. U modelu č. 4 je v porovnání s ostatními modely průměrná odchylka větší o zhruba 0.4 mm. Na této konstrukci byly body, mezi nimiž byly měřeny vzdálenosti, značeny pomocí Centropenu se šířkou stopy 2.5 mm. Na jednotlivých fotografiích se tak při definování bodů hůře hledal střed nakreslených křížků. U zbývajících trojice byla mimo nakreslené křížky použita kriminalistická měřítka, na kterých bylo označování bodů mnohem jednodušší.

Dle návodu (24) by měly výsledné odchylky odpovídat zhruba desetinu zadané přesnosti. Vypočtené odchylky tak odpovídají přesnosti očekávané.



8 Závěr

Cílem této práce bylo provést měřickou dokumentaci skleníku na Státním zámku Valeč. Celkem byly uskutečněny dva výjezdy. Během listopadového měření byla skenerem Leica BLK360 naskenována sedlová část skleníku, totální stanicí Leica TS06 byly zaměřeny identické body. Na začátku dubna pak bylo rozhodnuto o druhém výjezdu, při kterém byla doměřena pultová část skleníku. Na základě konzultace se zadavatelem byly také pořízeny snímky vybraných detailů konstrukce.

Sběr dat v terénu proběhl bez problémů. Práce se skenerem je velmi jednoduchá a nenáročná. Po přibližné horizontaci skeneru na zvoleném stanovišti stačí pomocí bočního tlačítka spustit měření, které trvá necelé 4 minuty. Jediné, co bych při měření v terénu skeneru vytkla, je na světle špatně rozlišitelné barevné spektrum signalizačního pruhu a absence libely. Skener je sice vybaven IMU jednotkou, její funkce je ale omezena maximálním nakloněním od tížnice do 5°. Ve členitém terénu je občas obtížné určit, zda je skener do svislice zarovnan.

Data ze skenování byla zpracována v programu Leica Cyclone REGISTER 360 a CloudCompare. Výstupem je očištěné, spojené mračno bodů celého objektu a dílčí mračna konstrukce sedlového skleníku, která sloužila jako podklad pro tvorbu výkresů. Ty byly vyhotoveny v programu Microstation. Důraz byl kladen hlavně na pohledy, které budou před rekonstrukcí použity při inventarizaci všech prvků ocelové konstrukce. Celkem bylo vyhotoveno 22 výkresů v měřítku 1 : 50 – 15 pohledů, půdorys, 5 svislých řezů a jeden výkres znázorňující průběh geometrické deformace ve směru kolmém na osu konstrukce

Časově nejnáročnější bylo zpracování výkresů. Práci s mračnem občas komplikovala velikost dat, a to při jejich exportu ze skeneru, který trval i několik hodin, dále při následném zpracování v programu CloudCompare. Občas docházelo „k zamrznutí“ programu, některé postupy bylo potřeba po samovolném ukončení aplikace opakovat.

Nakonec byly v programu Agisoft Metashape zpracovány pořízené snímky do podoby 3D modelů. Pro porovnání metod laserového skenování a fotogrammetrie byly modely vytvořeny i z naskenovaného mračna.



Již na samotném začátku vyvstala otázka, zda by bylo možné výsledky průzkumu, dokumentace a inventarizace nějakým způsobem znázornit do zaměřených dat. Zjištěné skutečnosti o stáří a stavu konstrukce by mohly být v budoucnu znázorněny min. dvěma způsoby. Jednou z možností je barevné rozlišení bodového mračna např. dle stáří konstrukce (na základě výsledků dokumentace a průzkumu objektu památkářem). Mnohem náročnější možností (vzhledem k členitosti a množství prvků) je vytvoření vektorového modelu, ve kterém by byly dané informace (stáří/stav) znázorněny podobným způsobem.

Dále by zajisté stálo za to provádět opakovaná měření v určitých etapách během provádění rekonstrukce. První a poslední etapy měření by pak mohly být porovnány a na základě tohoto výsledku by bylo možné určit, do jaké míry se povedlo zachovat původní tvar a umístění konstrukce.

Během celého studia jsme neměli mnoho příležitostí pracovat s daty pořízenými laserovým skenováním. Z toho důvodu jsem ráda, že jsem měla možnost zpracovávat toto téma, projít si celým procesem od sběru dat po vyhotovení dílčích výstupů a ujasnit si tak některé technologické postupy. Při měření totální stanicí bych příště byla pečlivější při volbě podrobných (identických) bodů. Některé zaměřené body nebylo v mračnu možné identifikovat a nešlo je tak použít při dalším zpracování. Stejně tak bych nešetřila detailnějšími obrázky a poznámkami při vytváření měřických náčrtů. Během zpracování mě mile překvapil program CloudComapre. Tento software je ke stažení zdarma a bez problémů si poradil se všemi potřebnými kroky při práci s mračnem v rámci této diplomové práce.



9 Seznam použité literatury a zdrojů

1. KOPECKÁ, Jana. Začíná rekonstrukce skleníku ve Valči. Atraktivní bude i pro svatby. *denik.cz*. [Online] 8. 6. 2021. [Citace: 25. 4. 2022.] Dostupné z: <https://chebsky.denik.cz/z-regionu/zacina-rekonstrukce-skleniku-ve-valci-atraktivni-bude-i-pro-svatby-20210608.html>.
2. Oficiální stránky obce Valeč. [Online] [Citace: 10. 3. 2022.] Dostupné z: <https://www.valec.cz/mestecko/historie/>.
3. ČÚZK. Geoprohlížeč. [Online] [Citace: 10. 3. 2022.] Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/>.
4. NPÚ. Valeč - Oficiální webová prezentace státního zámku. [Online] [Citace: 14. 3. 2022.] Dostupné z: <https://www.zamek-valec.cz/cs>.
5. NOVÁ, Eliška a NOVÝ, Miroslav. *Valeč - skleník v areálu státního zámku č.p. 1. Stavebněhistorický průzkum*. [online PDF] Ústí n. Labem, 2009. Dostupné z: interní dokument
6. SCHALLER, Jaroslaus. *Topographie des Königreichs Böhmen, 2. Band*. Prag und Wien : Elbogener Kreis, 1785.
7. ZEICHSKA, Alfred. *Die Geschichte der Stadt Waltsch in Böhmen. "Die grosse Lorenz-Chronik"*. Oberhausen am Rhein : Beck, 1997.
8. VESELÝ, Jan. *Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči*. Praha : NPÚ, ÚOP středních Čech, 2014. ISBN 978-80-86516-79-0.
9. NPÚ. Rekonstrukce věže. *Švihov - oficiální webová prezentace státního hradu*. [Online] [Citace: 7. 5. 2022.] Dostupné z: <https://www.hrad-svihov.cz/cs/zajimavosti/rekonstrukce-veze>.
10. KŘEMEN, Tomáš. *Laserové skenování - úvod*. [přednáška] Praha: ČVUT Fakulta stavební, 2021.
11. Gefos, a.s. Leica BLK. *Gefos*. [Online] [Citace: 15. 3. 2022.] Dostupné z: <https://www.gefos-leica.cz/o-produktech/3d-laserove-skenovani/3d-laserove-skenery/blk360>.
12. AG, Leica Geosystems. Leica FlexLine TS06. *Gefos*. [Online] Dostupné z: https://www.gefos-leica.cz/ftp/Totalni_stanice/Navody/FlexLine/FlexLine_Plus_cesky.pdf.
13. Leica TS06 Total Station. *The Survey Equipment Company*. [Online] [Citace: 15. 3. 2022.] Dostupné z: <https://www.sccssurvey.co.uk/leica-flexline-ts06plus-total-station.html>.
14. Nikon. Nikon D7100. [Online] [Citace: 25. 4. 2022.] Dostupné z: https://www.nikon.cz/cs_CZ/product/discontinued/digital-cameras/2018/d7100.
15. KŘEMEN, Tomáš. *Laserové skenování - Postup měření a zpracování*. [přednáška] Praha: ČVUT Fakulta stavební, 2021.



16. Leica BLK. 11. Setting target ranges with BLK360. *Youtube*. [Online] 16. 11. 2017. [Citace: 10. 11. 2021.]
Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=snoU_d8Twt4&t.
17. CloudCompare home. [Online] [Citace: 14. 3. 2022.]
Dostupné z: <https://www.cloudcompare.org>.
18. Leica Geosystems AG. Leica Cyclone REGISTER 360. *Gefos*. [Online] [Citace: 14. 3. 2022.] Dostupné z: <https://www.gefos-leica.cz/o-produktech/3d-laserove-skenovani/software/leica-cyclone-register-360>.
19. Geoline, spol. s.r.o. Groma - geodetický software. *Groma*. [Online] [Citace: 18. 3. 2022.] Dostupné z: <https://www.groma.cz/cz/>.
20. GISOFT, v.o.s. MicroStation. *Gisoft*. [Online] [Citace: 15. 4. 2022.]
Dostupné z: <http://www.gisoft.cz/MicroStation/MicroStation>.
21. Agisoft LLC. Agisoft Metashape Professional Edition. *Agisoft*. [Online] [Citace: 25. 4. 2022.] Dostupné z: <https://www.agisoft.com>.
22. POLOPRUTSKÝ, Zdeněk a HODAČ, Jindřich. *Pracovní postup pro zpracování dat blízké pozemní fotogrammetrie v SW Agisoft PhotoScan/Metashape*. [online] 2017. Dostupné z: interní dokument
23. Agisoft LLC. Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 1.8. [Online] 2022. [Citace: 20. 4. 2022.]
Dostupné z: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_8_en.pdf.
24. Cultural Heritage Imaging . Guidelines for Calibrated Scale Bar Placement and Porcessing. *Agisoft*. [Online] 2015. Dostupné z:
https://www.agisoft.com/pdf/tips_and_tricks/CHI_Calibrated_Scale_Bar_Placement_and_Processing.pdf.



10 Seznam obrázků

Obr. 1: Obec Valeč (3)	10
Obr. 2: Pohled na zámek ze zámeckého parku (Foto Adam Hrdina).....	11
Obr. 3: Objekt skleníku na mapách stabilního katastru (3).....	12
Obr. 4: Objekt skleníku – ortofoto (3)	13
Obr. 5: Pohled na jižní část sedlového skleníku (Foto Adam Hrdina).....	14
Obr. 6: Půdorys pultové části skleníku (5).....	15
Obr. 7: Pohled na pultovou část skleníku (Foto Jindřich Hodač)	16
Obr. 8: Ilustrační obrázek: Zakreslení a fotoplán vstupní věže švihovského hradu (9).....	17
Obr. 9: Laserové skenování skenerem Leica BLK360 (Foto Adam Hrdina)	18
Obr. 10: Princip polární metody.....	19
Obr. 11: Konfigurace snímků.....	21
Obr. 12: Laserový skener Leica BLK360	23
Obr. 13: Leica TS06 (13)	23
Obr. 14: Digitální fotoaparát Nikon D7100 (14)	24
Obr. 15: Nastavení parametrů v programu BLK360 Data Manager	26
Obr. 16: Náčrt měřické sítě	27
Obr. 17: Nafocené detaily konstrukce - 01	27
Obr. 18: Nafocené detaily konstrukce - 02	27
Obr. 19: Pracovní prostředí software CloudCompare.....	29
Obr. 20: Pracovní prostředí MicroStation.....	30
Obr. 21: Výsledek po registraci mračen sedlové částí skleníku.....	33
Obr. 22: Ukázka deformace – 1	34
Obr. 23: Ukázka deformace – 2	34
Obr. 24: Šum v místě kupole.....	35
Obr. 25: Šum v místě sedlové střechy.....	35
Obr. 26: Šum na zasklené části skleníku.....	36
Obr. 27: Vytvořené skalární pole	37
Obr. 28: Histogram vytvořeného skalárního pole	37
Obr. 29: Označená část mračna (šedě) určená k odstranění.....	38
Obr. 30: Pohled na mračno po prvním pokusu o odstranění šumu	38
Obr. 31: Výsledek první části filtrace	39
Obr. 32: Pohled na naskenovaná data z jednoho stanoviska.....	40



Obr. 33: Pohled na výsledné mračno	41
Obr. 34: Nastavení funkce Edit – Normals – Compute	43
Obr. 35: Nastavení funkce Poisson Surface Reconstruction.....	43
Obr. 36: Výsledek funkce Poisson Surface Reconstruction (vlevo), oříznutý model (vpravo).....	43
Obr. 37: Detail 1 – fotografie (vlevo), model z mračna (vpravo).....	44
Obr. 38: Detail 2 – fotografie (vlevo), model z mračna (vpravo).....	44
Obr. 39: Detail 3 – fotografie (vlevo), model z mračna (vpravo).....	45
Obr. 40: Detail 4 – fotografie (nahore), model z mračna (dole).....	45
Obr. 41: Detail 5 – fotografie (vlevo), model z mračna (vpravo).....	46
Obr. 42: Model před použitím funkce Smooth (vlevo) a vyhlazený model (vpravo)	46
Obr. 43: Svislé řezy.....	48
Obr. 44: Jednoduchá vektorizace mračna	48
Obr. 45: Generalizace tloušťky sloupků	50
Obr. 46: Obarvené mračno.....	51
Obr. 47: Směr pohledu	52
Obr. 48: Model - detail 1 – bez textury (nahore), s texturou (dole).....	54
Obr. 49: Model - detail 2 – bez textury (nahore), s texturou (dole).....	55
Obr. 50: Model - detail 3 – bez textury (nahore), s texturou (dole).....	56
Obr. 51: Model - detail 4 – bez textury (vlevo), s texturou (vpravo).....	56
Obr. 52: Rozdělení mračna	58
Obr. 53: Detail konstrukce	60
Obr. 54: Mračno bodů – laserové skenování (vlevo), fotogrammetrie (vpravo)	61
Obr. 55: Vzdálenosti mezi mračny.....	62
Obr. 56: 3D model – laserové skenování (vlevo), fotogrammetrie (vpravo).....	62
Obr. 57: Pohled na detail č. 2 – foto (vlevo), mračno (vpravo).....	63
Obr. 58: Přehled parametrů registrace mračna zaměřené sedlové části skleníku	64
Obr. 59: Přehled parametrů registrace mračna zaměřené pultové části skleníku	64
Obr. 60: Nafocené detaily konstrukce.....	67



11 Seznam tabulek

Tab. 1: Skener BLK360 - Testování schopnosti rozeznání terčů.....	25
Tab. 2: Parametry registrace	32
Tab. 3: Úbytek bodů při úpravě mračen.....	41
Tab. 4: Tabulka vrstev.....	49
Tab. 5: Základní škála tloušťek a typů čar.....	49
Tab. 6: Seznam výkresů	59
Tab. 7: Souřadnicové rozdíly identických bodů	65
Tab. 8: Porovnání délek	66
Tab. 9: Porovnání výšek.....	66
Tab. 10: Odchytky zadaných oměrných měř	67
Tab. 11: Seznam tištěných výkresů.....	76
Tab. 12: Seznam pohledů v mračnu	77



12 Seznam příloh

12.1 Tištěné přílohy

Příloha: 1: Výkresy sedlové části skleníku

Tab. 11: Seznam tištěných výkresů

Číslo výkr.	Název	Měřítko	Formát
V01	Půdorys	1 : 50	3xA4
V02	Pohled – stěna - jih	1 : 50	3xA4
V03	Pohled – stěna – západ	1 : 50	A3
V04	Pohled – stěna – východ	1 : 50	A3
V05	Pohled – stěna - sever	1 : 50	3xA4
V06	Pohled – rízalit – jihozápad	1 : 50	A3
V07	Pohled – rízalit - jih	1 : 50	A3
V08	Pohled – rízalit – jihovýchod	1 : 50	A3
V09	Pohled – rízalit – východ	1 : 50	A3
V10	Pohled – rízalit – severovýchod	1 : 50	A3
V11	Pohled – rízalit – sever	1 : 50	A3
V12	Pohled – rízalit – severozápad	1 : 50	A4
V13	Pohled – rízalit – západ	1 : 50	A3
V14	Pohled - kupole	1 : 50	A3
V15	Pohled – střecha - jih	1 : 50	3xA4
V16	Pohled – střecha - sever	1 : 50	4xA4
V17	Svislý řez A-A'	1 : 50	A4
V18	Svislý řez B-B'	1 : 50	A4
V19	Svislý řez C-C'	1 : 50	A4
V20	Svislý řez D-D'	1 : 50	A4
V21	Svislý řez E-E'	1 : 50	A4
V22	Svislé řezy - deformace	1 : 50	A3



12.2 Digitální přílohy

Digitální přílohy jsou uloženy na flash disku přiloženém k této diplomové práci.

01_Měření totální stanicí:

Příloha 2: Zápisník měření	211124BEL_VALEC.mes
Příloha 3: Protokol – zpracování zápisníku	Protokol_zpracovani_zapisniku.pro
Příloha 4: Protokol – polární metoda	Protokol_polarni_metoda.pro
Příloha 5: Seznam souřadnic	TS_seznam_souradnic.txt
Příloha 6: Transformace -protokol	Protokol_transformace.pro
Příloha 7: Měřické náčrty	Mericke_nacrty.pdf

02_Laserové skenování:

Příloha 8: Skeny – sedlová část	Skeny 1-X.blk
Příloha 9: Skeny – pultová část	Skeny 1-X.blk
Příloha 10: Mračno bodů	Valec_sklenik_01-03.e57
Příloha 11: Mračno – pohledy	

Tab. 12: Seznam pohledů v mračnu

Název
V01_pudorys_01.e57
V01_pudorys_02.e57
V02_Pohled_stena_jih.e57
V03_Pohled_stena_zapad.e57
V04_Pohled_stena_vychod.e57
V05_Pohled_stena_sever.e57
V06_Pohled_rizalit_jihozapad.e57
V07_Pohled_rizalit_jih.e57
V08_Pohled_rizalit_jihovychod.e57
V09_Pohled_rizalit_vychod.e57
V10_Pohled_rizalit_severovychod.e57
V11_Pohled_rizalit_sever.e57
V12_Pohled_rizalit_severozapad.e57
V13_Pohled_rizalit_zapad.e57
V14_Pohled_kupole.e57
V15_Pohled_strecha_jih.e57
V16_Pohled_strecha_sever.e57
V17_Svisly_rez_AA.e57
V18_Svisly_rez_BB.e57
V19_Svisly_rez_CC.e57
V20_Svisly_rez_DD.e57
V21_Svisly_rez_EE.e57



Příloha 12: Sedlový skleník – protokol – registrace	Protokol_registrace_01.pdf
Příloha 13: Pultový skleník – protokol – registrace	Protokol_registrace_02.pdf

03_Výkresy:

Příloha 14: Výkresy ve formátu *.pdf

Příloha 15: Výkresy ve formátu *.dgn

Příloha 16: Výkresy ve formátu *.dwg

Ve složce s *.dgn a *.dwg soubory jsou dále přiloženy referenční rastrové obrázky pohledů na mračno.

04_3D model – detaily:

Příloha 17: Husté mračno – detail 1	Detail_1_huste_mracno.ply
Příloha 18: Husté mračno – detail 2	Detail_2_huste_mracno.ply
Příloha 19: Husté mračno – detail 3	Detail_3_huste_mracno.ply
Příloha 20: Husté mračno – detail 4	Detail_4_huste_mracno.ply
Příloha 21: 3D model – detail 1	Detail_1_3D_model.obj
Příloha 22: 3D model – detail 2	Detail_2_3D_model.obj
Příloha 23: 3D model – detail 3	Detail_3_3D_model.obj
Příloha 24: 3D model – detail 4	Detail_4_3D_model.obj
Příloha 25: Protokol – detail 1	Detail_1_protokol.pdf
Příloha 26: Protokol – detail 2	Detail_2_protokol.pdf
Příloha 27: Protokol – detail 3	Detail_3_protokol.pdf
Příloha 28: Protokol – detail 4	Detail_4_protokol.pdf
Příloha 29: Projekt – detail 1	Detail_1_projekt.psz
Příloha 30: Projekt – detail 2	Detail_2_projekt.psz
Příloha 31: Projekt – detail 3	Detail_3_projekt.psz
Příloha 32: Projekt – detail 4	Detail_4_projekt.psz



05_Vizualizace výstupů (obrázky):

Příloha 33: Laserové skenování - mračno

Příloha 34: Fotogrammetrie – mračna a modely

Příloha 35: Mračno – porovnání – skenování vs ftg

06_Fotodokumentace:

Příloha 36: Fotodokumentace