

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE  
OBOR GEOMATIKA



**Ulice Havelská (Praha 1) – měřická dokumentace podloubí domů č. p.  
504 – 512**

**Havelská street (Prague 1) - metrical documentation of archway of  
houses No. 504 - 512**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Vedoucí práce: Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.  
Katedra geomatiky

květen 2021

Bc. Michal Zíma

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Zíma</u>	Jméno: <u>Michal</u>	Osobní číslo: <u>468494</u>
Zadávající katedra: <u>Katedra geomatiky - K155</u>		
Studijní program: <u>Geodézie a kartografie (N36GK)</u>		
Studijní obor: <u>Geomatika (36T0GKGM)</u>		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Ulice Havelská (Praha 1) - měřická dokumentace podlouhí domů č.p. 504 - 512</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Havelská street (Prague 1) - metrical documentation of archway of houses No. 504 - 512</u>	
<p>Pokyny pro vypracování:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ve spolupráci se zadavatelem proveďte rekonoskaci zaměřovaného prostoru a definujte typ a parametry výstupů projektu,</li> <li>- navrhnete vhodné měřické metody a technologické postupy pro vytvoření definovaných výstupů,</li> <li>- proveďte měřické práce v zájmovém území v nezbytném rozsahu s důrazem na možnosti kontroly přesnosti,</li> <li>- zpracujte pořízená data do podoby výstupů,</li> <li>- shrňte dosažené výsledky a zhodnoťte jejich přesnost a vypovídací schopnost v kontextu dalšího využití zadavatelem</li> </ul>	
<p>Seznam doporučené literatury:</p> <p>VÁŠOVÁ, Barbora. Novoměstská radnice v Praze - měřická dokumentace Mázhausu. diplomová práce; Praha: Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2019.</p> <p>NOVOTNÝ, Radek. Kostel Stěti sv. Jana Křtitele Dolní Chabry (Praha) - dílčí měřická dokumentace. diplomová práce; Praha: Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2020.</p> <p>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).</p>	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>15. února 2021</u> Termín odevzdání diplomové práce: <u>16. května 2021</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>	
_____ Podpis vedoucího práce	_____ Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<p><i>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 nutně 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“.</i></p>	
_____ Datum převzetí zadání	_____ Podpis studenta(ky)

# Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá tvorbou dílčí dokumentace podloubí domů č. p. 504 – 512 v Havelské ulici v Praze 1 pro Národní památkový ústav. Úvodem práce informuje o historii zaměřovaných objektů. Zamýšlí se nad používanými metodami zaměření historických objektů. Dále popisuje pracovní postup terénních i kancelářských prací. Obsahuje porovnání dvou oblouků kleneb loubí domu č. p. 507. Na závěr komentuje dosažené výsledky a přesnost měření.

# Klíčová slova

Laserové skenování, bodové mračno, měřická dokumentace, podloubí, porovnání bodových mračen, 3D model, CloudCompare, Bentley MicroStation, Leica BLK360

# Abstract

This Master's thesis focuses on the completion of a partial documentation of the historical archway of houses No. 506-512 in Havelská street, Prague 1 for the purposes of the Národní památkový ústav. In the thesis, both working procedure and office work are described. In the first part, the study mentions the history condition of the measured objects. It deals with the methods used for the measures of the historical objects. Also, it describes the steps of the workflow. It contains the comparison of two arcades of building no. 507. The last section of the thesis focuses on the results and the measurements' accuracy.

# Keywords

Laser scanning, point cloud, surveying documentation, archway, point cloud comparison, 3D model, CloudCompare, Bentley MicroStation, Leica BLK360

# Prohlášení

Prohlašuji, že diplomovou práci na téma „Ulice Havelská (Praha 1) – měřická dokumentace podloubí domů č. p. 504 – 512“ jsem vypracoval samostatně. Použitou literaturu a podkladové materiály uvádím v seznamu zdrojů.

V Praze dne .....

.....

(podpis autora)

# Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Jindřichovi Hodačovi, Ph.D. a doc. Ing. Michaelu Ryklovi, Ph.D. za odborné rady během měření, při konzultacích a vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat kolektivu firmy H.C.M. s.r.o. za věcné rady a poskytnutí praxe během studia. Na závěr chci poděkovat mé rodině, přátelům a spolužákům za podporu při studiu.

# Obsah

Úvod .....	10
1. Lokalita.....	11
1.1 Praha 1 – Staré Město.....	11
1.2 Havelská ulice.....	11
1.2.1 Č. p. 504/5 .....	12
1.2.2 Č. p. 505/15.....	12
1.2.3 Č. p. 506/13 a 507/11 .....	12
1.2.4 Č. p. 508/9 .....	13
1.2.5 Č. p. 509 .....	13
1.2.6 Č. p. 510/5 .....	13
1.2.7 Č. p. 511/6 .....	14
1.2.8 Č. p. 512/2 .....	14
2. Metody zaměřování historických objektů .....	15
2.1 Geodetické metody.....	15
2.1.1 Metoda oměrná .....	15
2.1.2 Metoda ortogonální.....	15
2.1.3 Metoda polární.....	16
2.1.4 Nivelace.....	17
2.2 Laserové skenování.....	17
2.3 Fotogrammetrie.....	18
3. Měřická dokumentace .....	20
4. Použité přístroje a pomůcky .....	21
4.1 Laserový skener Leica BLK 360 .....	21
4.2 Niveláčnický přístroj Carl Zeiss Jena NI 020A.....	22
4.3 Totální stanice Trimble M3 .....	22
5. Použitý software.....	24

5.1	BLK360 Data Manager .....	24
5.2	Leica Cyclone REGISTER 360 .....	25
5.3	CloudCompare .....	25
5.4	Bentley MicroStation V8i.....	26
5.5	Groma 12 .....	27
6.	Terénní práce .....	28
6.1	Příprava měření.....	28
6.2	Rekognoskace .....	29
6.3	Laserové skenování.....	29
6.4	Technická nivelace.....	30
6.5	Měření totální stanicí.....	31
7.	Kancelářské práce .....	32
7.1	Stažení dat ze skeneru .....	32
7.2	Registrace skenů .....	33
7.3	Ořez mračna.....	35
7.4	Filtrace šumu a duplicitních bodů.....	35
7.5	Výpočet technické nivelace .....	36
7.6	Výpočet polární metody .....	38
7.7	Transformace souřadnic podrobných bodů .....	39
7.8	Tvorba výkresů .....	40
7.9	Porovnání oblouků kleneb podloubí č. p. 507 .....	46
7.10	Export výstupů.....	51
8.	Zhodnocení přesnosti .....	52
	Závěr.....	56
	Použité zkratky.....	58
	Seznam použité literatury a zdrojů.....	59
	Seznam obrázků .....	62



Seznam tabulek .....	64
Seznam příloh .....	65
A Obsah SD karty .....	66
B Seznam vyhotovené dokumentace.....	68
C Mračno bodů.....	69
D Porovnání oblouků kleneb .....	71
E Výkresy .....	73



## Úvod

Touto diplomovou prací bych chtěl navázat na předchozí bakalářskou práci a spolupráci s Ing. Jindřichem Hodačem, Ph.D., pod jehož vedením jsem bakalářskou práci zpracovával. V bakalářské práci jsem si osvojil zpracování dílčí dokumentace fotogrammetrickou metodou. Výstupem bylo mračno bodů, 3D model s texturou a ortofotosnímky. Výsledný model byl následně vytištěn na 3D tiskárně.

Dalším způsobem, jak získat mračno bodů, je laserové skenování. Během studia jsem měl možnost seznámit se se skenováním jen teoreticky. Pandemie, která nastala, znemožnila praktické ukázky a vyzkoušení skenování. Rozhodl jsem se tedy využít diplomové práce k získání praktických a cenných zkušeností při zpracování skenů a mračen do podoby výkresů. Během praxe ve firmě H.C.M. s.r.o., kterou jsem absolvoval při studiu, jsem měl možnost vyzkoušet si skenování jednoduchých stavebních objektů a nahlédnout ke tvorbě výkresů. Historické objekty mají naproti jednoduchým rodinným domům členitější tvary, specifické konstrukce a prvky. Jedním z mých osobních cílů je tyto konstrukční prvky poznat a mít možnost seznámit se s názvoslovím těchto jednotlivých prvků a způsobem zobrazení prvků ve výkresech. Dalším mým osobním cílem je ověřit si znalosti získané během celého studia.

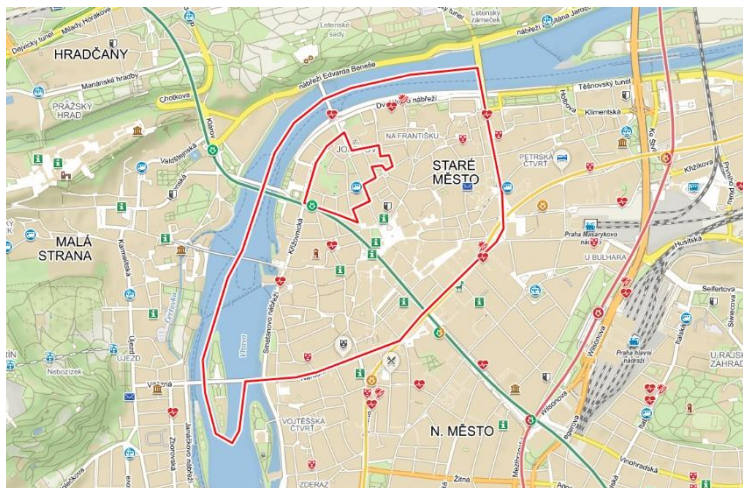
Cílem této diplomové práce je vhodně zvolenými metodami získat data a následně je zpracovat do podoby výkresů půdorysu a podélného řezu loubí domů č. p. 504 – 512 v Havelské ulici v Praze. Dalším vytyčeným cílem je porovnání oblouků kleneb loubí domu č. p. 507. Výsledné výstupy jsou tvořeny pro účely stavebně historického průzkumu doc. Ing. Michaela Rykla, Ph.D. a NPÚ.



## 1. Lokalita

### 1.1 Praha 1 – Staré Město

Staré Město je historické město, městská část a katastrální území Prahy na pravém břehu Vltavy. Na severu a západě území Starého Města ohraničuje řeka Vltava, na jihu a východě Staré Město sousedí s Novým Městem. Svým územím zcela obklopuje nejmenší pražskou čtvrť Josefov. Dříve se město nazývalo Mezihradý – poloha mezi Pražským hradem a Vyšehradem. Staré Město vzniklo spojením židovské osady a několika osad, které byly budovány kolem kostelů sv. Petra, sv. Michala a sv. Linharta. [1]



Obrázek 1 – Území Starého Města

### 1.2 Havelská ulice

Havelská ulice, ulice Starého Města v Praze, spojuje Železnou ulici s Uhelným trhem. Ulice je známá Havelským trhem, který navazuje na historii původního tzv. Nového tržiště, které bylo jádrem tehdejší Havelského Města. Staré a Havelské město spojila zástavba domů, která se rozvinula především v 17.-18. století. [2]



Obrázek 2 – Poloha Havelské ulice



### 1.2.1 Č. p. 504/5

#### **Dům U Mrázů**

„Jde o původně raně gotický věžovitý dům, který prošel renesančními přestavbami a byl r. 1808 Z. Fiegerthem klasicistně upraven. Dům byl puristicky přestavěn v l. 1928 – 29 Bohumilem Steigenhöferem, který mimo jiné nad domem vyzdvihl dvoupatrovou nástavbu.“ [3]



Obrázek 3 – Dům U Mrázů

### 1.2.2 Č. p. 505/15

#### **Dům U Zlaté růže (U Černé hlavy)**

„Trojpatrový řadový dům je v jádru gotický, byl barokně přestavěný. Dnešní vzhled je klasicistní z r. 1829.“ [4]



Obrázek 4 – Dům U Zlaté růže

### 1.2.3 Č. p. 506/13 a 507/11

#### **Domy U Teplých a U Modrého lva**

„Jde o dva spojené domy středověkého původu. Levý byl přestavěn renesančně, pravý je barokní. Spojeny byly po roce 1804. Poté byly r. 1810 upraveny do dnešní klasicistní podoby Zachariem Fiegerthem.“ [5]



Obrázek 5 – Domy u Teplých a U Modrého lva



1.2.4 Č. p. 508/9

**Dům U Radnických**

„Z původně gotického objektu byla dochována pouze průčelní zeď a loubí, zbytek domu byl nahrazen novostavbou postavenou podle plánu T. Pražáka a P. Moravce z let 1929-31.“ [6]



Obrázek 6 – Dům U Radnických

1.2.5 Č. p. 509

**Dům U Finků (U České koruny)**

„Řadový dům s podloubím je v jádru gotický, byl renesančně přestavován. Má raně klasicistní fasádu z doby před r. 1800. Úpravy z r. 1867 zvýšily dvorní křídlo o druhé patro.“ [7]



Obrázek 7 – Dům U Finků

1.2.6 Č. p. 510/5

**Dům U Kutovců**

„Raně gotický dům, který byl raně renesančně přestavěn a 1803 klasicistně upraven J. Zelinkou. Dům si zachoval středověké jádro v dispozici sklepů i přízemí. V r. 1960 proběhla dle plánu K. Hilberta úprava hlavního průčelí.“ [8]



Obrázek 8 – Dům U Kutovců



### 1.2.7 Č. p. 511/6

#### **Dům U Zlaté váhy**

„Dům je v jádru gotický, renesančně upravený. Kolem r. 1690 byl radikálně raně barokně přestavěný. V l. 1929-32 bylo vestavěno podkroví za barokním štítem a dvorní stavení byla zbořena a nahrazena novostavbou.“ [9]



Obrázek 9 – Dům U Zlaté váhy

### 1.2.8 Č. p. 512/2

#### **Dům U Isidorů**

„Třípatrový dům vznikl spojením dvou samostatných, v jádru středověkých objektů. Johann Kaura v r. 1845 už spojený dům radikálně přestavěl v přízemí a znovu vystavěl od 1. patra.“ [10]



Obrázek 10 – Dům U Isidorů



## 2. *Metody zaměřování historických objektů*

Tato kapitola popisuje základní metody používané při zaměřování historický staveb a objektů. Uvádí konkrétní příklady prací, které využívaly jednotlivé metody nebo jejich kombinaci. V závěru kapitola shrnuje metody využité v této diplomové práci.

### 2.1 *Geodetické metody*

#### 2.1.1 *Metoda oměrná*

Oměrnou metodou lze označit přímé měření délky mezi charakteristickými body objektu na jedné poloze měřidla – pásma. Charakteristické body pod i nad úrovní měřidla se provažují olovnicí. Tato metoda je vhodná pro zaměření menších a spíše pravidelných staveb. Při práci na vyšší úrovni přesnosti tato metoda slouží jako doplňková. Často se pomocí oměrných měř kontroluje jiné měření, např. měření polární metodou. [11]

Tuto metodu využila například Lenka Kroupalová ve své bakalářské práci *Geodetické zaměření zvoničky Církve československé husitské v Kostelní Lhotě a přilehlého okolního pozemku* pro zaměření vnitřní výšky střechy, vzdálenosti výběžků a dveří v přízemí kaple. [12] Lukáš Hort v bakalářské práci *Zaměření části středověkého opevnění ve Slaném* využil oměrné k získání chybějících dat z laserového skenování. Při vektorizaci mračna bodů bylo zjištěno, že část hlavní hradby obsahovala naskenovanou vegetaci, která zakrývala povrch hradeb. Skutečný průběh povrchu hradeb byl dokonstruován pomocí oměrných. [13]

#### 2.1.2 *Metoda ortogonální*

Základem ortogonální metody je měřická přímka. Poloha charakteristických bodů stavby se určuje spuštěním kolmice z bodu na měřickou přímku. Měří se vzdálenost od počátku přímky k patě kolmice a délka kolmice. Metoda se často používá při zaměření členitých ploch fasád, kdy lze využít pravého úhlu mezi svislými a vodorovnými prvky. [11]

### 2.1.3 Metoda polární

Další geodetickou metodou je metoda polární. Tato metoda se váže na užívání přesných teodolitů a totálních stanic. Měření polární metodou se skládá z měření horizontálních i vertikálních úhlů a šikmé délky. Metoda vychází ze znalosti souřadnic stanoviště. Měřicí přístroj je zhorizontován a zcentrován nad bodem stanoviště. Během měření jsou zaměřeny orientace a podrobné body. Měřené hodnoty jsou zapisovány do zápisníku měření nebo ukládány do vnitřní paměti přístroje. Z naměřených hodnot jsou vypočteny úhly mezi orientací a podrobnými body, případně vodorovné délky. Pro výpočet souřadnic podrobného bodu jsou tedy potřeba změřená vodorovná vzdálenost a levostranný úhel vypočtený mezi orientačním směrem a podrobným bodem. Pro výpočty souřadnic Z je potřeba znát výšky stroje a cílů. Ze známých souřadnic stanoviště a orientace je vypočítán směrník. Pomocí směrníku, vypočítaného vodorovného úhlu a vodorovné vzdálenosti jsou vypočítané souřadnicové rozdíly podrobného bodu vůči stanovišti. Přičtením souřadnicových rozdílů k souřadnicím stanoviště získáme výsledné souřadnice podrobného bodu. [11]

#### Princip polární metody:

Znamé hodnoty:

Y, X souřadnice bodů S a O, vodorovná

délka  $d_{SP}$ , vodorovný úhel  $\omega$ ,

vypočtený směrník  $\sigma_{OP}$

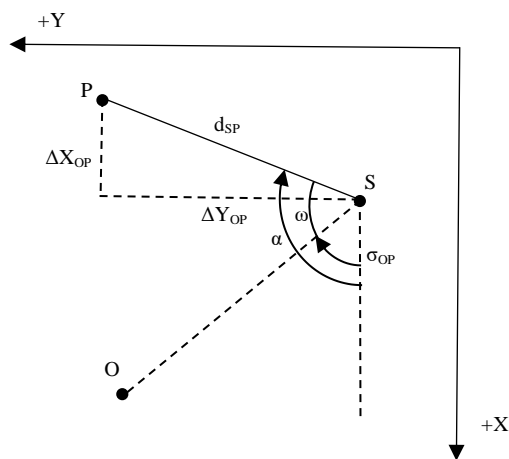
$$\alpha = \sigma_{OP} + \omega,$$

$$\Delta Y_{OP} = d_{OP} \cdot \sin \alpha,$$

$$\Delta X_{OP} = d_{OP} \cdot \cos \alpha,$$

$$Y_P = Y_S + \Delta Y_{OP},$$

$$X_P = X_S + \Delta X_{OP},$$



Obrázek 11 – Princip polární metody

Polární metodu využil např. Bc. Radek Novotný ve své diplomové práci *Kostel Stěti sv. Jana Křtitele Dolní Chabry (Praha) – dílčí měřická dokumentace k zaměření identických bodů pro tvorbu fotoplánů*. [14] Anton Igonin využil tuto metodu k zaměření podrobných bodů, pomocí kterých v rámci své bakalářské práce *Geodetické zaměření*





a vytvoření 3D modelu modeloval 2D prototyp Leopoldovy brány na pražském Vyšehradě. [15]

#### 2.1.4 Nivelace

Nivelační měření slouží k získání Z-ové souřadnice měřených podrobných bodů a tím umožňuje měřená data připojit do zadaného výškové systému. Výšky se mohou vázat k místnímu výškovému systému nebo ke státnímu výškovému systému Balt po vyrovnání (Bpv) nebo dříve používanému Jaderský. Pomocí nivelačního přístroje a nivelační latě se měří převýšení – relativní nejkratší svislá vzdálenost bodu od horizontu přístroje. Měření vždy vychází od bodu se známou výškou. Měření se zapisuje do měřického zápisníku nebo u novějších elektronických přístrojů se zapisuje do vnitřní paměti přístroje. S nástupem totálních stanic bývá často nivelační měření nahrazeno měřením zenitových úhlů při měření polární metodou. [11] Existuje několik druhů nivelačních měření, které se liší přesností měření výškových bodů.

Druhy nivelace	Přesnost
Technická nivelace	$m_0 > 5 \text{ mm}$
Přesná nivelace	$1,5 \text{ mm} < m_0 < 5 \text{ mm}$
Velmi přesná nivelace	$0,4 \text{ mm} < m_0 < 1,5 \text{ mm}$
Zvlášť přesná nivelace	$m_0 < 0,4 \text{ mm}$

Tabulka 1 – Druhy nivelace a jejich přesnost

Metodu technické nivelace využila například Bc. Barbora Vášová v rámci své diplomové práce *Novoměstská radnice v Praze – měřická dokumentace Mázhausu* k připojení objektu do výškového systému Bpv. Obousměrně vedeným nivelačním pořadem byl nejprve ověřen výchozí bod, ze kterého byl následně veden uzavřený nivelační pořad přes body polygonového pořadu. Za cílem připojení do systému Bpv byly bočně zaměřeny 3 body. [16]

## 2.2 Laserové skenování

Laserovým skenováním můžeme nazvat metodu bezkontaktního, nevýběrového, automatického sběru dat pomocí 3D skeneru. Skenery můžeme dělit na statické, mobilní a ruční. Při tvorbě dokumentace historických objektů se většinou používají skenery



statické. Tyto skenery využívají měření délek a horizontálního a vertikálního úhlu, který svírá paprsek se směrem nulové orientace skeneru. Výsledkem skenování jsou 3D souřadnice XYZ hustého mráčka bodů viditelných ze stanoviska skeneru. Spolu se souřadnicemi skener může ukládat i informaci o barvě v podobě RGB hodnot nebo sférické snímky, které během skenování na stanovisku nafotí. Jednotlivá naskenovaná mráčka mohou být spojena metodou optické korelace nebo pomocí vřícovacích bodů (koulí, terčů). Díky neznalosti souřadnic stanoviska jsou mráčka umístěna do obecného místního systému, vřícovací body mohou sloužit i ke georeferencování mráček. [11]

Laserové skenování použil například Ing. Lukáš Hort ve své bakalářské i diplomové práci k zaměření historických objektů ve Slaném. K zaměření podrobných bodů, pomocí kterých připojil naskenované mráčko do souřadnicového systému S-JTSK, použil polární metodu. [13], [17]

### *2.3 Fotogrammetrie*

Fotogrammetrie je část oboru geodézie a kartografie, který se zabývá zjišťováním geometrických a polohových informací z obrazových záznamů, nejčastěji z fotografických snímků. Výhodou fotogrammetrie oproti klasickým geodetickým metodám je výrazně rychlejší terénní část práce a větší zachycení reliéfu povrchu stavby i barevná informace. Podle způsobu snímkování můžeme fotogrammetrii rozdělit na pozemní a leteckou. S nástupem RPAS se letecká fotogrammetrie stává ještě dostupnější. Velmi často se kombinuje snímkování ze země profesionální kamerou a z výšky právě pomocí RPAS. Dále se fotogrammetrie dělí podle počtu použitých snímků na jednosnímkovou a vícesnímkovou. Vícesnímková fotogrammetrie se dále dělí na stereofotogrammetrii, průsekovou fotogrammetrii a na metodu obrazové korelace (anglicky nazývaná image based modeling).

Jednosnímková fotogrammetrie je nejjednodušší fotogrammetrická metoda, která umožňuje dokumentaci rovinných objektů. Upravuje fotografický snímek pomocí kolineární transformace tak, aby minimalizovala obrazovou deformaci na snímku. Snímek se co nevíce přibližuje pravoúhlému průmětu výchozí rovinné plochy. [11]



Výstupem této metody je fotoplán. Tvorbu fotoplánu popisuje ve své diplomové práci Bc. Barbora Vášová. [16]

Jedním z výstupů vícesnímkové fotogrammetrie je tzv. ortofoto. Ortofoto je snímek upravený ze středového promítání do ortogonální projekce. Dalšími výstupy z vícesnímkové fotogrammetrie může být mračno bodů a 3D model. Tvorbou ortofota, 3D modelu a mračna bodů pomocí metody obrazové korelace jsem se zabýval ve své bakalářské práci *Kaple Božího hrobu ve Slaném – fotogrammetrická dokumentace*. Ortofoto bylo vytvořeno z otexturovaného 3D modelu kaple. Model byl vytvořenou metodou obrazové korelace v programu Reality Capture ze snímků nasnímaných pomocí RPAS. [18]

Z výše zmíněných prací je vidno, že se často jednotlivé metody kombinují a doplňují. Jedna metoda se dá použít ke kontrole druhé nebo její pomocí zaměřit oblast, která byla pro druhou metodu nepřístupná.

Laserové skenování se jeví jako nejvhodnější pro získání celistvých dat celého loubí, ze kterých zpracovatel následně může čerpat a vybírat jen ta potřebná k vytvoření dalších výstupů. Nevýhodou skenování je práce s objemnými daty. Práce je tedy náročná na výpočetní techniku i na samotné úložiště.

Další metoda vhodná pro získání mračna bodů nebo vytvoření modelu je fotogrammetrie. V zaměřovaném loubí je málo přirozeného světla a celkově obsahuje tmavá místa. Tato metoda je pro zadaný objekt nevýhodná svou délkou zisku a potřebou umělého osvětlení.

Jedním z požadavků bylo připojení do výškového systému Bpv. Pro tento účel byla zvolena technická nivelace, která je výhodná rychlostí zisku výšek za dostatečné přesnosti měření. Polohové připojení nebylo od zadavatele vyžadováno.



### 3. Měřická dokumentace

Měřická dokumentace patří mezi hlavní a nepostradatelné složky praktické památkové péče i vědeckého výzkumu historické architektury. V praxi často dokumentace bývá nesourodá, obsahuje nepřesnosti nebo zcela chybí. Jen s velmi kvalitně zpracovanou měřickou dokumentací lze správně projektovat, posuzovat vhodnost či nevhodnost navrhovaných zásahů nebo vést vědeckou činnost. Zhotovení dokumentace historické stavby klade nároky na zhotovitele, ale i na zadavatele. Správná komunikace mezi oběma stranami je základem úspěšné a kvalitní práce.

Měřická dokumentace se dělí na dílčí a celkovou (komplexní). Pro komplexní dokumentaci platí, že by měla přehledně a dostatečně zobrazovat dokumentovaný objekt. Dílčí dokumentace by měla obsahovat alespoň celkový schématický plán objektu s vyznačením lokálních částí, kterých se dílčí dokumentace týká.

Hlavním výstupem měřické dokumentace byly, a nadále jsou, 2D výkresy půdorysů, příčných i podélných řezů, pohledy na všechny průčelí a fasády vždy upravené dle požadavků objednavatele a problematiky zobrazovaného objektu. S nástupem nových metod i přístrojů tyto výstupy doplnily výstupy digitální. Především se jedná o mračna bodů, ortofotosnímky, fotoplány a 3D modely. Nevýhodou těchto nových výstupů jsou objemná data, která musí zadavatel uchovávat.

*V této kapitole čerpáno z [11].*

## 4. Použité přístroje a pomůcky

### 4.1 Laserový skener Leica BLK 360

Laserový skener Leica BLK 360 je pozemní 3D skener s integrovaným sférickým obrazovým systémem a termografickým panoramatickým snímačem. Pulzní, vysokorychlostní systém měření délek využívá vlnovou délku 830 nm. Délky měří s přesností 4 mm / 10 m nebo 7 mm / 20 m. Jedná se o rozměrově malý a lehký skener, vhodný pro vnitřní i vnější použití. Rozsah měření je od 0,6 m do 60 m. Horizontálně skener skenuje plné zorné pole, vertikálně 300°. Skener je vybaven IMU jednotkou, která přístroj automaticky orientuje. Ovládání skeneru umožňuje jen jedno tlačítko.



Obrázek 12 – Sada Leica BLK 360



Obrázek 13 – Skener při měření na stanovisku

Pro nastavení skeneru je nutné využít integrovanou WLAN a připojený počítač nebo tablet se systémem iOS. Rychlost skenování je až 360 000 bodů za vteřinu. Lze volit mezi třemi typy nastavení rozlišení – vysoké 5 mm / 10 m, střední 10 mm / 10 m a nízké 20 mm / 10 m. Výrobce udává, že měření jednoho skenu (plné zorné pole, sférický a termální snímek) lze realizovat pod 3 min. Při skenování skener signalizuje měřiči stav signalizačním pruhem, měnící se barvou a typem signalizace. V balení se dodává s lehkým stativem, nabíječkou a bateriemi. Vše je uloženo do příruční brašny, do které se vejde i tablet. [19]



Váha	1 kg
Rozměry	výška: 165 mm, průměr: 100 mm
Vnitřní paměť	úložiště pro < 100 stanovisek
Dosah měření	0,6 až 60 m
Přesnost měření délek	4 mm na 10 m / 7 mm na 20 m
Přesnost měření úhlů	40" (0,0123 gon)

Tabulka 2 – Technické parametry Leica BLK 360

## 4.2 Nivelační přístroj Carl Zeiss Jena NI 020A

Carl Zeiss Jena NI 020 A je optický nivelační přístroj. Místo stavěcích šroubů přístroj disponuje stavěcími klíny. Tento přístroj je svou přesností vhodný pro měření technickou nivealci.



Obrázek 14 – Carl Zeiss Jena NI 020A

## 4.3 Totální stanice Trimble M3

Trimble M3 je lehká, kompaktní a výkonná elektronická totální stanice. Totální stanice je vybavena vnitřním prostředím Trimble Access. K ovládání stanice slouží dotykový QVGA displej, klávesnice a nekonečné ustanovky. Přístroj může být vybaven laserovým i optickým centrovačem. Totální stanice je nadále vybavena dvěma za provozu vyměnitelnými bateriemi, se kterými zvládne pracovat až 26 hodin. Dálkoměr umožňuje měřit bez použití hranolu až do vzdálenosti 300 m.

[20]



Obrázek 15 – Totální stanice Trimble M3 na stanovisku



Rozměry:	149 mm x 145 mm x 306 mm
Váha:	4,2 kg
Kompenzátor:	Dvouosý, rozsah $\pm 3,5'$
Délka tubusu dalekohledu:	125 mm
Zvětšení dalekohledu:	30x
Přesnost měření úhlů:	1,5 mgon
Přesnost měření délek:	
Měření na hranol	$\pm (2+2 \text{ ppm}) \text{ mm}$
Bezhranolové měření	$\pm (3+2 \text{ ppm}) \text{ mm}$

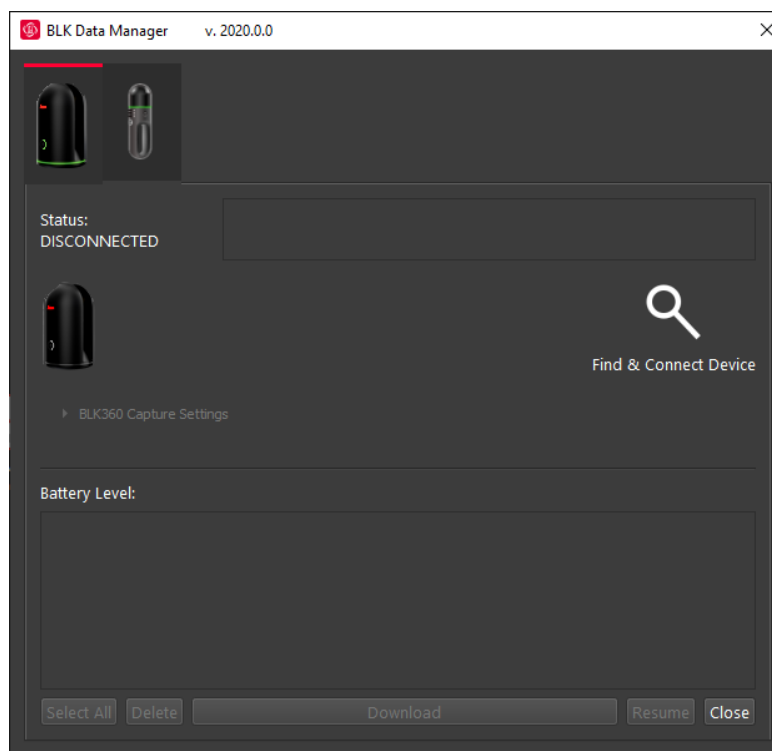
*Tabulka 3 - Technické parametry Trimble M3*



## 5. Použitý software

### 5.1 BLK360 Data Manager

BLK360 Data Manager je software od výrobce Leica, dodávaný ke skeneru Leica BLK 360. Tento software slouží ke komunikaci uživatele se skenerem pomocí počítače nebo mobilního zařízení. Tímto programem může uživatel nastavit parametry skenování, zjistit stav baterie skeneru, nastavit kvalitu snímku a stáhnout nebo smazat jednotlivé skeny z vnitřní paměti skeneru. Výrobce dále udává, že uživatel může synchronizovat interní hodiny skeneru s časem na počítači, ke kterému je připojen. Aby nedošlo ke ztrátě dat, stahování jednotlivých skenů ze skeneru není možné, pokud stav baterie klesne pod 20 %. Stažené skeny program ukládá do formátu .blk. Program je ke stažení zdarma ze stránek výrobce. [21]

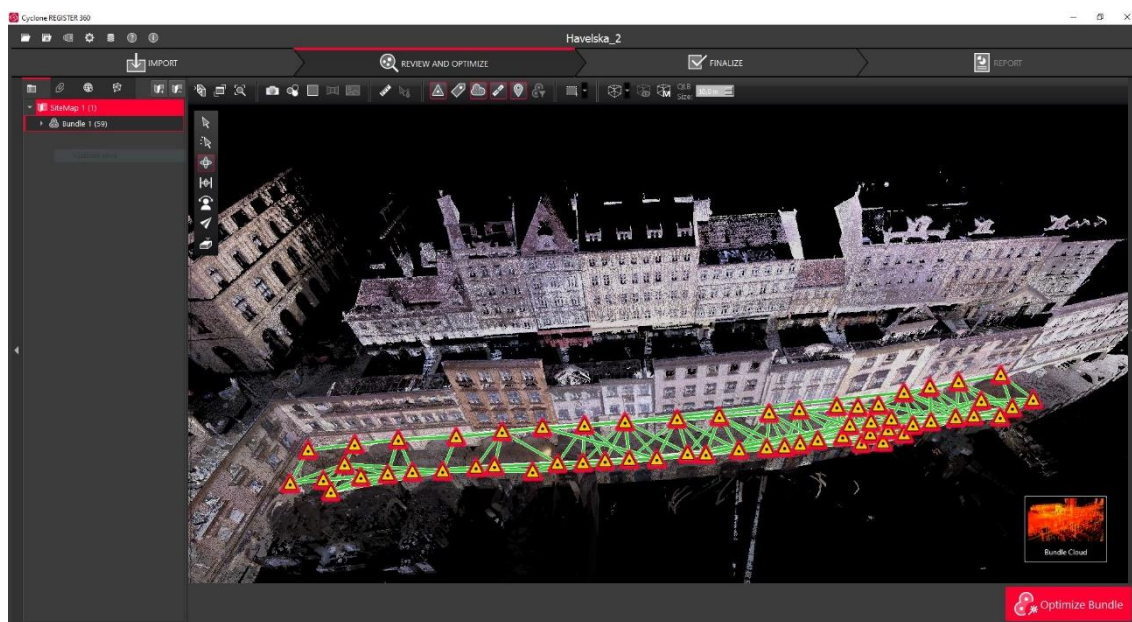


Obrázek 16 – Prostředí programu BLK Data Manager



## 5.2 Leica Cyclone REGISTER 360

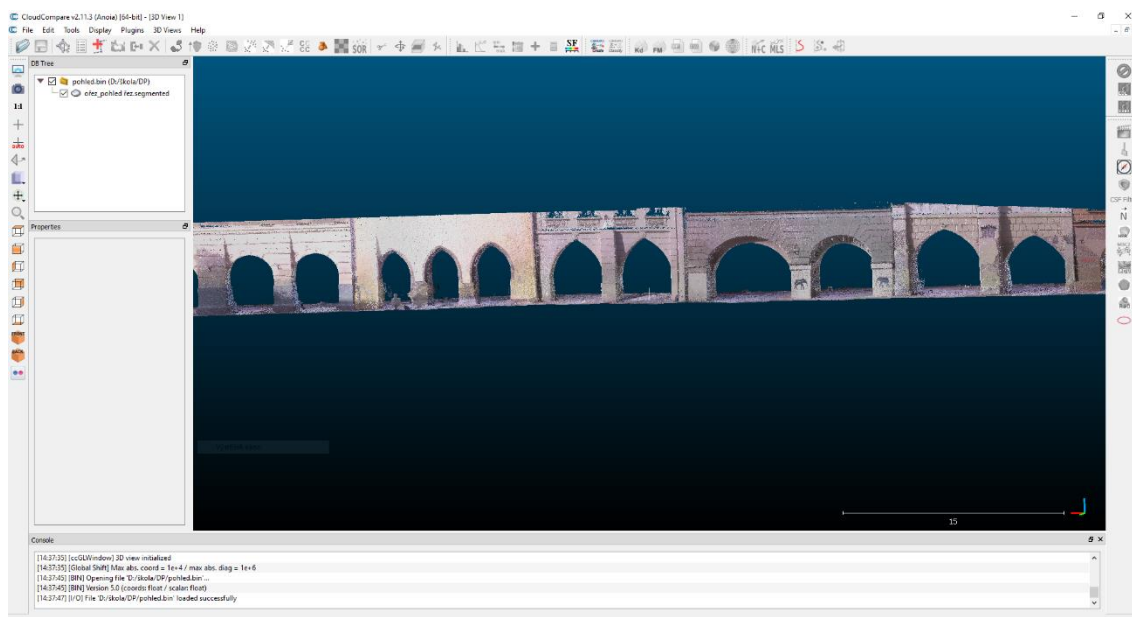
Leica Cyclone REGISTER 360 je softwarový modul programu Leica Cyclone sloužící ke zpracování naskenovaných mračen bodů. Kostrou programu je propracovaná databázová struktura, která umožňuje rychlou práci s objemnými daty. Program zvládne vyřešit celý výpočetní proces od importu dat, registraci skenu, editaci mračen, transformaci mračna až po modelování a export dat do různých formátů. Pro registraci mračen je možné využít naskenované terče, překryty mračen, geodetické metody a vymodelované objekty. Leica Cyclone REGISTER 360 umožňuje automatickou i ruční registraci mračen. Veškerá práce s daty probíhá krok po kroku v přehledném průvodci. [22]



Obrázek 17 – Prostředí programu Leica Cyclone REGISTER 360

## 5.3 CloudCompare

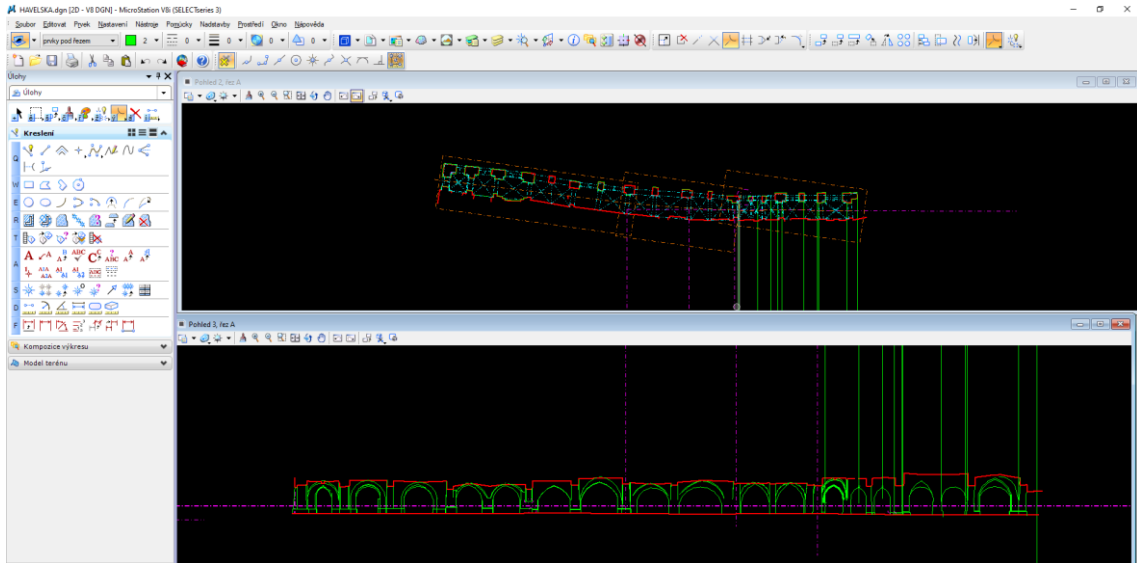
CloudCompare je open-source program sloužící k práci s mračnem bodů. Nejprve byl vytvořen pro porovnání dvou mračen bodů nebo mezi mračnem bodů a trojúhelníkovou sítí. Postupem času byl program doplněn a rozšířen na obecnější software pro zpracování mračen bodů. Byly doplněny algoritmy umožňující registraci, převzorkování, výpočet statistik, segmentaci nebo práci se skalárním polem. CloudCompare podporuje rozšíření pomocí pluginů. Program podporuje velké množství vstupních i výstupních formátů. Je vydán pod licencí GNU GPL a psán v jazyce C++. [23]



Obrázek 18 – Prostředí programu CloudCompare

## 5.4 Bentley MicroStation V8i

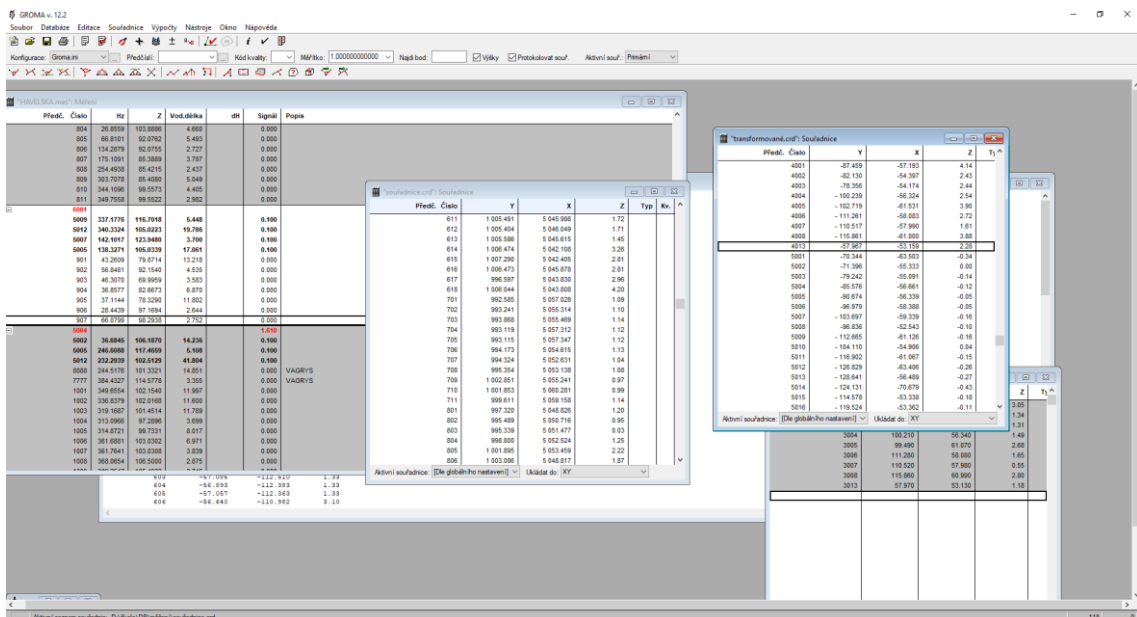
MicroStation je CAD software vyvíjený firmou Bentley pro navrhování ve 2D a 3D prostoru. Software je vhodný pro architekturu, stavební inženýrství, zpracovatelský průmysl, výrobní zařízení, státní správu a inženýrské a telekomunikační sítě. Program pracuje se svým vlastním formátem výkresů .DGN. Výhodou MicroStationu je podpora i dalších formátů. Plnohodnotně zvládá práci s DGN i DWG soubory. Veškeré prvky, které uživatel při práci s DGN souborem umístí do souřadnicového systému se ukládají do tzv. modelů. Existují dva typy modelů – výkres a arch. Výkres tvoří jednotlivé prvky. Arch slouží k připojování referenčních výkresů a k finálnímu vyhotovení výkresu. DGN soubor tedy může obsahovat několik modelů, které jsou navzájem nezávislé. Velkou výhodou práce s modely je jejich připojení či umístění do jiného DGN souboru. MicroStation nadále využívá referenční připojení výkresů. Tato schopnost umožňuje připojit jakýkoliv model do modelu jiného a pracovat s ním jako s prvkem výkresu. Referenční připojení se využívá například při finální tvorbě výkresu a k následnému tisku (připojení modelu typu výkres k modelu typu arch v příslušném měřítku), při konstrukci prvků jako je řez, půdorys či pohled (připojení modelu typu výkres k modelu typu výkres). [24], [18]



Obrázek 19 – Prostorí programu MicroStation

## 5.5 Groma 12

Program Groma je geodetický systém, který slouží ke komplexnímu zpracování geodetických dat. V programu lze zpracovávat měření z totální stanice, seznamy souřadnic i rastrová data. Veškeré výpočetní úlohy probíhají v dialogových oknech, ve kterých uživatel nadefinuje parametry úlohy a vstupní a výstupní soubory. Body ze seznamu souřadnic lze také zobrazit graficky v grafickém okně. Program plnohodnotně spolupracuje s programy MicroStation a AutoCAD. [25]

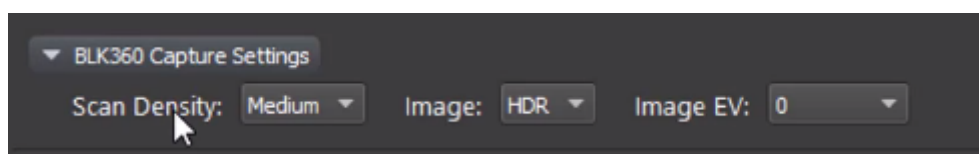


Obrázek 20 – Prostorí programu Groma 12

## 6. Terénní práce

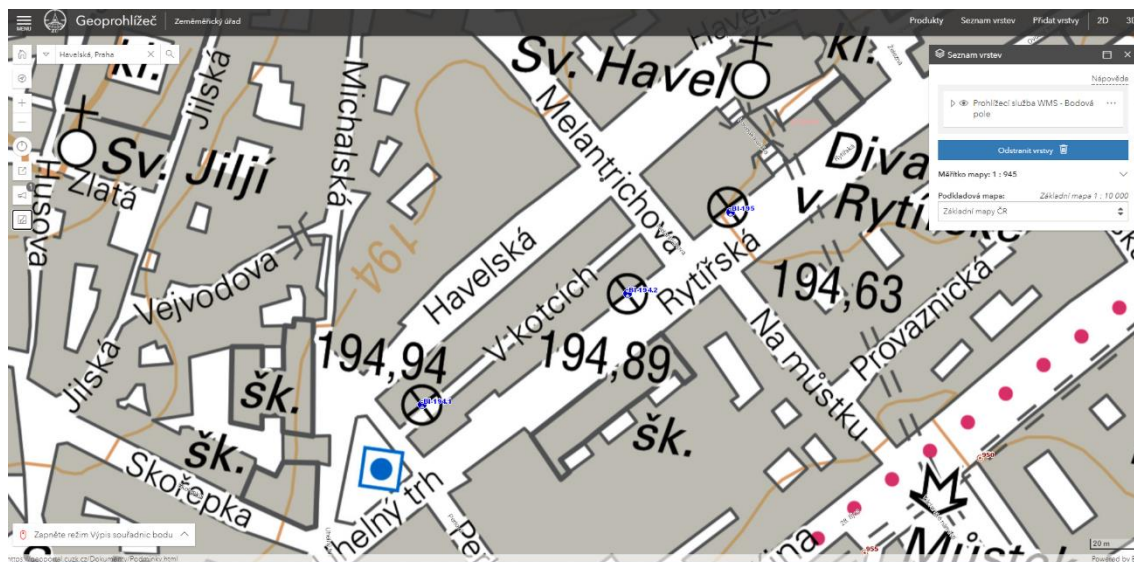
### 6.1 Příprava měření

Díky absenci iOS zařízení bylo potřeba nastavit skener Leica BLK 360 v kanceláři. Skener byl připojen pomocí WI-FI k počítači. Veškeré nastavení proběhlo v programu BLK360 Data Manager. Skener byl v programu nalezen a připojen. Ze skeneru byly smazány veškeré skeny. Hustota skenování byla nastavena na střední hodnotu. Dále bylo nastaveno pořízení HDR fotografie a nulová korekce expozice (0EV).



Obrázek 21 – Nastavení skeneru

V portálu Geoprohlížeč (<https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/>) v produktu Bodová pole byly nalezeny nivelační body okolo Havelské ulice. Celkem byly nalezeny 3 body (BI-194.1, BI-194.2 a BI-195). Nivelační údaje těchto bodů byly staženy a použity při měření technickou nivelací.



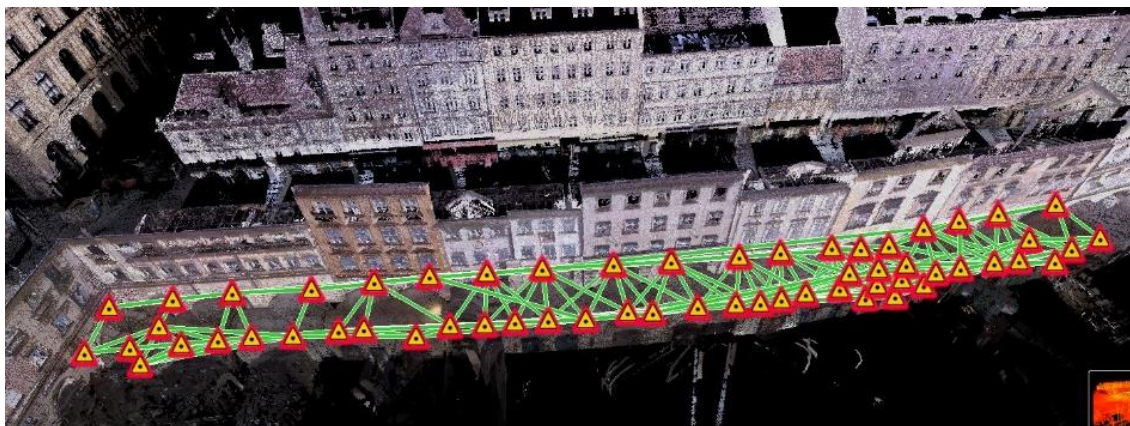
Obrázek 22 – Polohy výškových bodů zobrazené na portále Geoprohlížeč

## 6.2 Rekognoskace

Rekognoskace proběhla před skenováním dne 25. 2. 2021 za přítomnosti Ing. Jindřicha Hodače, Ph.D. a doc. Ing. Michaela Rykla, Ph.D. Na místě byl definován rozsah zaměřovaného území, byly ukázány důležité konstrukční prvky loubí a přibližně určeny pozice jednotlivých skenů. Dále se vytyčily překážky, které bránily ke skenování důležitých prvků. Tyto překážky bylo třeba odstranit nebo přemístit. Následně byly nalezeny nivelační body a zjištěn stav stabilizace těchto bodů.

## 6.3 Laserové skenování

Laserové skenování proběhlo dne 25. 2. 2021. Ke skenování byl použit již přednastavený skener Leica BLK360. Skener byl umístěn na stativ a zapnut podržením ovládacího tlačítka. Zelené rozsvícení signalizačního pruhu oznámilo, že byl skener připraven ke skenování. Během skenování byl tvořen náčrt stanovisek skeneru. Hlava skeneru byla při každém skenu umístěna tak, že ovládací tlačítka směřovalo vždy stejným směrem. Před započítím skenu byl skener hrubě zhorizontován posunem nohou stativu. Samotné skenování spustilo zmáčknutí ovládacího tlačítka. Skener nejprve otáčením pořídil sférickou fotografii a až následně skenoval. Celý průběh skenu doplňovalo zelené blikání signalizačního pruhu. Po dokončení skenu signalizační pruh přestal blikat a svítil zeleně, připraven k dalšímu skenování. Skener byl přesunut na další stanovisko a proběhl další sken. Stanoviska skeneru se volila tak, aby se naskenovaná mračna částečně překrývala. Celkem bylo vyhotoveno 60 skenů. Doba jednoho skenu čítala kolem 3 min a 40 s.

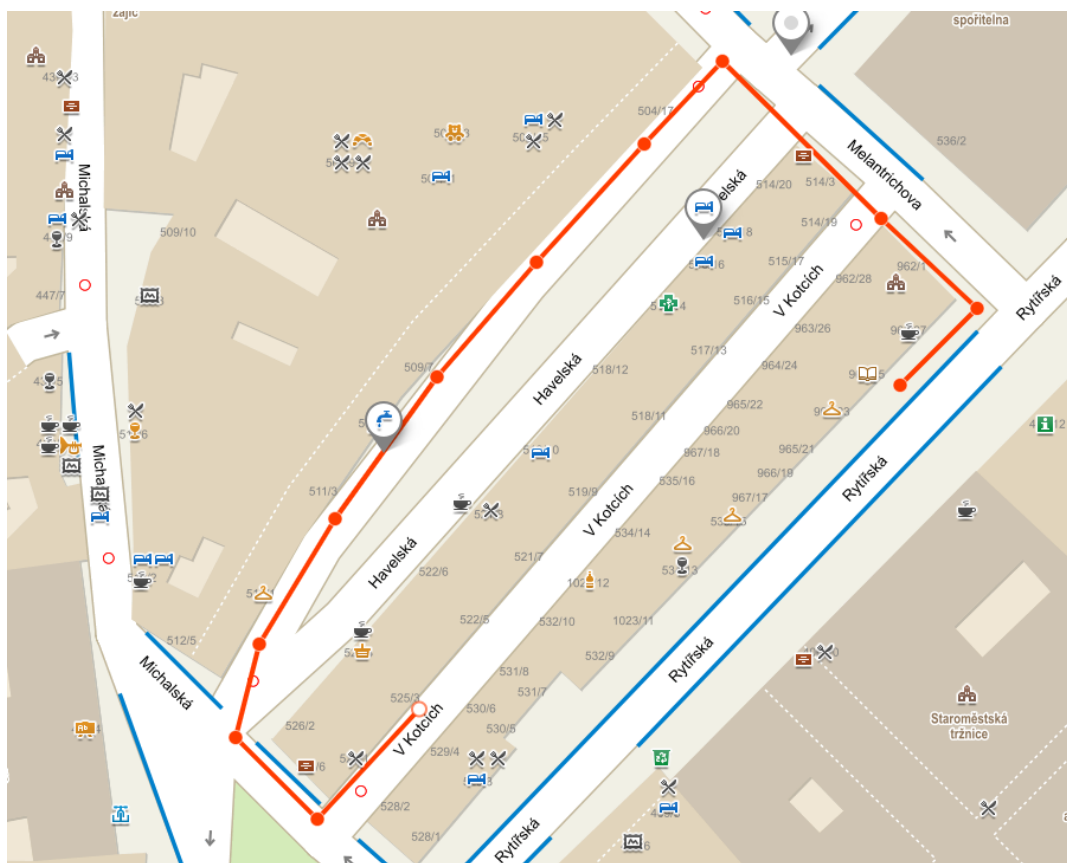


Obrázek 23 – Pozice stanovisek jednotlivých skenů



## 6.4 Technická nivelace

Pro výškové připojení naskenovaného mračna do systému Bpv bylo provedeno měření technickou nivelací. Byl proveden jeden nivelační pořad mezi body 194.2 a 194.1, při kterém bylo bočně zaměřeno několik výškových bodů podél celého podloubí. Výškové body byly voleny na čepových značkách, hranách soklů a na kamenných prazích dveří, které byly jasně identifikované v naskenovaném mračnu bodů. Dalším nivelačním pořadem mezi body 194.2 a 195 byla ověřena výška bodu 194.2. K měření byl použit optický nivelační přístroj Carl Zeiss Jena NI 020A s příslušným stativem, nivelační latí a nivelační podložkou. Veškeré čtení bylo zapisováno do zápisníku pro technickou nivelaci (viz příloha *Zápisníky\_technické\_nivelace.pdf*).



Obrázek 24 – Průběh pořadu technické nivelace mezi body 194.2 a 194.1



Obrázek 25 – Průběh pořadu technické nivelace mezi body 194.2 a 195

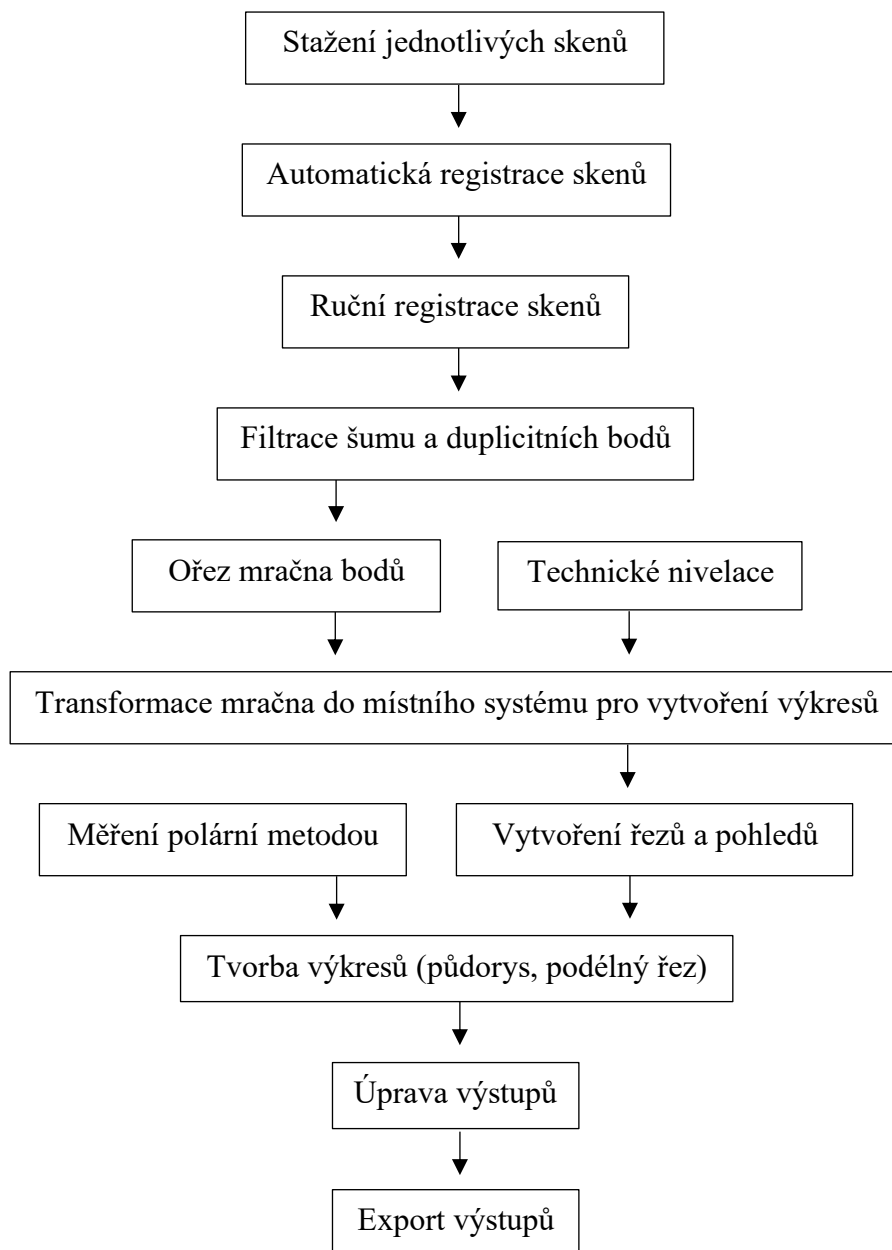
## 6.5 Měření totální stanicí

Měřením polární metodou byly určeny souřadnice bodů vnitřních prostor domů zaměřovaného podloubí. Dále byly zaměřeny identické body, které sloužily pro transformaci měření do místního systému naskenovaného mračna. Měřením byly také ověřeny tři lokální výškové body. Před samotným měřením byla určena část měřické sítě. Jednotlivé vchody do objektů byly zpřístupňovány postupně, a tak nebylo možné měřickou síť vytvořit najednou. Měření na jednotlivé body sítě probíhalo ve dvou polohách v režimu *Standard*. Podrobné body byly měřeny v režimu *Tracking* a v jedné poloze. Body měřické sítě byly číslovány od čísla 5001. Identické body byly číslovány od čísla 4001. Podrobné body v jednotlivých vstupech byly číslovány ve stovkové řadě podle pořadí měření. První měření tedy začínalo číslem bodu 101 a každé následující měření podrobných bodů číslem o 100 větším. Celkem bylo zaměřeno 11 vchodů. Několikrát nebyly ze stanoviska měřické sítě viditelné důležité části vnitřních prostor. V těchto případech byly vyhotoveny pomocí rajónu další stanoviště uvnitř objektů. Podrobné body byly zaměřovány i pro studenty Fakulty architektury ČVUT, kteří absolvovali předmět Památková péče III. K měření polární metodou studenti měřili oměrné k vytvoření půdorysů vstupů. Tato spolupráce má za cíl, vytvořit takové podklady, na základě kterých bude možné zachytit polohu sousedních zdí jednotlivých domů a lépe porozumět genezi vývoje zástavby.



## 7. Kancelářské práce

Schéma zpracování dat



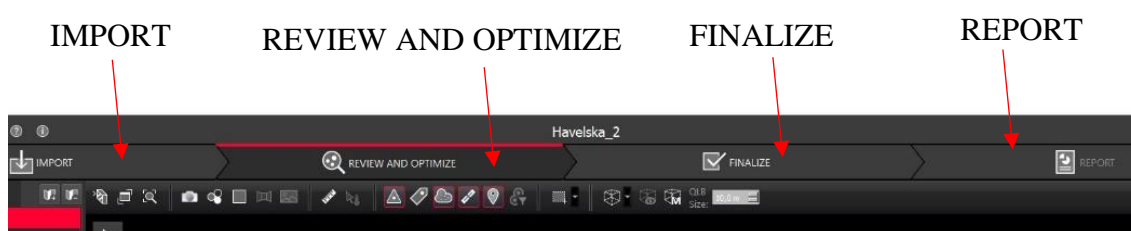
### 7.1 Stažení dat ze skeneru

Po vyhotovení skenů byl skener připojen přes rozhraní WI-FI k počítači. Pomocí programu BLK360 Data Manager byly označeny všechny skeny ve vnitřní paměti skeneru a staženy na disk počítače. Bylo staženo celkem 59 skenů. Během skenu č. 23 bylo potřeba vyměnit baterii. Do skeneru se uložila jen část snímku bez mračna bodů. Soubor tohoto skenu nebyl dále využit a byl smazán.



## 7.2 Registrace skenů

K registraci jednotlivých skenů byl použit program Leica Cyclone REGISTER 360. V programu byl založen nový projekt. Do nového projektu byly naimportovány jednotlivé skeny ve formátu .blk. Import byl proveden v levé části záložky *IMPORT* přes tlačítko *Browse Files*. Pravá část záložky *IMPORT* obsahovala nastavení registrace skenů. V případě této práce byla zvolena automatická registrace mračen bez použití terčů. V nastavení byla zaškrtnuta jen možnost *Auto Cloud*. Samotná registrace byla spuštěna červeným tlačítkem v pravém dolním rohu záložky *IMPORT*.



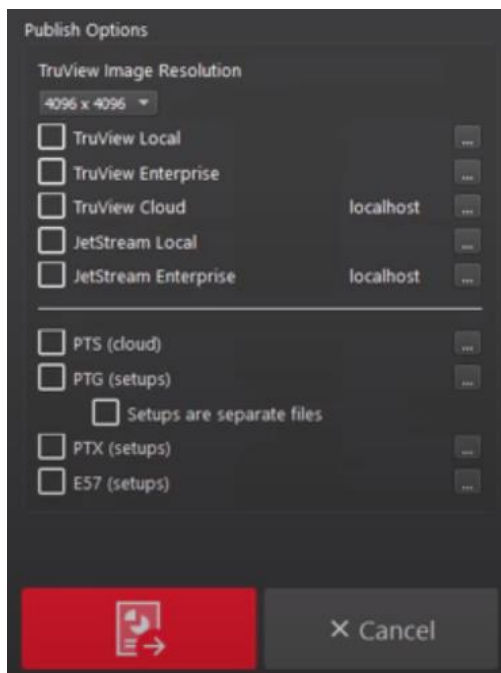
Obrázek 26 – Jednotlivé záložky v programu Cyclone

Po dokončení registrace program oznámil úspěšné dokončení registrace a sám přešel do další záložky *REVIEW AND OPTIMIZE*. Jak název záložky napovídá, v této záložce bylo možné mračno prohlédnout, zkontrolovat registraci a dále s mračnem pracovat. Pravá část záložky *REVIEW AND OPTIMIZE* po registraci obsahovala shrnutí registrace vypsáním procentuálního překrytí a propojení skenů a chyby celého svazku, která činila 0,006 m (Obrázek 53). Číselné hodnoty byly doplněny i barvou, která signalizovala míru tolerance chyb. Napojení jednotlivých skenů bylo graficky zkontrolováno pomocí zobrazení *TruSlicer*. V tomto režimu zobrazení program obarvil každé stanovisko jinou barvou a naskenované mračno zobrazil do půdorysu. Uživatel má k dispozici dva jezdcy, kterými může vytvořit řez půdorysem. Jedním jezdcem mění tloušťku řezu, druhým umístění řezu. Přiblížením a změnou výškového umístění řezu bylo zkontrolováno napojení jednotlivých obarvených skenů v několika místech. Při kontrole nebyla nalezena závažná chyba. Mírné odchylky v překrytí jednotlivých barev byly pozorovány na místech, kde bylo během skenování manipulováno s dveřmi. Žádné další úpravy nebyly v tomto programu provedeny a červeným tlačítkem umístěným v pravém dolním rohu záložky byla potvrzena registrace skenů.



V další záložce *FINALIZE* byla provedena finální kontrola, znovu zkontrolovány odchylky a překrytí skenů. Tlačítkem *Accept* byla kontrola potvrzena. Program následně přikročil k poslednímu kroku, k exportu.

Program v poslední záložce *REPORT* nabídl uživateli protokol o celém procesu registrace. V pravé části poslední záložky bylo k dispozici nastavení exportu. Program nabízí několik formátů. Horní část je určena pro nastavení exportu protokolu, dolní pro export mračna bodů. Zakliknutím vybraných formátů, nastavením cest pro uložení a následným zmáčknutím červeného tlačítka v pravém dolním rohu záložky byl spuštěn export (viz *Obrázek 27*). Pro další zpracování byly zvoleny formáty typu PTX a E57. Program dále nabídl vyexportovat registrované mračno jako celek do jednoho souboru nebo exportovat každé stanovisko do souboru vlastního. Úspěšně se vyexportovaly jen soubory celého kompletního mračna. Při exportu jednotlivých stanovisek do formátu E57 se vyexportovalo 59 souborů s celkovou velikostí 0 kB. Z časových důvodů nebyl tento problém dále řešen.



Obrázek 27 – Možnosti nastavení exportu registrovaného mračna

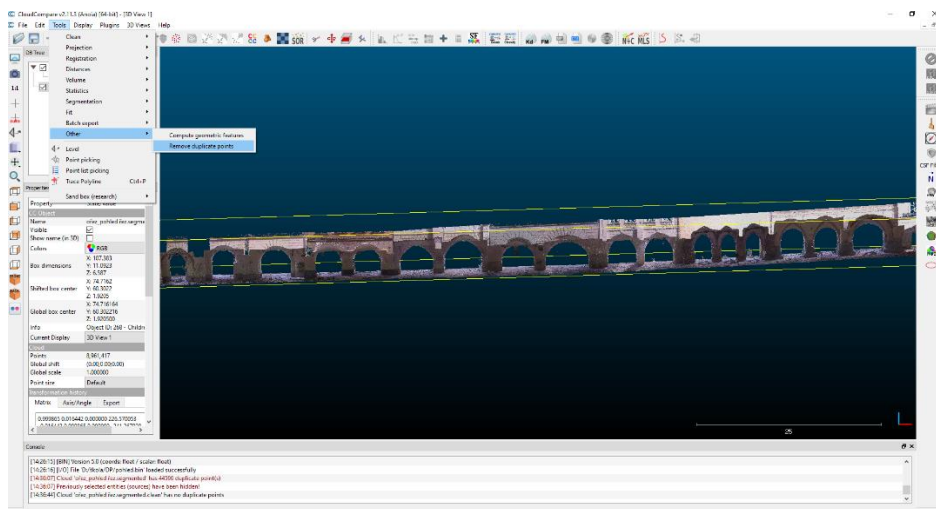


### 7.3 Ořez mračna

Registrované mračno bylo ve formátu .ptx nahráno do softwaru CloudCompare (File -> Open). Pro ořezávání mračna slouží v programu CloudCompare funkce v menu Edit -> Segment. Vybrané mračno lze oříznout pomocí libovolného polygonu (*polygonal selection*) nebo obdélníkem (*rectangular selection*). Pravým kliknutím uživatel definuje vrcholy polygonu nebo dva protilehlé vrcholy obdélníka. Po výběru oblasti obdélníkem nebo polygonem, uživatel definuje vnitřní nebo vnější oblast. Definovaná oblast je po kliknutí na fajfku odebrána z původního mračna a tvoří samostatný soubor v databázi programu.

### 7.4 Filtrace šumu a duplicitních bodů

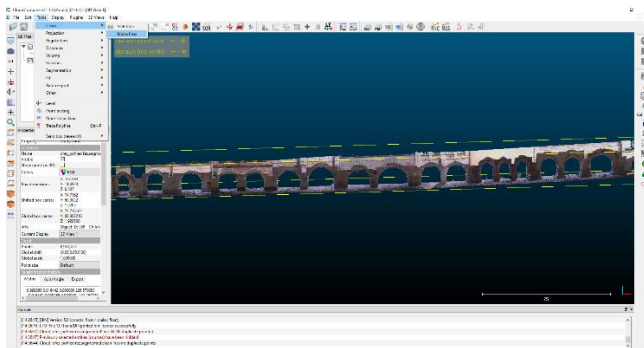
Pro smazání duplicitních bodů byla v programu CloudCompare použita funkce v menu Tools -> Others -> Remove duplicate points. V nastavení funkce byla nastavena minimální vzdálenost mezi body na hodnotu 0.010 m a funkce spuštěna.



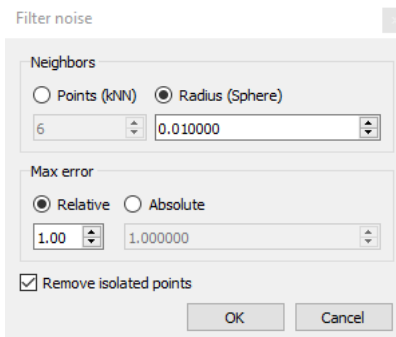
Obrázek 28 – Použití funkce Remove duplicate points



Pro filtraci šumu program CloudCompare nabízí funkci v menu Tools -> Clean -> Noise Filter. V nastavení funkce byl nastaveno okolí bodu pomocí rádiusu. Znovu byla nastavena hodnota 0.010 m.



Obrázek 29 – Použití funkce Noise Filter



Obrázek 30 – Nastavení funkce Filter Noise

Ořezem a filtrací šumu a duplicitních bodů byla celková velikost souboru mračna bodů zmenšena z 21,784 GB na 599 MB. Celkový počet bodů klesl z 535 688 254 na 16 730 718 bodů. Velikosti souboru se zmenšila o 72,5 %, počet bodů mračna klesl o 96,88 %.

## 7.5 Výpočet technické nivelace

Měřický zápisník technické nivelace vedený během měření byl vypočítán ihned po samotném měření. Pro každý nivelační pořad bylo vypočteno výsledné převýšení mezi počátečním a koncovým bodem. Dále byly sečteny hodnoty měření tam a hodnoty měření zpět. Tyto dva součty byly od sebe odečteny a bylo vypočteno měřené převýšení. Následně byl vypočítán rozdíl převýšení vypočítaného z koncového a počátečního bodu s převýšením změřeným. Tato hodnota byla porovnána s mezní hodnotou.

### Nivelační pořad k ověření nivelačních bodů

Vypočtené převýšení: 0,261 m

Změřené převýšení: 0,262m

Délka pořadu  $L_{KM}$ : 0,042 km

Výpočet mezní hodnoty pro technickou nivelaci:

$$\Delta_M = 40 \cdot \sqrt{\frac{L_{KM}}{2}} = 5,80 \text{ mm}$$

Měření nepřekročilo mezní odchylku.

Nivelační pořad k připojení mračna do systému Bpv

Vypočtené převýšení: 0,051 m

Změřené převýšení: 0,050 m

Délka pořadu  $L_{KM}$ : 0,250 km

Výpočet mezní hodnoty pro technickou nivelaci:

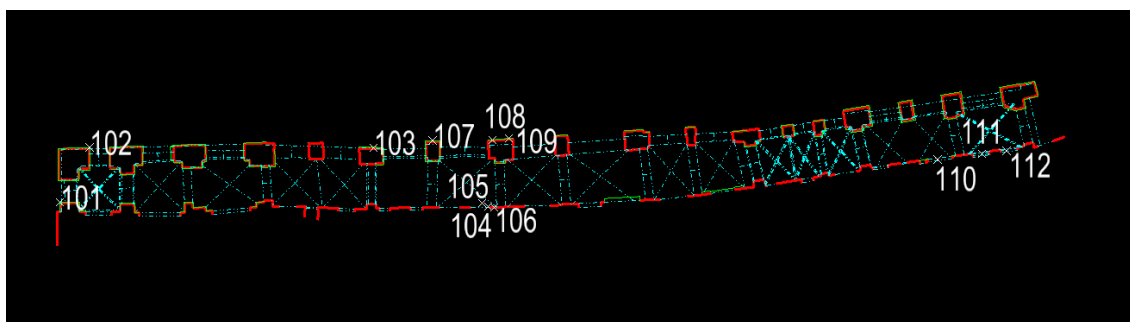
$$\Delta_M = 40 \cdot \sqrt{\frac{L_{KM}}{2}} = 14,14 \text{ mm}$$

Měření nepřekročilo mezní odchylku.

Technickou nivelací byly zaměřeny tyto výšky:

ČB	výška Bpv [m]	poznámka
101	195,009	sokl
102	195,014	sokl
103	194,711	čep
104	194,685	práh
105	194,358	vstup (sklep)
106	194,314	čep
107	194,707	čep
108	194,596	čep
109	194,680	čep
110	194,167	práh
111	194,171	práh
112	194,162	práh

Tabulka 4 – Výšky nivelovaných bodů

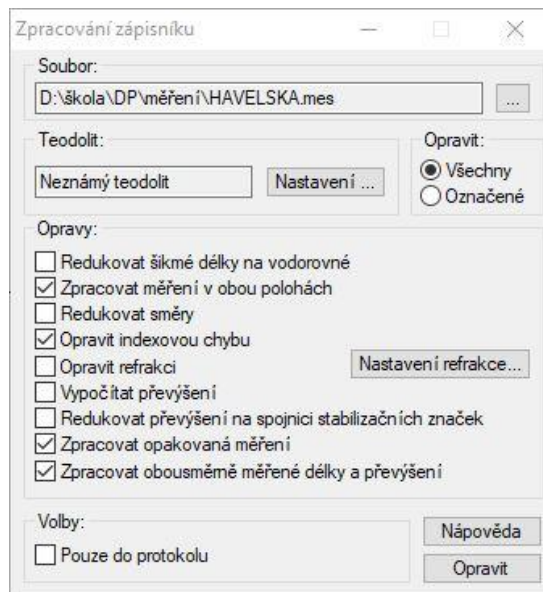


Obrázek 31 – Schéma nivelovaných bodů

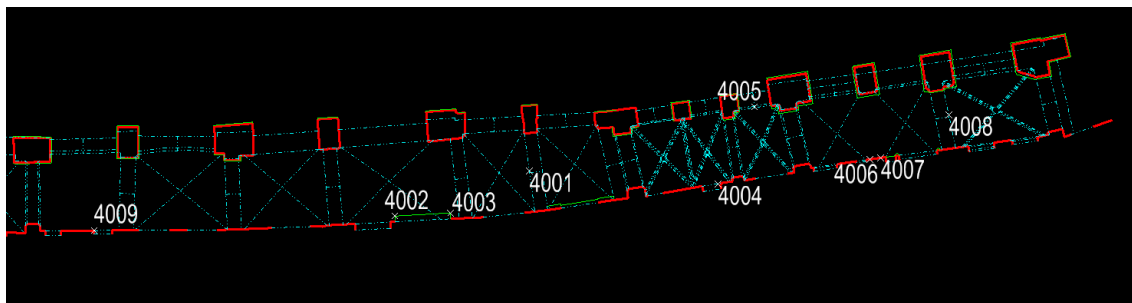
## 7.6 Výpočet polární metody

Výpočet polární metody probíhal v programu Groma. Do Gromy byl nahrán zázpisník měření ve formátu .sdr. Nejprve bylo pomocí funkce *Zpracování zázpisníku* zpracováno měření v obou polohách (*příloha protokol\_zapisnik.pro*). Dále byl založen nový seznam souřadnic. Souřadnice X bodu 5002 byla zvolena 5000, souřadnice Y 1000. Souřadnice Y bodu 5003 byla zvolena 1000, souřadnice X 5000 + změřená vzdálenost mezi body 5002 a 5003. Výsledné souřadnice bodů měřické sítě byl vypočteny postupně funkcí *polární metoda*.

Po výpočtu souřadnic bodů měřické sítě byly funkcí *polární metoda dávkou* vypočteny souřadnice podrobných a identických bodů.



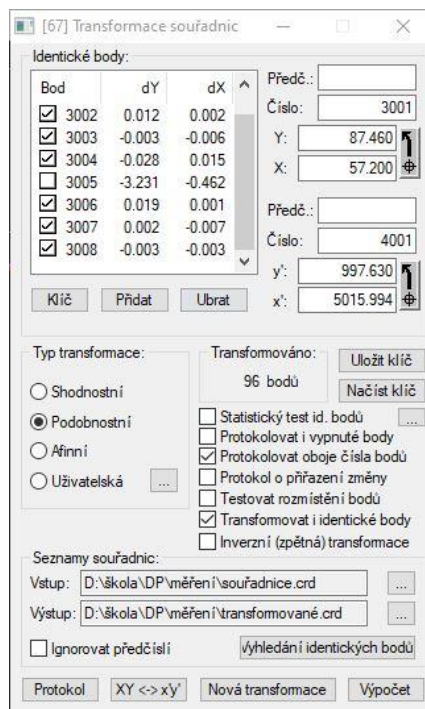
Obrázek 32 – Zpracování zázpisníku v programu Groma 12



Obrázek 33 – Schéma identických bodů zaměřených polární metodou

## 7.7 Transformace souřadnic podrobných bodů

Polární metodou bylo zaměřeno 9 identických bodů, které sloužily k transformaci měření do stejného systému jako bylo naskenované mračno. Souřadnice stejných bodů byly odečteny z mračna. V programu Groma byly vytvořeny dva seznamy souřadnic. Jeden obsahoval souřadnice z mračna, druhý souřadnice vypočtené z polární metody. Funkcí *Transformace souřadnic* v menu *Výpočty* byl vypočten transformační klíč (příloha *transformacni\_klic.key*). Jelikož byly polární metodou doměřovány vnitřní prostory a mračno bodů již bylo umístěno v místním systému, byly transformovány souřadnice podrobných bodů do místního systému mračna. Do výpočtu byly zahrnuty všechny měřené body. U bodu číslo 4005 byly podezřele vyšší odchylky (viz obrázek 34). Bod 4005 byl z výpočtu vyloučen. Tento bod byl špatně zvolen, protože v mračnu jej nebylo možné jasně definovat. Následně byl vypočtený transformační klíč aplikován na vypočtené body z měření polární metodou. Výsledné souřadnice X a Y bodů byly pro korektní práci v CAD programech vynásobeny -1 pomocí funkce *Hromadná změna*. Výsledný seznam souřadnic byl vyexportován do textového souboru ve formátu XYZ.txt (viz příloha *seznam\_souřdnic.txt*).



Obrázek 34 – Výpočet transformačního klíče v programu Groma 12



## 7.8 Tvorba výkresů

Zpracování výkresů probíhalo v programu MicroStation. Nejprve bylo potřeba nastavit prostředí tohoto programu. Byly založeny celkem 3 modely. Model pro výkres půdorysu, model pro výkres podélného řezu a pomocný model. Dále byly nastaveny vrstvy. Tabulka vrstev obsahuje název vrstvy, příslušnou barvu, typ a tloušťku čáry. Jako vzor pro definici vrstev a následné kreslení jednotlivých prvků sloužila publikace *Čítanka výkresů ve stavebnictví a Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči*. [26], [11]

Název vrstvy	Typ čáry	Tloušťka čáry	Barva vrstvy
Řez	0 (plná)	2	3 (červená)
Prvky nad řezem	6 (čerchovaná se dvěma tečkami)	0	7 (tyrkysová)
Prvky pod řezem	0 (plná)	0	2 (světle zelená)
Klenba	4 (čerchovaná)	0	183 (tmavě zelená)
Profil	4 (čerchovaná)	2	6 (oranžová)
Výšky	0 (plná)	0	1 (modrá)
Kóty	0 (plná)	0	1 (modrá)
Kóty klenby	0 (plná)	0	1 (modrá)
Pomocné popisy	2 (čárkovaná)	0	0 (bílá)
Souřadnicové křížky	0 (plná)	0	0 (bílá)

Tabulka 5 – Tabulka vrstev

### Škála tlouštěk a typů čar:

Tenká čára – VIDITELNÉ HRANY POD I NAD ROVINOU ŘEZU

Tlustá čára – ŘEZ KONSTRUKCEMI STAVBY (průnik řezové roviny a stěn)

Velmi tlustá čára – VYZNAČENÍ PRŮBĚHU ŘEZŮ, HŘEBENY STŘECH

Tlustá plná čára – ŘEZ KONSTRUKCEMI STAVBY (průnik řezové roviny a stěn)

Tenká plná čára – VIDITELNÉ HRANY A OBRYSY POD ROVINOU ŘEZU

Tenká čárkovaná čára – SKRYTÉ HRANY A OBRYSY POD ROVINOU ŘEZU

Tenká čerchovaná čára s dvěma tečkami – HRANY NAD ROVINOU ŘEZU

Tenka čerchovaná čára – SKLOPENÁ ČELA KLENEB

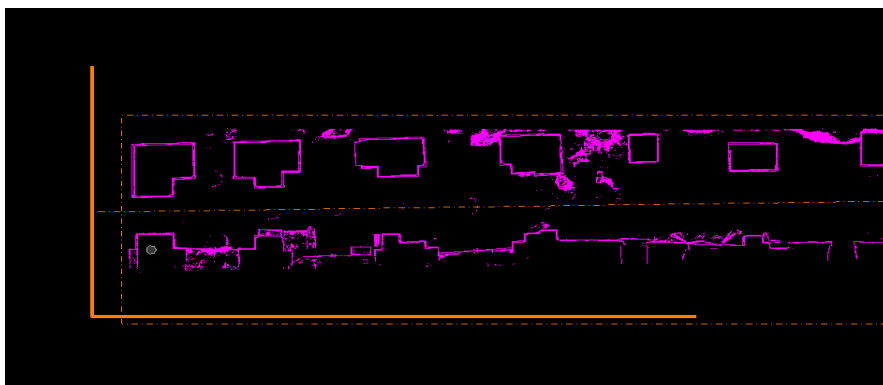
Tlustá čerchovaná čára – VYZNAČENÍ PRŮBĚHU ŘEZŮ



V programu CloudCompare byl vyhotoven ořez mračna jako podklad pro výpočet natočení. Cílem natočení je umístit souřadnicové osy tak, aby co nejlépe kopírovaly průběh loubí. Tento řez byl vyexportován do formátu .dxf a tento soubor byl referenčně připojen do pomocného modelu. V kreslicím okně byly definovány pomocné souřadnicové osy totožné s osami programu. V připojeném řezu byla vytvořena pomocná linie rovnoběžná s vnější fasádou domu č. p. 504. Dále byla vytvořena kolmice na tuto linii. Pomocí funkce přesunutí a natočení referenčního výkresu byl referenční výkres přesunut a natočen na původně definované pomocné osy.

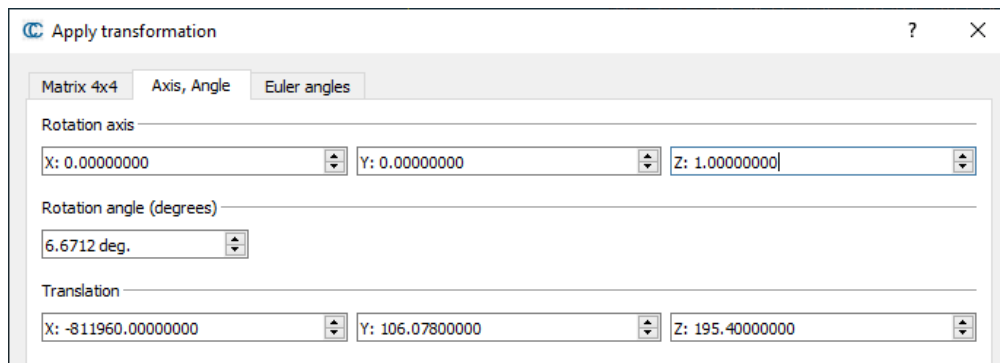


Obrázek 36 – Pomocné linie



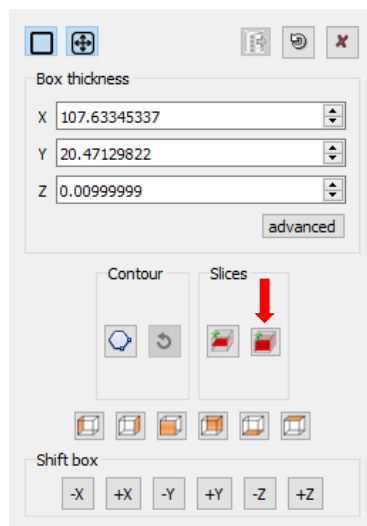
Obrázek 35 – Umístění do místního systému

Údaje o posunutí a natočení referenčního výkresu posloužily k transformaci celého mračna v programu CloudCompare. Z měření technickou nivelací a porovnáním výsledných hodnot výšek identických bodů (viz Tabulka 4) s hodnotami výšek stejných bodů v lokálním systému registrovaného mračna byl získán výškový rozdíl obou systémů. Touto hodnotou bylo mračno transformováno v ose Z.

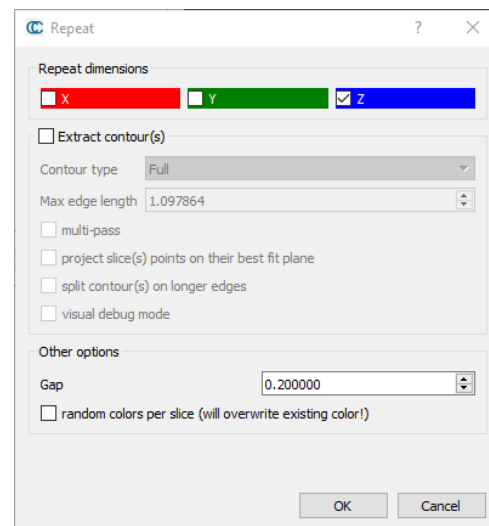


Obrázek 37 – Parametry transformačního klíče v programu CloudCompare

Ze správně umístěného mračna bodů byly v programu CloudCompare vygenerovány vícenásobné půdorysné a podélné řezy. Vytvoření umožnil nástroj Cross Section. Pro vytvoření půdorysného řezu byla v dialogovém okně nastavena hodnota souřadnice Z na 1 cm, pro vytvoření podélného řezu byla nastavena hodnota Y na 1 cm. Tím bylo docíleno řezu o velikosti 1 cm. Pro vygenerování řezů po celé oblasti mračna byla zvolena možnost *Export multiple slices*. Parametr *Gap* byl nastaven na 20 cm. Byly tedy vygenerovány řezy po 20 cm. Řezy byly vyexportovány do formátu .dxf (*přílohy rez\_pudorys.dxf a rez\_podelny.dxf*).



Obrázek 38 – Tvorba řezů

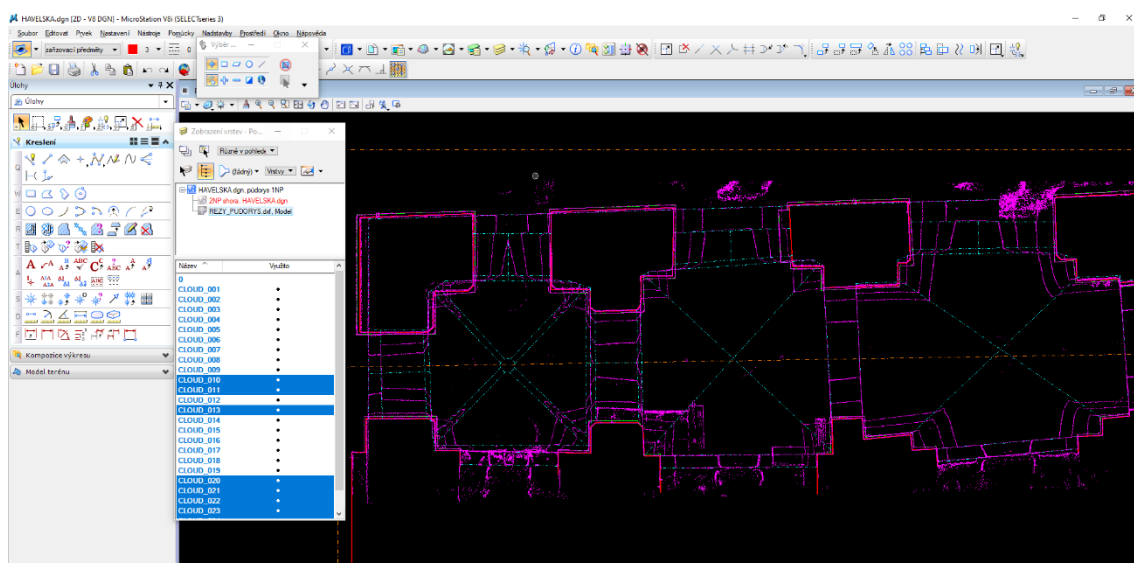


Obrázek 39 – Nastavení Multiple slices

Do modelu půdorysu byl referenčně připojen soubor .dxf s vytvořenými řezy půdorysu. Jednotlivé prvky vyobrazené v řezu byly obtahovány a kresleny do dříve nadefinovaných vrstev výkresu. Jako rovina řezu byly zvoleny vrstvy dxf souboru, které se nacházely od 80 cm do 120 cm nad úrovní terénu. Kreslení prvků pod nebo nad rovinou



řezu bylo docíleno vypínáním a zapínáním jednotlivých vrstev. Současně bylo nahlíženo i do mračna bodů v programu CloudCompare a na pořízené fotografie.

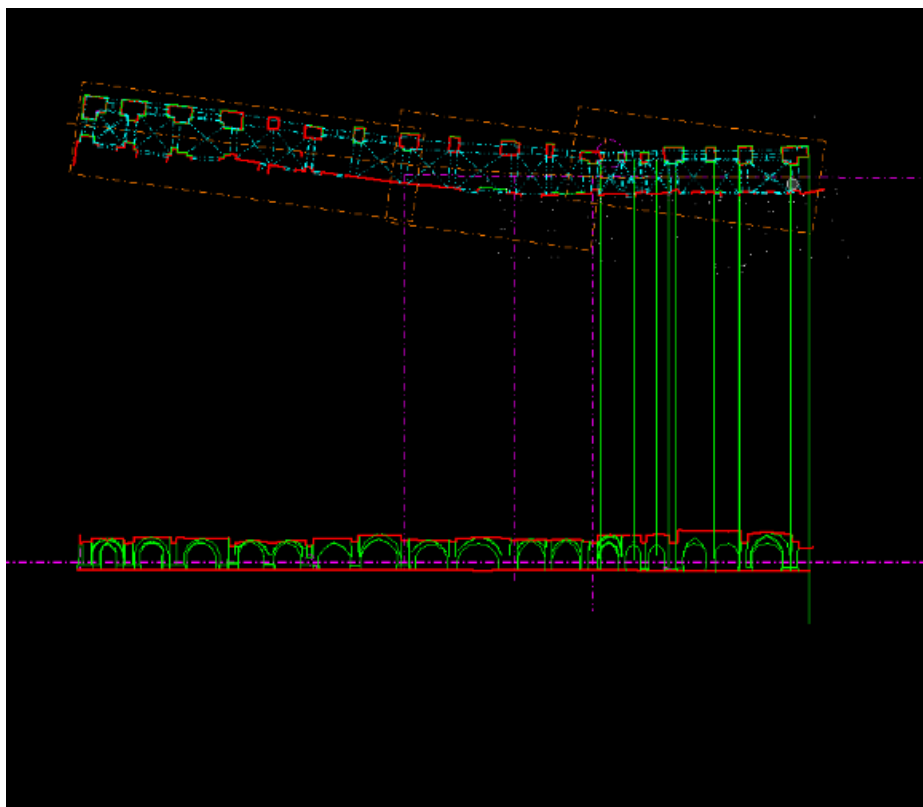


Obrázek 40 – Tvorba výkresu v programu MicroStation

Tvorba výkresu podélného řezu vycházela z již vytvořeného výkresu půdorysu. Průběh roviny podélného řezu byl definován vrcholy kleneb podél celého podloubí a zkontrolován se zadavatelem (viz Obrázek 41). Bylo využito referenčního připojení modelu půdorysu a referenčního připojení dxf souboru s podélnými řezy. Z lomových bodů půdorysu byly spouštěny přímkové, tím byla definována jejich poloha ve výkresu řezu v ose X (viz Obrázek 42). Poloha v ose Y byla definována z připojeného mračna podélného řezu nebo odečtením souřadnice Z z mračna bodů v programu CloudCompare. Jelikož rovina podélného řezu byla několikrát zalomena, bylo potřeba model půdorysu referenčně připojit několikrát a pokaždé jej natočit právě podle průběhu roviny řezu.



Obrázek 41 – Průběh podélného řezu A



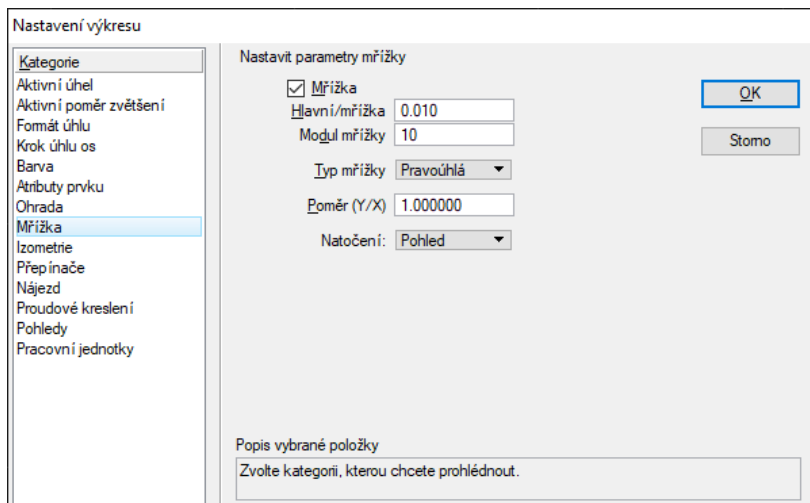
*Obrázek 42 – Kresba řezu*

Během kresby výkresů v programu MicroStation byly použity tyto funkce:

- Umístit úsečku
- Umístit oblouk
- Konstrukce úsečky pod aktivním úhlem
- Umístit text
- Rozbít prvek
- Protáhnout prvek
- Oříznout k průsečíku
- Oříznout podle prvku
- Kopírovat, přesunout, přesunout rovnoběžně, otočit
- Kótovat vzdálenost
- Převzít atributy prvku, Změnit atributy prvku



Během kresby výkresů v programu MicroStation byla v nastavení výkresu zapnuta centimetrová mřížka. Díky této funkci se kresba na tuto mřížku přichytávala a zjednodušilo se tím konstruování prvků.



Obrázek 43 – Nastavení mřížky výkresu v programu MicroStation

Po dokončení kresby jednotlivých prvků výkresu byl výkres doplněn o rozměrové kóty, kóty kleneb a výškové kóty. Veškeré kóty jsou zobrazeny v modré barvě, aby nesplývaly s kresbou výkresu. Protože povrch chodníku je tvořen dlažbou a má proměnný průběh, byly výškové kóty tvořeny pomocí absolutních výšek systému Bpv. Dále byl výkres doplněn o souřadnicové křížky. O exportu výkresu pojednává kapitola 7.10.

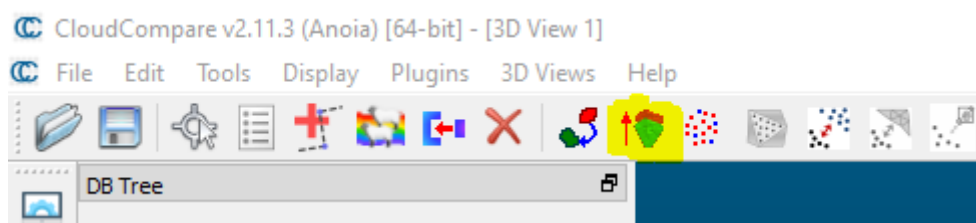
## 7.9 Porovnání oblouků kleneb podloubí č. p. 507

Během rekognoskace byla zadavatelem vyslovena otázka, jak moc se svou geometrií podobají oblouky kleneb loubí domu č. p. 507 (viz *Obrázek 44*). Toto porovnání může dále sloužit k rekonstrukci postupu prací, zda byla použita stejná konstrukce pro oba oblouky. Pro porovnání byl využit program CloudCompare. Z naskenovaných dat byla oříznuta část loubí. Tato část byla následně rozdělena v půli mezi oblouky kleneb. Zůstaly tedy vnitřní části oblouků a pilířů.



*Obrázek 44 – Porovnávaná oblast oblouků kleneb*

Tato dvě mračna byla vložena do funkce registrování mračen (z pohledu ulice Havelské bylo jako referenční mračno zvoleno mračno levého oblouku – vyššího oblouku klenby).

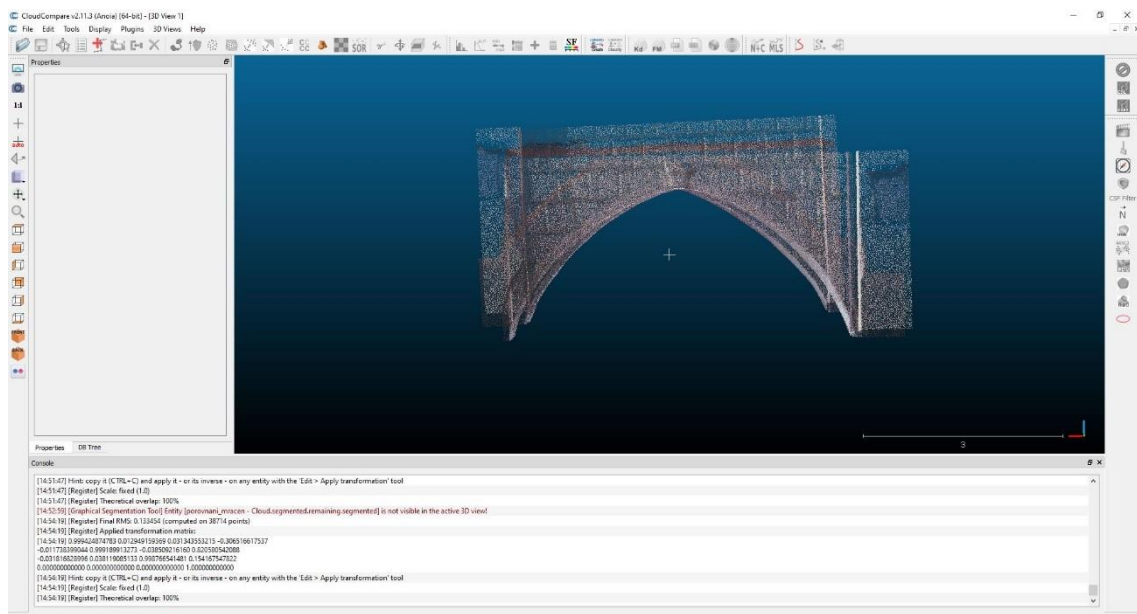


*Obrázek 45 – Umístění funkce automatické registrace v programu CloudCompare*



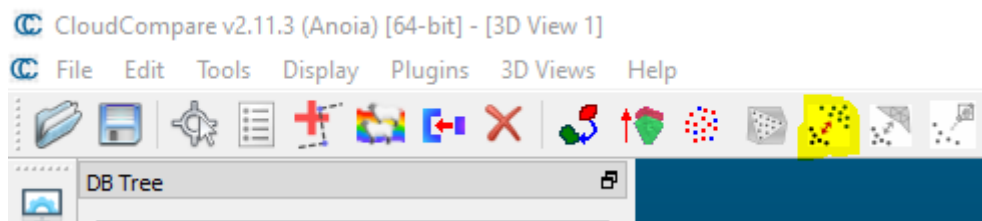
Při tomto pokusu se algoritmus snažil mračna spojit přes plochy pilířů. Pro účel porovnání oblouků byl tedy výsledek nevyhovující, protože průběhy obou oblouků neměly po registraci žádný společný bod.

Při druhém pokusu byly před registrací mračen odstraněny části pilířů (od paty klenby směrem k zemi). Znovu byla spuštěna automatická registrace mračen. Výsledek algoritmu byl mnohem lepší (viz Obrázek 46). Obě mračna měla společný bod přibližně ve vrcholu klenby.



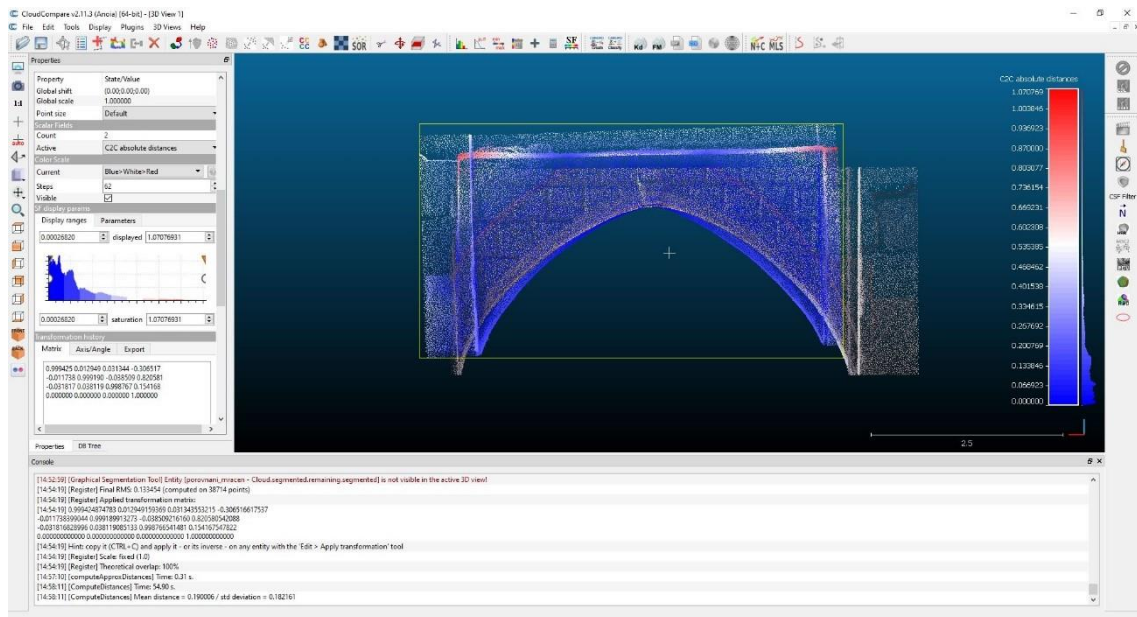
Obrázek 46 – Výsledek druhé automatické registrace

Pro zobrazení odchylek obou mračen byla použita funkce pro výpočet vzdálenosti *Compute cloud/cloud distance*.



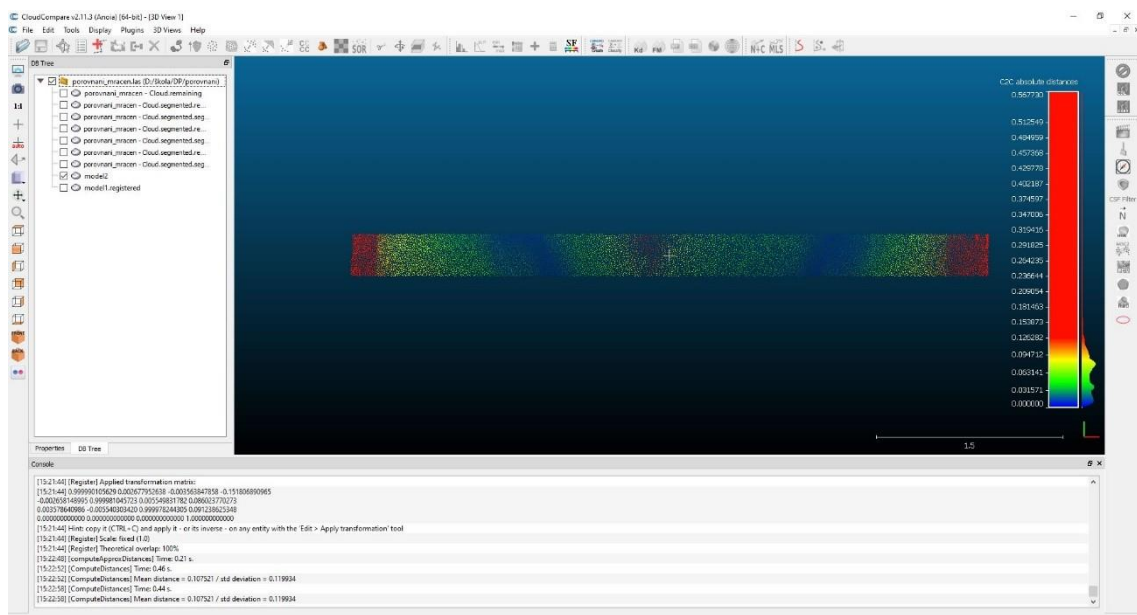
Obrázek 47 - Umístění funkce *Compute cloud/cloud distance* v programu *CloudCompare*

V nastavení zobrazení připojovaného mračna byl změněn typ zobrazení z RGB na Scalar field. Bylo tedy možné graficky odečíst odchylky (viz Obrázek 48).



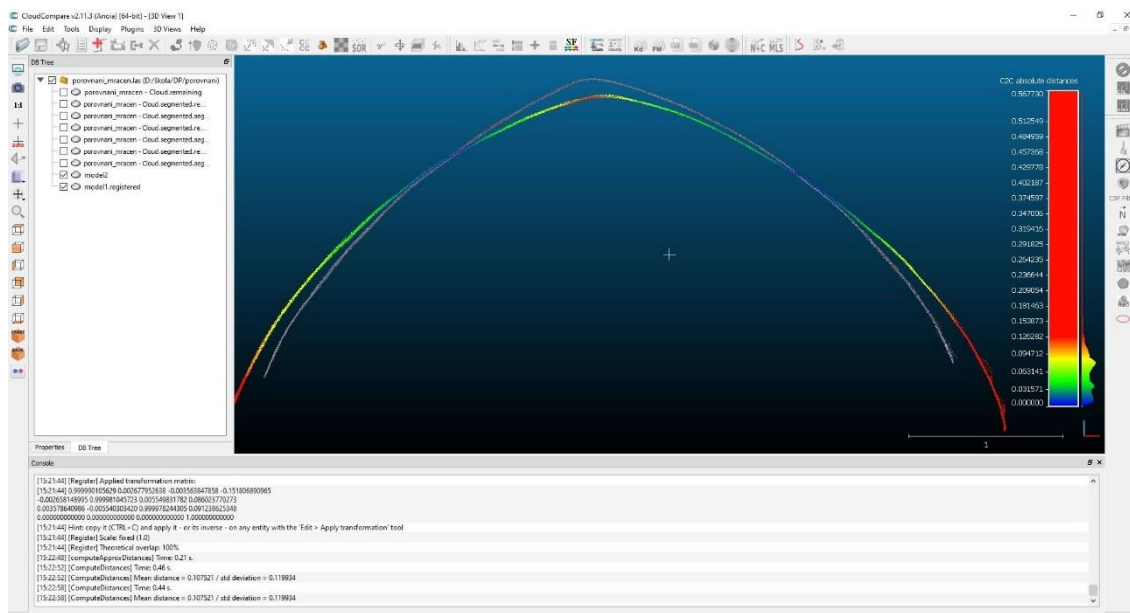
Obrázek 48 – Grafické zobrazení vypočtených vzdáleností cloud/cloud

Ze zobrazených dat bylo vidět, že algoritmus použil k registraci mračen plochy fasády loubí. Byl tedy proveden další pokus. Mračna byla oříznuta čistě jen na vnitřní část klenby. Byla zopakována registrace mračen a výpočet vzdáleností mezi body obou mračen.



Obrázek 49 – Grafické zobrazení vypočtených vzdáleností cloud/cloud po 2. pokusu (pohled shora)



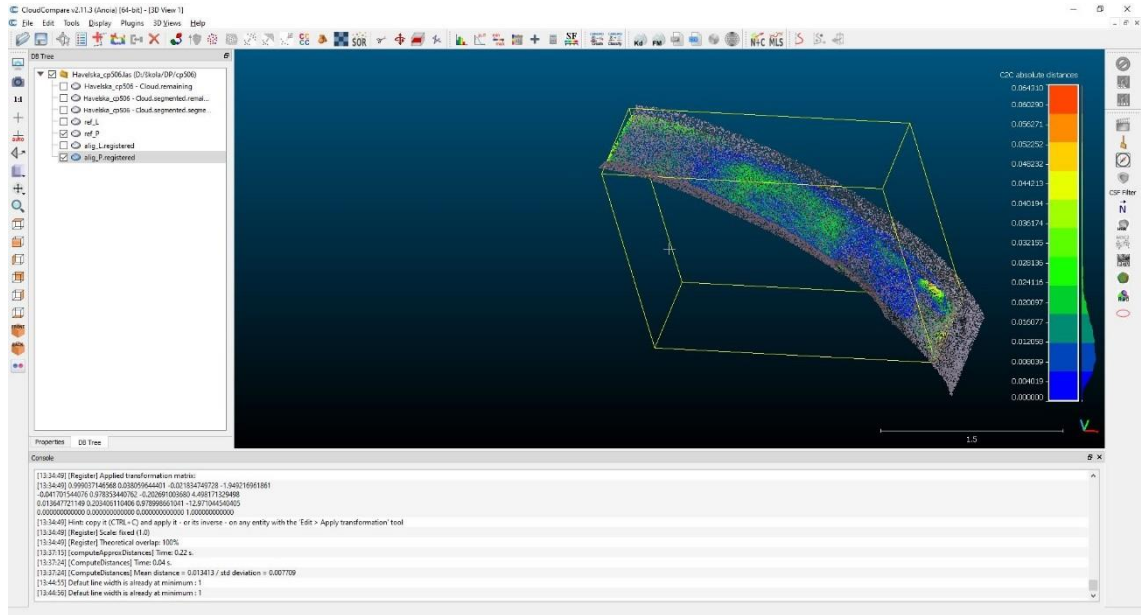


Obrázek 50 - Grafické zobrazení vypočtených vzdáleností cloud/cloud po 2. pokusu (frontální pohled)

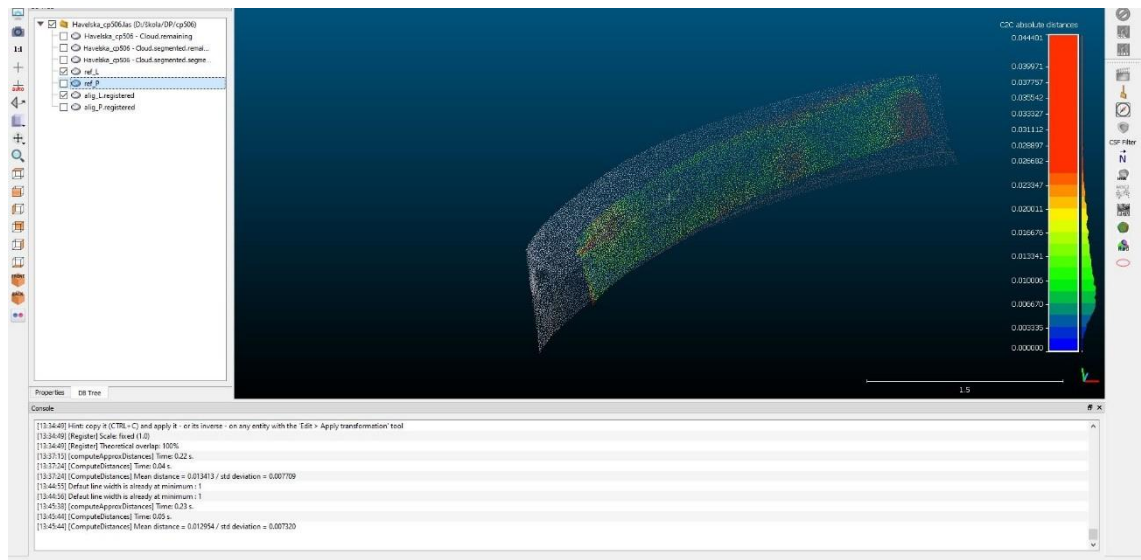
Z posledního porovnání je jasné, že vnitřní úhel kleneb není totožný. Horní pohled na připojené mračno naznačuje, že připojovaná klenba mírně padá, protože barevně zobrazené odchylky mírně uhýbají do stran. Po ukázce výsledků a následné konzultaci s doc. Ing. Michaelem Ryklem, Ph.D. byl navržen další pokus o porovnání – nedržet se oblouků jako celku, ale oba oblouky kleneb rozdělit na pravou a levou část a tyto části vzájemně porovnat.

Registrace levé i pravé části oblouků proběhla v pořádku. Při výpočtu vzdáleností hodnoty nepřekročily u levé části 5 cm u pravé části 7 cm. Výsledné odlehlosti obou mračen jsou graficky zobrazeny barevnou hypsometrií (viz obrázky 51 a 52).

Výsledky porovnání geometrie oblouků nevyvrací teorii, že bylo použito stejného tvaru bednění pro stavbu obou oblouků kleneb. Jelikož se podobají jednotlivé části oblouků, je možné, že se bednění skládalo ze 2 částí. Při stavbě jednotlivých kleneb byly k sobě části sestaveny jiným způsobem a ve vrcholu byly doplněny vrcholovými klenáky odlišných tvarů.



Obrázek 51 - Grafické zobrazení vypočtených vzdáleností cloud/cloud po 3. pokusu – pravá část



Obrázek 52 – Grafické zobrazení vypočtených vzdáleností cloud/cloud po 3. pokusu – levá část



## 7.10 Export výstupů

Výstupem této práce je mračno bodů, porovnání oblouků kleneb loubí domu č. p. 507 a výkresy půdorysu a podélného řezu loubí domů č. p. 504 – 512 v digitální i tištěné podobě. Veškeré výstupy jsou uloženy na SD kartě. Struktura souborů je popsána v kapitole *Obsah SD karty*.

### **Mračno bodů**

Vyčištěné a oříznuté mračno bylo vyexportováno do formátu .las. Výsledné mračno bylo vyexportováno s hustotou bodů 1 cm.

*Příloha: mracno\_bodu\_1cm.las*

### **Porovnání oblouků**

Výstupem porovnání oblouků jsou dva rastrové soubory vytvořené funkcí *Render to File* a soubor ve formátu .bin s celým projektem z programu CloudCompare.

*Přílohy: porovnaní\_oblouku.bin, porovnaní\_prava.png, porovnaní\_leva.png*

### **Výkres půdorysu a podélného řezu**

Pro finální export výkresů z programu MicroStation byl vytvořen model typu arch. Byl zvolen formát 4xA4 a 5xA4. V tomto modelu byla vytvořena popiska, rám výkresu, severka, grafické měřítko a další doplňkové prvky. Do již připraveného archu byl referenčně připojen hotový model výkresu půdorysu v měřítku 1:50. Byly vypnuty pomocné vrstvy připojeného výkresu a finální výkres byl vytištěn do formátu pdf. Obdobně byly vyhotoveny výkresy podélného řezu. Celkem se výkres rozdělil na tři části.

*Přílohy: 01\_pudorys\_1.pdf, 02\_pudorys\_2.pdf, 03\_pudorys\_3.pdf, 04\_řezA\_1.pdf, 05\_řezA\_2.pdf, 06\_řezA\_3.pdf*

Modely půdorysu i podélného řezu byly vyexportovány do CAD souboru formátu dwg a dgn. Modely typu arch nebyly exportovány.

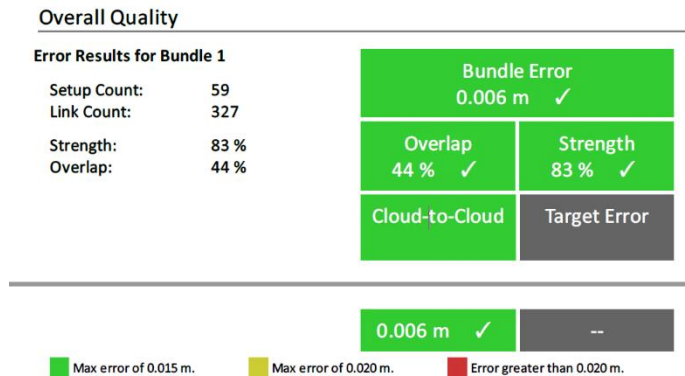
*Přílohy: vykres\_pudorys.dgn, vykres\_pudorys.dwg, vykres\_rezA.dgn, vykres\_rezA.dwg*

## 8. Zhodnocení přesnosti

Přesnost a kvalita automatické registrace skenů byla několikrát kontrolována různými metodami. Tato kapitola popisuje jednotlivé metody kontroly a jejich výsledky. Jako první zhodnotil kvalitu registrace protokol o registraci mračna v programu Leica Cyclone REGISTER 360. Dále bylo ověřeno výškové umístění registrovaného mračna technickou nivelací. Nakonec bylo polohové umístění registrovaného mračna zkontrolováno měřením totální stanicí polární metodou.

### Automatická registrace skenů

Celková automatická registrace skenů (viz kapitola 7.2) v programu Leica Cyclone REGISTER proběhla s celkovou průměrnou chybou 0,006 m a s průměrným překrytím jednotlivých skenů 44 %. Protokol (*příloha protokol\_registrace.pdf*) dále obsahuje informace o propojení jednotlivých skenů. V této části protokolu je vidno, že stanoviška 47 a 53 se jako jediná propojila s chybou větší než 15 mm. Chyba propojení činila 18 mm. V seznamu je jejich propojovací linka jako jediná označena žlutou barvou.



Obrázek 53 – Hodnocení kvality registrace mračna v protokolu o registraci mračna

Link 298	BLK360_3503293_Setup12	BLK360_3503293_Setup56	19 %	0.012 m
Link 299	BLK360_3503293_Setup52	BLK360_3503293_Setup54	57 %	0.008 m
Link 300	BLK360_3503293_Setup47	BLK360_3503293_Setup53	15 %	0.018 m
Link 301	BLK360_3503293_Setup55	BLK360_3503293_Setup57	47 %	0.009 m

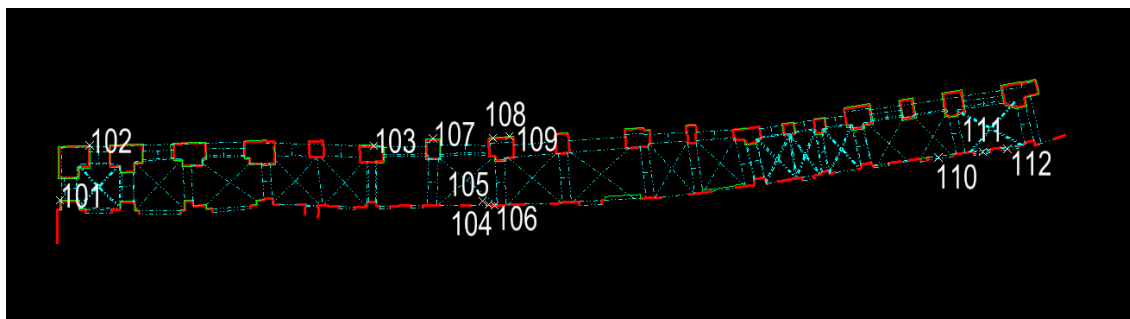
Obrázek 54 – Část seznamu propojovacích linek z protokolu o registraci mračna

### Ověření výškového umístění registrovaného mračna

Jednou z nevýhod 3D skeneru Leica BLK 360 je absence jakékoli libely. Přístroj je vybaven IMU jednotkou, která umožňuje automatickou orientaci při náklonu až 5°. Registrované mračno bylo zkontrolováno měřením několika identických bodů technickou nivelací (viz kapitola 6.4). Toto měření prověřilo sklon jen od osy Z. Z naměřených a z odečtených výšek z mračna bodů byly vypočteny rozdíly výšek, jejich průměr a následné odchylky od průměru. Z vypočtených hodnot je patrné, že odchylky systematicky nenarůstají a jsou spíše nahodilé a v souladu s přesností měření a odečtu výšek z mračna (viz Tabulka 6).

ČB	výška Bpv [m]	výška (mračno bodů) [m]	rozdíl výšek[m]	Odchylky [m]
101	195,009	-0,40	195,41	-0,01
102	195,014	-0,39	195,40	0,00
103	194,711	-0,70	195,41	-0,01
104	194,685	-0,70	195,39	0,02
105	194,358	-1,06	195,42	-0,02
106	194,314	-1,11	195,42	-0,02
107	194,707	-0,69	195,40	0,00
108	194,596	-0,81	195,41	0,00
109	194,68	-0,73	195,41	-0,01
110	194,167	-1,22	195,39	0,01
111	194,171	-1,21	195,38	0,02
112	194,162	-1,22	195,38	0,02

Tabulka 6 – Odchylky výškových rozdílů



Obrázek 55 – Schéma rozmístění nivelovaných bodů



### **Technická nivelace**

#### Nivelační pořad k ověření nivelačních bodů

Vypočtené převýšení: 0,261 m

Změřené převýšení: 0,262m

Délka pořadu  $L_{KM}$ : 0,042 km

Výpočet mezní hodnoty pro technickou nivelaci:

$$\Delta_M = 40 \cdot \sqrt{\frac{L_{KM}}{2}} = 5,80 \text{ mm}$$

Měření nepřekročilo mezní odchylku.

#### Nivelační pořad k připojení mračna do systému Bpv

Vypočtené převýšení: 0,051 m

Změřené převýšení: 0,050 m

Délka pořadu  $L_{KM}$ : 0,250 km

Výpočet mezní hodnoty pro technickou nivelaci:

$$\Delta_M = 40 \cdot \sqrt{\frac{L_{KM}}{2}} = 14,14 \text{ mm}$$

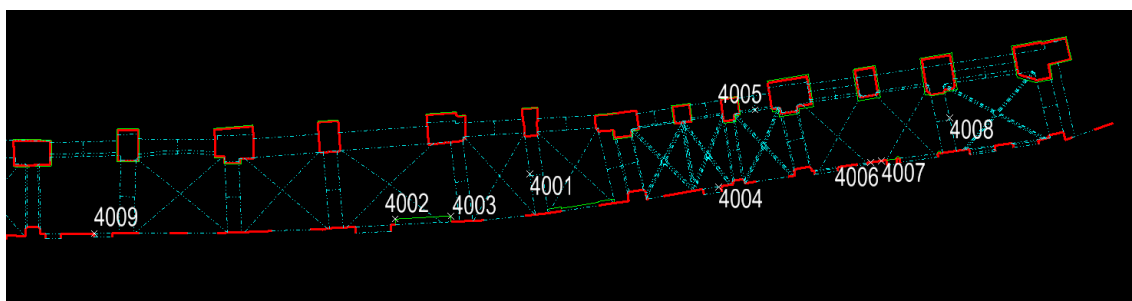
Měření nepřekročilo mezní odchylku.

### **Ověření polohového umístění registrovaného mračna**

Polární metodou bylo zaměřeno i několik identických bodů, které sloužily k transformaci měření do systému naskenovaného mračna (viz kapitola 6.5). Transformační klíč (příloha *transformacni\_klic.key*) vypočtený k této transformaci nám může poskytnout náhled i na správně vytvořenou registraci skenů v prostoru. Maximální odchylka registrovaného mračna vůči měření polární metodou v souřadnici X činí 29 mm, v souřadnici Y 19 mm (viz Tabulka 7).

ČB	dX [m]	dY [m]
4001	0,001	0,007
4002	0,009	0,013
4003	-0,006	0,007
4004	-0,029	0,016
4006	0,020	-0,003
4007	0,003	-0,011
4008	-0,001	-0,010
4009	0,003	-0,019

Tabulka 7 – Souřadnicové rozdíly identických bodů



Obrázek 56 – Schéma rozmístění identických bodů

### Polární metoda

Z protokolu (*příloha protokol\_zapisnik.pro*) o zpracování zápisníku v programu Groma vyplývá, že měření v obou polohách neobsahuje žádné podezřelé či chybné měření. Rozdíly obousměrně měřených délek nepřekročily 3 mm.

Odhad kolimační chyby: -0,0035 gon

Odhad indexové chyby: 0,0014 gon

Po výpočtu polární metody dávkou programu Groma byl vyhotoven protokol (*příloha polarni\_metoda.pro*). Největší odchylky při výpočtu byly u stanoviska 5009, kdy maximální oprava v délce činila 7 mm, maximální oprava orientace byla 0.007 gon. Tyto opravy jsou v souladu s očekávanou přesností.



## Závěr

Vytyčené cíle v úvodu této práce se podařilo splnit. Pomocí skeneru Leica BLK 360 bylo naskenováno loubí domů č. p. 504 – 512 v Havelské ulici v Praze 1. Naskenovaná mračna byla registrována v programu Leica Cyclone REGISTER. Registrované mračno bylo upraveno v programu CloudCompare. Z výsledného mračna a z dat naměřených polární metodou totální stanicí byl v programu MicroStation vytvořen výkres půdorysu a výkres podélného řezu. Dále byla provedena analýza geometrie vybraných klenebních oblouků.

Výhodu skeneru Leica BLK 360 vidím v jeho skladnosti, rychlosti skenování a jednoduchém ovládní při skenování pomocí jednoho tlačítka. Nevýhodou je absence libely. Díky tomu nemá měřič jasnou kontrolu nad horizontací přístroje. Další nevýhodou je komunikace přístroje jen se zařízením s operačním systémem iOS. Bez tohoto zařízení tak není možná jakákoliv kontrola skenování nebo změna parametrů skenování. Při měření se také několikrát vybila baterie. Výrobce udává, že měřiče skener upozorní tmavě zeleným blikáním signalizačního pruhu při kapacitě baterie  $< 20\%$ . Bohužel při přímém svitu slunce na skener není odstín zelené barvy rozpoznatelný od běžné zelené, která svítí při průběhu skenování, a během měření se stalo, že se baterie vybila během skenování na stanovisku hned po pořízení fotek. Následně se skener rozblikal žlutě, tím signalizoval úplné vybití baterie. Po výměně baterie bylo měření na stanovisku zopakováno. Měření, které obsahovalo jen nafocené fotografie, bylo při stahování dat smazáno. Nevýhodou je také komunikace s počítačem přes rozhraní WI-FI. Stahování skenů tak trvá delší dobu a při stahování se také může vybit baterie přístroje.

Hlavní nevýhodou programu CloudCompare vidím v absenci funkce zpět. Jakákoliv úprava tedy nešla vrátit zpět. Bylo potřeba si před každým pokusem mračno uložit do formátu .bin. Hlavní výhodou je dostupnost programu v open-source verzi se základními funkcemi k úpravě mračen.

Samotné měření probíhalo v době, kdy byla vyhlášena různá nařízení vlády v průběhu pandemie. To bohužel zapříčinilo delší prodlevy během měření jednotlivými metodami. Například měření polární metodou, pro kontrolu registrovaných mračen





a získání dat o vnitřních prostorech domů, proběhlo přibližně 2 měsíce po samotném skenování. Dle mého názoru by bylo lepší veškerá měření dělat v co nejkratším časovém horizontu. Na druhou stranu je vhodné si před měřením vlíčovacích bodů nebo před připojením mračna do systému Bpv např. pomocí nivelace ověřit, zda body, pomocí kterých chci měření připojit či kontrolovat, naskenované mračno obsahuje a jsou dobře identifikovatelné. Dále bych během skenování pořídil větší množství fotek pro lepší orientaci při zpracování a udělal si náčrty složitějších oblastí měření (např. paty kleneb).



## *Použité zkratky*

NPÚ – Národní památkový ústav

Bpv – Balt po vyrovnání

RPAS – Remotely piloted aircraft system

S-JTSK – Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

IMU – Inercial measurement unit (inerciální měřicí jednotka)

WLAN – Wireless local area network (bezdrátová počítačová síť)

GPL – General Public License



## *Seznam použité literatury a zdrojů*

- [1] Praha 1 - Praha 1. Úřad městské části Praha 1 - Praha 1 [online]. [cit. 06.05.2021].  
Dostupné z: <https://www.praha1.cz/mestska-cast/pro-turisty/praha-1/>
- [2] Havelské město – Wikipedie. [online]. [cit. 06.05.2021].  
Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Havelské\\_město](https://cs.wikipedia.org/wiki/Havelské_město)
- [4] dům U Zlaté růže – Památkový Katalog. Památkový Katalog [online].  
[cit. 06.05.2021]. Dostupné z: <https://www.pamatkovykatalog.cz/dum-u-zlate-ruze-15647744>
- [5] domy U Teplých a U Modrého lva – Památkový Katalog. Památkový Katalog [online]. [cit. 06.05.2021]. Dostupné z: <https://www.pamatkovykatalog.cz/domy-u-teplych-a-u-modreho-lva-15648227>
- [6] dům U Radnických – Památkový Katalog. Památkový Katalog [online].  
[cit. 06.05.2021]. Dostupné z: <https://www.pamatkovykatalog.cz/dum-u-radnickych-15648991>
- [7] dům U Finků – Památkový Katalog. Památkový Katalog [online]. [cit. 06.05.2021].  
Dostupné z: <https://pamatkovykatalog.cz/dum-u-finku-15649485>
- [8] dům U Kutovců – Památkový Katalog. Památkový Katalog [online].  
[cit. 06.05.2021]. Dostupné z: <https://pamatkovykatalog.cz/dum-u-kutovcu-15652693>
- [9] dům U Zlaté váhy – Památkový Katalog. Památkový Katalog [online].  
[cit. 06.05.2021]. Dostupné z: <https://pamatkovykatalog.cz/dum-u-zlate-vahy-15653657>
- [10] dům U Isidorů – Památkový Katalog. Památkový Katalog [online].  
[cit. 06.05.2021]. Dostupné z: <https://pamatkovykatalog.cz/dum-u-isidoru-15654813>
- [11] VESELÝ, J. 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). ISBN 978-80-86516-79-0.



[12] KROUPOVÁ, L. Geodetické zaměření zvoničky Církve československé husitské v Kostelní Lhotě a přilehlého okolního pozemku. Bakalářská práce, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2017.

[13] HORT, L. Zaměření části středověkého opevnění ve Slaném. Bakalářská práce, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2017.

[14] NOVOTNÝ, R. Kostel Stětí sv. Jana Křtitele Dolní Chabry (Praha) – dílčí měřická dokumentace. Diplomová práce, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2020.

[15] IGONIN, A. práce Geodetické zaměření a vytvoření 3D modelu Leopoldovy brány na Vyšehradě. Bakalářská práce, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2019.

[16] VÁŠOVÁ, B. Novoměstská radnice v Praze – měřická dokumentace Mázhausu. Diplomová práce, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2019.

[17] HORT, L. Zaměření vybraných historických sklepů ve Slaném. Diplomová práce, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2019.

[18] ZÍMA, M. Kaple Božího hrobu ve Slaném – fotogrammetrická dokumentace. Bakalářská práce, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2019.

[19] GEFOS Leica | BLK360. GEFOS Leica | Oficiální zastoupení [online]. [cit. 07.05.2021]. Dostupné z: <https://www.gefos-leica.cz/o-produktech/3d-laserove-skenovani/3d-laserove-skenery/blk360>

[20] Totální stanice Trimble M3 (bezhranolová s Windows). [online]. [cit. 07.05.2021]. Dostupné z: <https://www.geoobchod.cz/cs/totalni-stanice-trimble-m3-5cc/product>

[21] Data Management – BLK360. Homepage | United States | Leica Geosystems [online]. [cit. 19.04.2021]. Dostupné z: <https://shop.leica-geosystems.com/blk360-data-manager-utility>



- [22] GEFOS Leica | Leica Cyclone REGISTER 360. GEFOS Leica | Oficiální zastoupení [online]. [cit. 07.05.2021]. Dostupné z: <https://www.gefos-leica.cz/o-produktech/3d-laserove-skenovani/software/leica-cyclone-register-360>
- [23] CloudCompare – Open Source project. Home [online]. [cit. 07.05.2021]. Dostupné z: <https://www.danielgm.net/cc/>
- [24] GISOFT – MicroStation [online]. [cit. 07.05.2021]. [cit. 07.05.2021]. Dostupné z: <http://www.gisoft.cz/MicroStation/MicroStation>
- [25] Groma – geodetický software v prostředí MS Windows [online]. [cit. 07.05.2021]. Dostupné z: <http://www.groma.cz/cz/groma>
- [26] DOSEDĚL, A. Čítanka výkresů ve stavebnictví. 3. upr. vyd. Praha: Sobotáles, 2004. ISBN 80-86817-06-7.



## *Seznam obrázků*

Obrázek 1 – Území Starého Města.....	11
Obrázek 2 – Poloha Havelské ulice.....	11
Obrázek 3 – Dům U Mrázů.....	12
Obrázek 4 – Dům U Zlaté růže .....	12
Obrázek 5 – Domy u Teplých a U Modrého lva.....	12
Obrázek 6 – Dům U Radnických .....	13
Obrázek 7 – Dům U Finků.....	13
Obrázek 8 – Dům U Kutovců .....	13
Obrázek 9 – Dům U Zlaté váhy .....	14
Obrázek 10 – Dům U Isidorů.....	14
Obrázek 11 – Princip polární metody.....	16
Obrázek 12 – Sada Leica BLK 360.....	21
Obrázek 13 – Skener při měření na stanovisku .....	21
Obrázek 14 – Carl Zeiss Jena NI 020A.....	22
Obrázek 15 – Totální stanice Trimble M3 na stanovisku.....	22
Obrázek 16 – Prostředí programu BLK Data Manager.....	24
Obrázek 17 – Prostředí programu Leica Cyclone REGISTER 360.....	25
Obrázek 18 – Prostředí programu CloudCompare.....	26
Obrázek 19 – Prostředí programu MicroStation.....	27
Obrázek 20 – Prostředí programu Groma 12.....	27
Obrázek 21 – Nastavení skeneru.....	28
Obrázek 22 – Polohy výškových bodů zobrazené na portále Geoprohlížeč .....	28
Obrázek 23 – Pozice stanovisek jednotlivých skenů .....	29
Obrázek 24 – Průběh pořadu technické nivelace mezi body 194.2 a 194.1 .....	30
Obrázek 25 – Průběh pořadu technické nivelace mezi body 194.2 a 195 .....	31
Obrázek 26 – Jednotlivé záložky v programu Cyclone.....	33
Obrázek 27 – Možnosti nastavení exportu registrovaného mračna .....	34
Obrázek 28 – Použití funkce Remove duplicate points.....	35
Obrázek 29 – Použití funkce Noise Filter .....	36
Obrázek 30 – Nastavení funkce Filter Noise.....	36
Obrázek 31 – Poloha nivelovaných bodů.....	37



Obrázek 32 – Zpracování zápisníku v programu Groma 12.....	38
Obrázek 33 – Poloha identických bodů zaměřených polární metodou.....	38
Obrázek 34 – Výpočet transformačního klíče v programu Groma 12.....	39
Obrázek 35 – Umístění do místního systému.....	41
Obrázek 36 – Pomocné linie.....	41
Obrázek 37 – Parametry transformačního klíče v programu CloudCompare.....	42
Obrázek 38 – Tvorba řezů.....	42
Obrázek 39 – Nastavení Multiple slices.....	42
Obrázek 40 – Tvorba výkresu v programu MicroStation.....	43
Obrázek 41 – Průběh podélného řezu A.....	43
Obrázek 42 – Kresba řezu.....	44
Obrázek 43 – Nastavení mřížky výkresu v programu MicroStation.....	45
Obrázek 44 – Porovnávaná oblast oblouků kleneb.....	46
Obrázek 45 – Umístění funkce automatické registrace v programu CloudCompare.....	46
Obrázek 46 – Výsledek druhé automatické registrace.....	47
Obrázek 47 - Umístění funkce Compute cloud/cloud distance v programu CloudCompare.....	47
Obrázek 48 – Grafické zobrazení vypočtených vzdáleností cloud/cloud.....	48
Obrázek 49 – Grafické zobrazení vypočtených vzdáleností cloud/cloud po 2. pokusu (pohled shora).....	48
Obrázek 50 - Grafické zobrazení vypočtených vzdáleností cloud/cloud po 2. pokusu (frontální pohled).....	49
Obrázek 51 - Grafické zobrazení vypočtených vzdáleností cloud/cloud po 3. pokusu – pravá část.....	50
Obrázek 52 – Grafické zobrazení vypočtených vzdáleností cloud/cloud po 3. pokusu – levá část.....	50
Obrázek 53 –Hodnocení kvality registrace mračna v protokolu o registraci mračna.....	52
Obrázek 54 – Část seznamu propojovacích linek z protokolu o registraci mračna.....	52
Obrázek 55 – Schéma rozmístění nivelovaných bodů.....	53
Obrázek 56 – Schéma rozmístění identických bodů.....	55



## *Seznam tabulek*

Tabulka 1 – Druhy nivelace a jejich přesnost.....	17
Tabulka 2 – Technické parametry Leica BLK 360.....	22
Tabulka 3 - Technické parametry Trimble M3.....	23
Tabulka 4 – Výšky nivelovaných bodů.....	37
Tabulka 5 – Tabulka vrstev .....	40
Tabulka 6 – Odchytky výškových rozdílů.....	53
Tabulka 7 – Souřadnicové rozdíly identických bodů.....	55





## *Seznam příloh*

A Obsah SD karty

B Seznam vyhotovené dokumentace

C Mračno bodů

D Porovnání oblouků kleneb

E Výkresy



## *A Obsah SD karty*

### 1) Text diplomové práce

- Diplomova\_práce\_Michal\_Zíma.pdf

### 2) Polární metoda

- Zápisník měření – HAVELSKA.sdr
- Protokol o zpracování zápisníku – zapisnik.pro
- Souřadnice bodů XYZ – Seznam\_souřadnice.txt
- Transformační klíč – transformacni\_klic.key
- Protokol o výpočtu transformačního klíče – transformacni\_klic.pro

### 3) Technická nivelace

- Zápisníky měření – Zápisníky\_techické\_nivelace.pdf

#### b) Niveláčnické údaje

- Niveláčnické údaje\_BI\_194.1.pdf
- Niveláčnické údaje\_BI\_194.2.pdf
- Niveláčnické údaje\_BI\_195.pdf

### 4) Laserové skenování

#### a) Skeny

- Skeny 1 - 59.blk

#### b) Mračno bodů – hustota 1 cm

- Havelaska\_1cm.las

#### c) Protokol o registraci mračen

- Protokol\_registrace.pdf

### 5) Výkresy

#### a) Půdorys

- vykres\_pudorys.dgn
- vykres\_pudorys.dwg
- 01\_pudorys\_1.pdf
- 02\_pudorys\_2.pdf
- 03\_pudorys\_3.pdf



b) Podélný řez

- vykres\_rezA.dgn
- vykres\_rezA.dwg
- 04\_řezA\_1.pdf
- 05\_řezA\_2.pdf
- 06\_řezA\_3.pdf

c) Pomocné řezy

- rez\_pudorys.dxf
- rez\_podelny.dxf

6) Porovnání oblouků kleneb loubí č. p. 507

- Projekt CloudCompare - porovnani\_oblouku.bin
- Porovnání pravé části – porovnani\_prava.png
- Porovnání levé části – porovnani\_leva.png

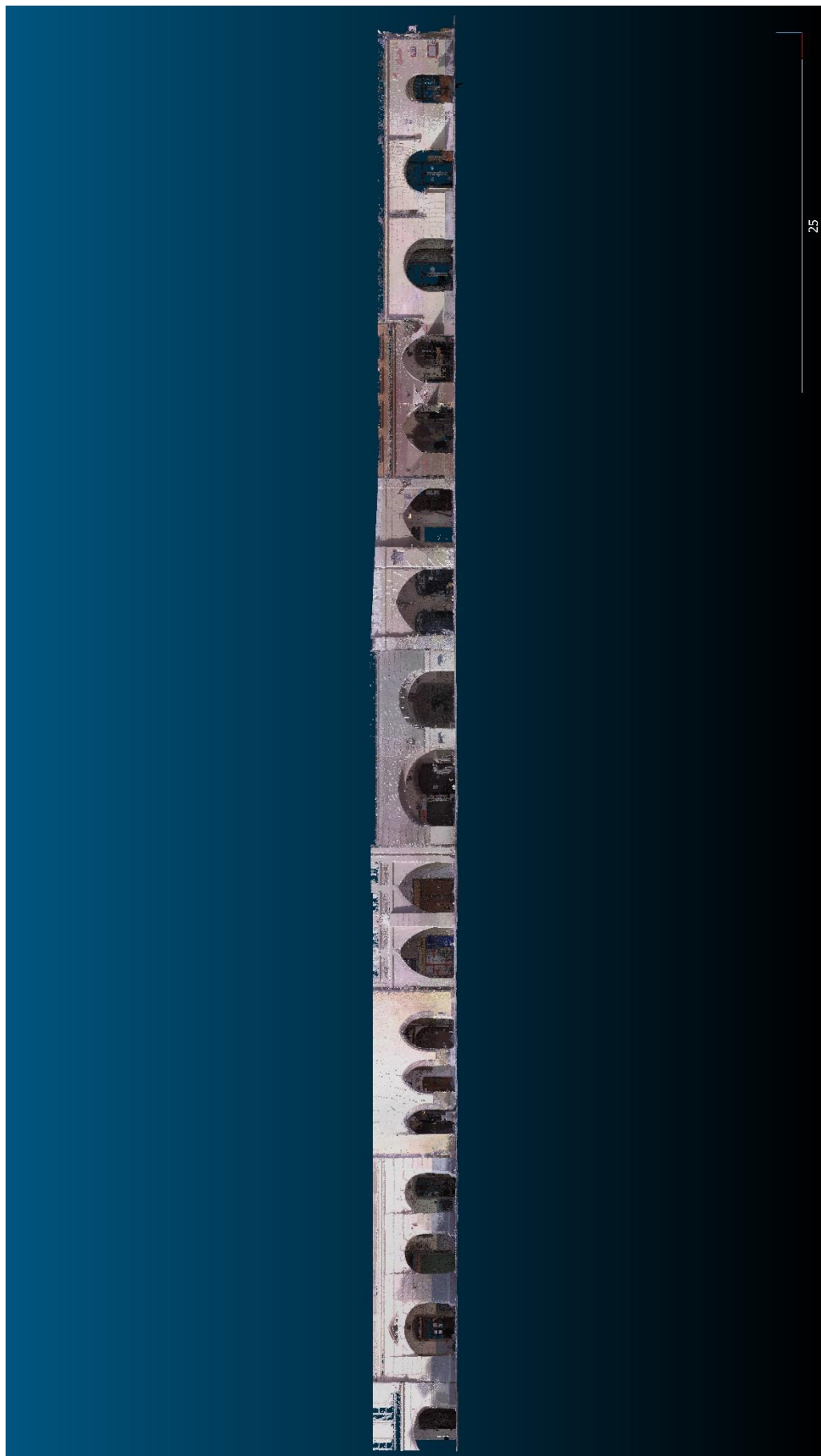
*B Seznam vyhotovené dokumentace*

Název	Název souboru	Přípona	Měřítko	Formát
Výkres půdorysu	vykres_pudorys	.dgn, .dwg	-	-
Výkres podélného řezu	vykres_rezA	.dgn, .dwg	-	-
Mračno bodů – 1 cm	mracno_bodu_1cm	.las	-	-
Porovnání oblouků	porovnani_oblouku	.bin	-	-
Porovnání pravé části oblouků	porovnani_prava	.png	-	-
Porovnání levé části oblouků	porovnani_leva	.png	-	-
Půdorys – část 1	01_pudorys_1	.pdf	1:50	5xA4
Půdorys – část 2	02_pudorys_2	.pdf	1:50	4xA4
Půdorys – část 3	03_pudorys_3	.pdf	1:50	4xA4
Podélný řez A – část 1	04_řezA_1	.pdf	1:50	5xA4
Podélný řez A – část 2	05_řezA_2	.pdf	1:50	4xA4
Podélný řez A – část 3	06_řezA_3	.pdf	1:50	4xA4



## *C Mračno bodů*

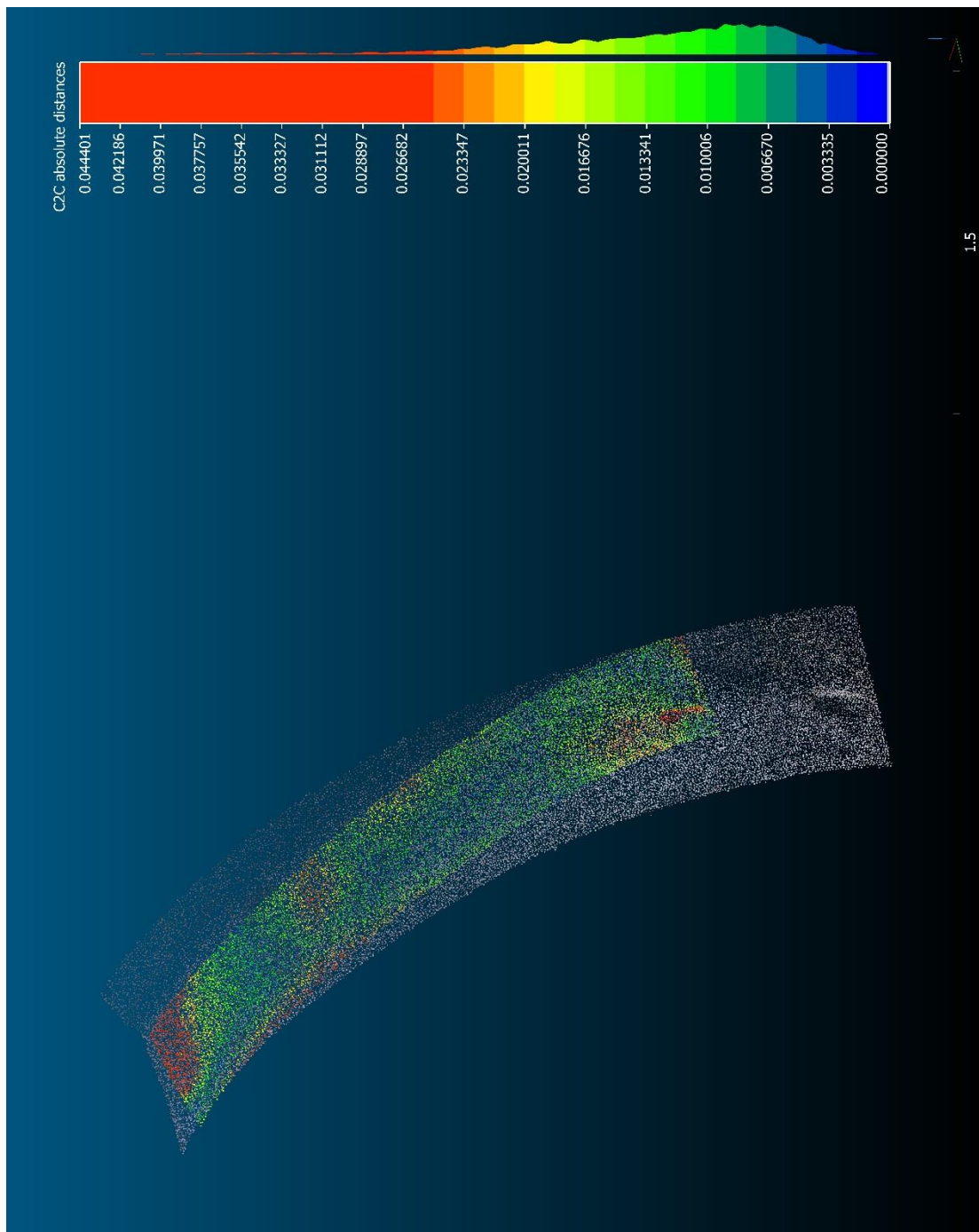






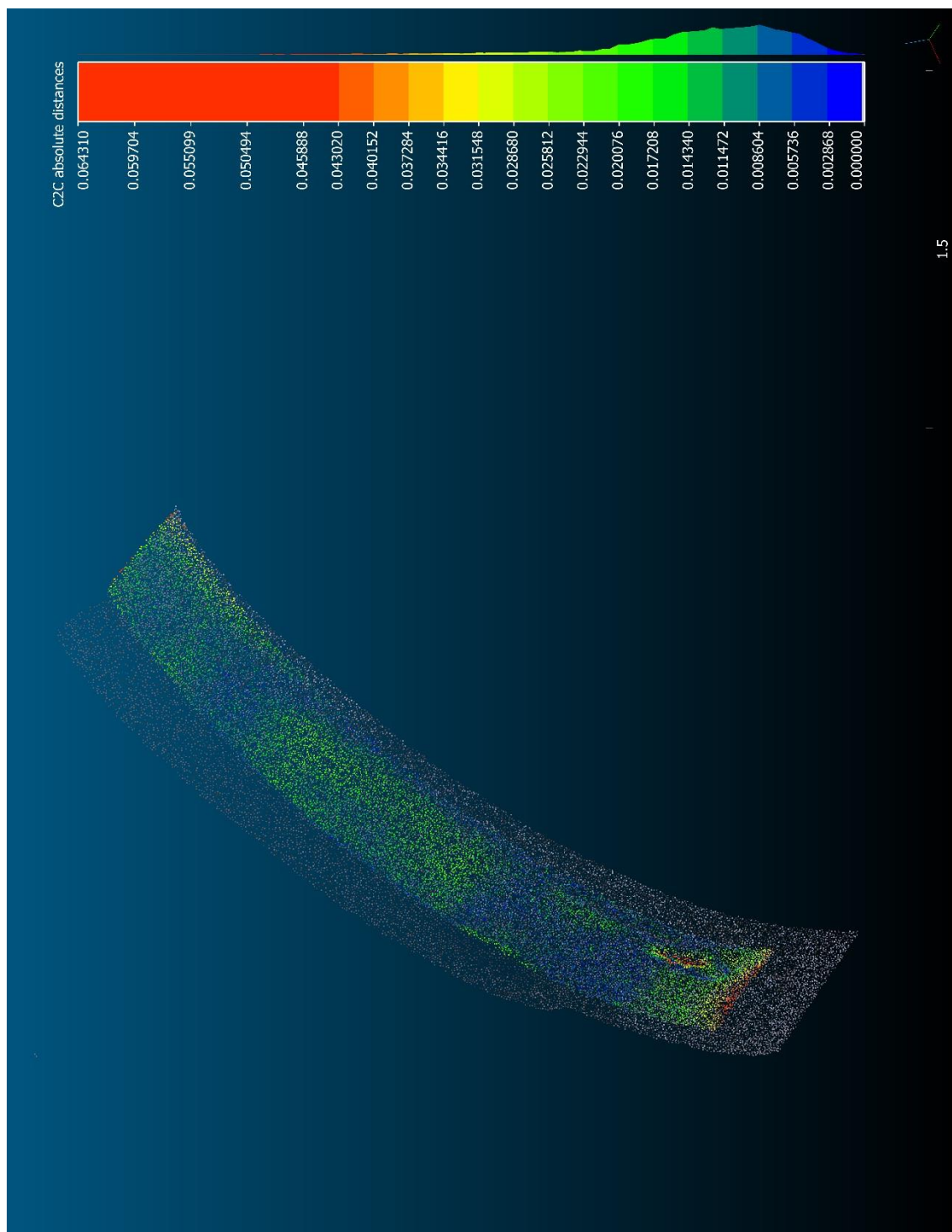
## *D Porovnání oblouků kleneb*

Levá část





Pravá část







## *E Výkresy*

01 – Půdorys – část 1

02 – Půdorys – část 2

03 – Půdorys – část 3

04 – Podélný řez A – část 1

05 – Podélný řez A – část 2

06 – Podélný řez A – část 3

*Výkresy jsou volně přiloženy k této práci.*