

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STAVEBNÍ**

**KATEDRA SPECIÁLNÍ GEODÉZIE**

Studijní program: GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

Studijní obor: GEODÉZIE A KARTOGRAFIE



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**ZAMĚŘENÍ ŠTOLY Č. 1 V JÁCHYMOVĚ**

**MEASUREMENT OF THE DRIFT NO. 1 IN JÁCHYMOV**

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

Chlumčany, 2018

Bc. Hana Fládrová



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Fládrová Jméno: Hana Osobní číslo: 423993  
Zadávací katedra: Katedra speciální geodézie  
Studijní program: Geodézie a kartografie  
Studijní obor: Geodézie a kartografie

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Zaměření Štoly č. 1 v Jáchymově  
Název diplomové práce anglicky: Measurement of the Drift No. 1 in Jáchymov

Pokyny pro vypracování:  
Zaměření Štoly č. 1 v Jáchymově 3D skenovacím systémem.  
Zpracování a registrace naměřených dat.  
Vytvoření důlní mapové dokumentace.

Seznam doporučené literatury:  
Štroner, M. a kol.: 3D skenovací systémy. Česká technika - nakladatelství ČVUT, Praha, 2013, ISBN 978-80-01-05371-3.

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 19. 2. 2018 Termín odevzdání diplomové práce: 20. 5. 2018  
*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“.*

19.2.2018

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že diplomovou práci na téma „Zaměření Štoly č. 1 v Jáchymově“ jsem vypracovala samostatně, pouze s odborným vedením Ing. Tomáše Křemena, Ph.D. Veškerá použitá literatura a podklady jsou uvedeny v seznamu literatury.

V Chlumčanech, dne 20. 5. 2018

.....

Bc. Hana Fládrová

## **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Tomášovi Křemenovi, Ph.D., za cenné rady, připomínky a pomoc při měření a zpracování mé diplomové práce.

Taktéž bych ráda poděkovala své rodině a přátelům, za podporu a rady, nejen při tvorbě mé diplomové práce, ale i po celou dobu studia.

# **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá vytvořením 3D modelu a důlní dokumentace Štoly č. 1 v Jáchymově. Zaměření štoly bylo provedeno v roce 2017 metodou laserového skenování. Hlavní zpracování dat 3D modelu ve formě mračna bodů bylo provedeno v programu Cyclone a v programu Geomagic Studio. Důlní mapa byla zpracována v programu Microstation. Výstupy práce jsou v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém systému Bpv a měly by sloužit pro prezentační účely muzea, které je ve štole zřízeno.

## **Klíčová slova**

Štola č. 1, Jáchymov, laserové skenování, 3D model, mračno bodů, identické body, registrace, základní důlní mapa

# **Abstract**

The master's thesis deals with the creation of a 3D model and mine documentation of Drift No. 1 in Jáchymov. The measurement was done in 2017 by method of laser scanning. The main data processing of the 3D model in the form of point cloud was performed in software Cyclone and Geomagic Studio. Mining map was processed in software Microstation. The outputs of the thesis are in the S-JTSK coordinate system and the Bpv elevation system. The model and map should serve for the presentation purposes of the museum, which is set up in the drift.

# **Keywords**

Drift No. 1, Jáchymov, laser scanning, 3D model, point cloud, identical points, registration, basic mining plan

# Obsah

1	Úvod.....	9
2	Štola č. 1 .....	10
2.1	Popis štoly.....	10
2.2	Současné využití štoly .....	12
2.3	Dokumentace štoly .....	12
3	Laserové skenování při dokumentaci podzemí.....	14
3.1	Laserové skenování.....	14
3.1.1	Dělení laserových skenerů .....	14
3.2	Postup při skenování v podzemí .....	16
4	Měření ve Štola č. 1 .....	17
4.1	Laserový skener FARO Focus3D X130 .....	19
4.2	Rekognoskace terénu .....	20
4.3	Skenování.....	20
5	Zpracování naměřených dat.....	24
5.1	Vytvoření mračna v Trimble RealWorks.....	24
5.2	Import dat a definice identických bodů .....	25
5.2.1	Modelování identických bodů .....	28
5.3	Registrace dat a jejich očištění.....	31
5.3.1	Prostorová transformace .....	31
5.3.2	Popis postupu registrace .....	32
5.3.3	Postup registrace .....	34
5.3.4	Očištění mračna bodů .....	36
5.4	Zpracování v programu CloudCompare .....	37
5.5	Zpracování v programu Geomagic Studio .....	40
5.6	Základní důlní mapa .....	42
6	Závěr .....	48

Seznam použité literatury .....	49
Seznam obrázků.....	51
Seznam tabulek .....	53
Seznam tištěných příloh.....	54
Seznam elektronických příloh .....	54



# 1 Úvod

Geodetická dokumentace důlních podzemních děl je důležitá z důvodu určení množství vytěženého materiálu a určení skutečného tvaru a průběhu díla v podzemí. Jako geodetická měření se mohou používat historické metody využívající pásma a buzoly, modernější polární metoda s totální stanicí nebo v současnosti stále populárnější metoda laserového skenování. Výstupem tak mohou být důlní mapy, profily chodeb, vyznačení nebezpečných míst v podzemí i na povrchu a 3D modely, které poskytují kompletní přehled o důlním díle. U historických objektů jako je Štola č. 1 v Jáchymově slouží dokumentace zejména k prezentačním účelům, aby se široká veřejnost mohla seznámit s rozměry štoly a udělat si představu o celkovém uspořádání a poměrech v podzemí.

Tato diplomová práce si klade za cíl vytvořit důlní mapu a 3D model Štoly č. 1 v Jáchymově tak, aby ji mohlo místní muzeum použít pro svoji prezentaci. Pro měření byla zvolena metoda laserového skenování, aby byly zachyceny veškeré objekty a detaily, které se ve štole nalézají.

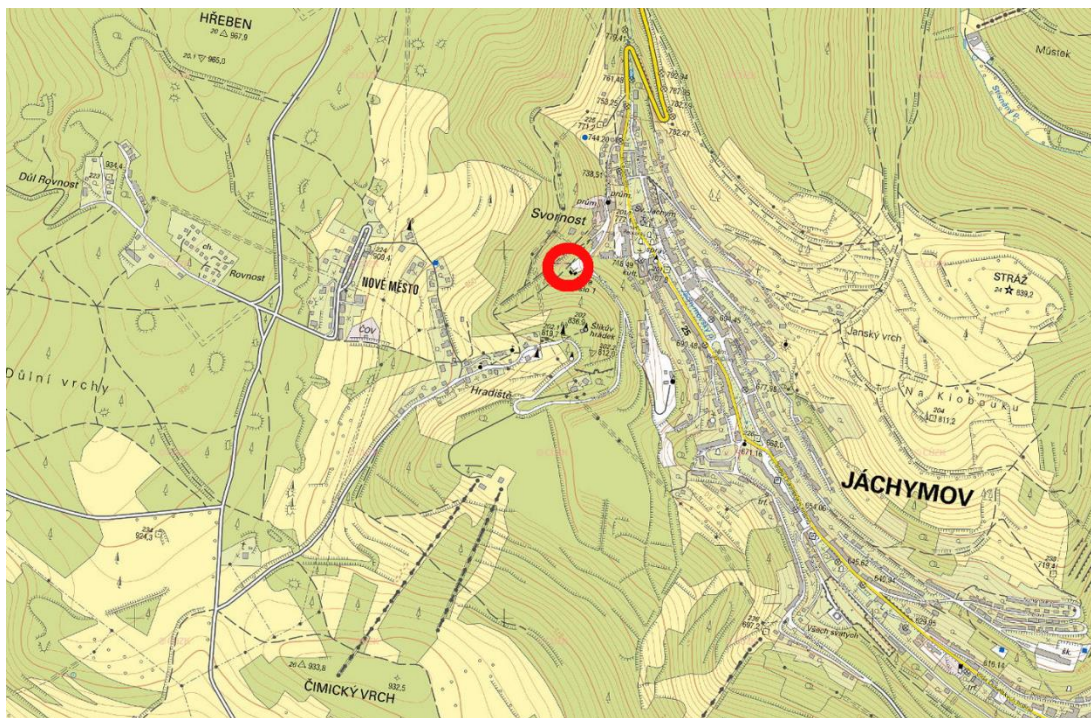
Práce je členěna do 6 kapitol. V úvodu je představena historie a současné využití Štoly č. 1. V následujících kapitolách je popsána použitá metoda laserového skenování a postup měření, ke kterému byl využit statický panoramatický skener FARO Focus3D X130, který zapůjčila firma Geotronics Praha, s. r. o. Pátá kapitola je věnována zpracování mračna skenovaných bodů, které zahrnovalo očištění dat, spojení jednotlivých skenů, registraci, transformaci do souřadnicového systému S-JTSK a výškového systému Bpv, kontrolu úplnosti dat a vytvoření finálních modelů. V závěrečné části jsou popsány a prezentovány výstupy práce v podobě základní důlní mapy, 3D modelu mračna bodů a 3D modelu zasítovaného prostoru štoly.

## 2 Štola č. 1

Štola č. 1 v Jáchymově je pozůstatkem po hornických činnostech v Krušnohoří, tzv. montánní dědictví. Montánní dědictví představují stará důlní díla, jak povrchová, tak i podzemní [1]. Dokumentace těchto děl je důležitá pro jejich historickou hodnotu, návaznost na současný terén a zároveň pro edukativní účely. Stará důlní díla v oblasti Jáchymovska by se měla stát součástí kulturního dědictví UNESCO, jako připomínka období druhé poloviny 20. století, kdy v oblasti byly pracovní tábory pro politické vězně komunistického režimu [2]. Cílem práce je vytvoření 3D modelu interiéru Štolý č. 1, který by měl sloužit pro prezentaci důlního díla veřejnosti.

### 2.1 Popis štoly

Štola se nachází pod kopcem Hřeben západně od centra Jáchymova (Obr. 1). Štola č. 1 byla ražena od 1. července 1952, jejím primárním účelem byl průzkum ložisek uranu. Hlavní chodba směřuje severozápadním směrem a je dlouhá 246 m, má profil o průměrné šířce 3 m a průměrné výšce 2,5 m. Konce štoly bylo dosaženo dne 1. září 1952. Ve vzdálenosti 183 m od portálu byla severním směrem vyražena rozrážka v délce cca 135 m a profilu o průměrné šířce a výšce 3 m, která se setkává s vydobytým prostorem na stříbrnosné žíle Evangelist z doby dobývání barevných kovů v 16. století. V rozrážce se objevují propady stropu, které spojují prostor se středověkou štolou Vysoká jedle. Konce severní odbočné chodby bylo dosaženo dne 1. prosince 1953 (Obr. 2). [3]



*Obr. 1: Poloha Štoly č. 1 v Jáchymově (www.cuzk.cz)*



*Obr. 2: Ortofoto s vyznačením Štoly č. 1 (www.cuzk.cz)*

## 2.2 Současné využití štoly

V současnosti je ve Štoli č. 1 zřízeno muzeum. Ve venkovních expozicích jsou představeny strážní věže a oplocení, které se používaly v jáchymovských pracovních táborech. Dále je představována hornická technika v podobě vagónů a motorových vozíků. Samotný prostor štoly je uzavřen venkovní mříží (Obr. 3). Za vstupem se nachází předsín a dále následuje samotná hlavní chodba, kde v levém horním rohu je vedena lutna (odvětrávací vzduchotechnika). Na počvě je položena důlní dráha, která vede z venkovního prostoru až po čelbu. Uvnitř štoly jsou představovány důlní vozíky, těžební technika, která se našla uvnitř štoly a dále nalezené pozůstatky osobního majetku vězňů z lágrů. V křižovatce s odbočnou chodbou se nalézají rozrážky do menších komor a výhybka do odbočné chodby.

V odbočné chodbě je ukázka zajištění chodby výdřevou. Po 33 metrech od křižovatky je odbočná chodba uzavřena mříží. Za mříží se nachází 103 metry chodby, kde je po 30 m starý zával, který vznikl propadem z vydobytého prostoru na žíle Evangelist. Na čelbě odbočné chodby je ve stropě průchod do prostoru štoly Vysoká jedle.

## 2.3 Dokumentace štoly

Venkovní expozice a modely táborů byly připraveny ve spolupráci s Přírodovědeckou fakultou Univerzity Karlovy (Obr. 3, Obr. 4). V podzemí štoly bylo v roce 2017 vybudováno důlní bodové pole v rámci bakalářské práce Bc. Seidla pod vedením Ing. Jiřikovského, Ph. D. [4]. Tato diplomová práce by měla vytvořit dokumentaci podzemního prostoru. Výsledný 3D model a základní důlní mapa by měly sloužit při prezentacích muzea.



*Obr. 3: Venkovní expozice Štoly č. 1 [5]*



*Obr. 4: 3D model dolu Svornost [3]*

## **3 Laserové skenování při dokumentaci podzemí**

Dokumentaci podzemních prostor je možno dělat různými geodetickými postupy. Od jednoduchých měření pomocí pásma a buzoly, přes klasickou polární metodu, při které jsou zaměřovány vybrané body až po všestranné laserové skenování, které zachytí detailně celý prostor.

### **3.1 Laserové skenování**

Laserové skenování je neselektivní metodou měření, kdy je využíván skener, který ve zvoleném prostoru s použitím bezhranolového dálkoměru zaměřuje body v pravidelném rastru a je získáno tzv. mračno bodů. Výhoda laserového skenování spočívá v rychlosti, přesnosti a komplexnosti. Laserové skenery fungují na principu, kdy je laserový svazek naváděn na body rastru v řádcích a sloupcích. Pro každý bod je určena vzdálenost, horizontální a vertikální úhel.

Rozestup dvou sousedních bodů rastru je dán tzv. hustotou skenování. Tento parametr je zadáván uživatelem před měřením. Hodnota se zadává jako poměr vzdálenosti dvou sousedních bodů rastru ke vzdálenosti těchto bodů od přístroje. Volba hustoty ovlivňuje množství skenovaných bodů a tedy výslednou detailnost zaměření a rychlost skenování. Při malé hustotě hrozí nebezpečí, že nebudou zachyceny důležité detaily skenovaných objektů. Další důležitou vlastností laserových skenerů je tvar jejich zorného pole. Uvádí se v úhlových jednotkách jako maximální rozdíl mezi krajními výstupními svazky paprsků ve vodorovném a svislém směru.

Laserové skenery stejně jako všechny ostatní geodetické přístroje jsou ovlivněny řadou chyb. Mezi vnitřní vlivy patří chyba měření délky dálkoměrem, chyba měření vodorovných a zenitových úhlů a osová chyba. Mezi vnější vlivy patří tvar a povrch měřeného objektu a atmosférické podmínky. [6]

#### **3.1.1 Dělení laserových skenerů**

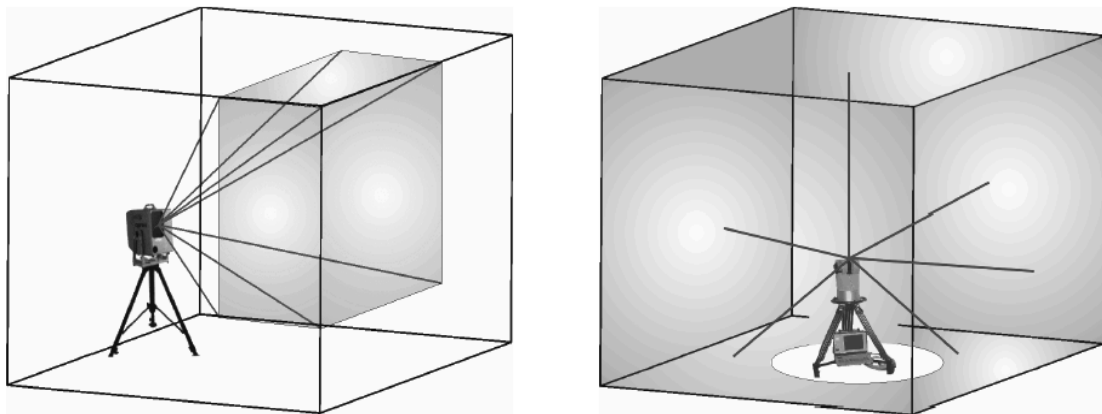
Laserové skenery se dělí na statické, kdy se poloha skeneru nemění během měření a kinematické, kdy se poloha skeneru kontinuálně mění a je nutno určovat pro každý bod výchozí polohu. Dalším typem rozdělení je na terestrické a letecké.

Kinematické skenery patří do obou kategorií, kdy je skener umístěn na pohybujícím se nosiči (autu, vrtulníku, dronu, letadle, ...). Statické skenery mohou být pouze terestrické. [6]

Dále je uvedeno schematické dělení terestrických skenerů.

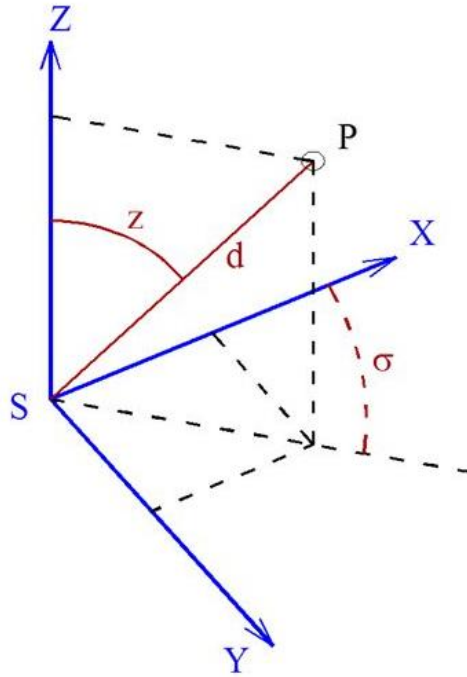
- Dělení podle zorného pole
  - Kamerové skenery
  - Panoramatické skenery
- Dělení podle měřicího principu
  - Tranzitní čas
  - Fázový rozdíl

Kamerový systém dovoluje rozmítnout laserový svazek do relativně malého zorného pole. Panoramatické skenery umožňují zachytit téměř celé okolí (Obr. 5). Dálkoměry, které pracují na impulsním principu, měří dobu mezi vysláním a přijetím paprsku. Dálkoměry, které pracují na principu fázového rozdílu, určují délku na základě fázového rozdílu vyslané a přijaté dálkoměrné vlny.



**Obr. 5: Dělení skenerů podle zorného pole (kamerový, panoramatický) [6]**

Většina terestrických skenerů používaných v geodézii, stavebnictví, architektuře či podobných oborech určuje souřadnice bodu pomocí prostorové polární metody. Kdy je třeba k určení souřadnic bodu P znát měřenou délku  $d$ , vodorovný úhel  $\sigma$  a vertikální úhel  $z$  (Obr. 6).



*Obr. 6: Prostorová polární metoda*

### 3.2 Postup při skenování v podzemí

Při měření v podzemí se využívají plně panoramatické laserové skenery, aby byl zachycen maximální možný prostor. Pro dokumentaci větších prostor je nutno měřit z vícera stanovisek. Jednotlivá stanoviště se mezi sebou mohou propojovat pomocí identických bodů (různé typy terčů, nejčastěji kulové nebo šachovnicové) nebo pomocí překrytových území. Při plánování skenování je nutno dbát na to, aby byl zachycen celý profil a všechna zákoutí.

Skenování v podzemí se využívá během ražby, kdy jsou měřeny profily pro vypracování dokumentace, výpočet kubatur, určení nadvýrubů či podvýrubů a optimalizaci návrhů ostění tunelů. Srovnáním dvou sad měření po výrubu a po vystrojení se dokumentuje tloušťka ostění [7]. U existujících tunelů a podzemních prostor se skenování využívá pro vytvoření dokumentace skutečného stavu nebo pro prezentaci.



## 4 Měření ve Štola č. 1

V dubnu 2017 bylo ve štola zbudováno důlní bodové pole, které je tvořeno 6 body [4]. Dále byla provedena první část skenování hlavní chodby a části odbočné chodby pod vedením Ing. Jiřikovského, Ph.D. (Obr. 7, Obr. 8, Obr. 9). V říjnu 2017 byla skenována odbočná chodba za závalem za účasti autorky práce. Při skenování byla dobudována část bodového pole, kdy byly stabilizovány a zaměřeny dva body v části za závalem. Při měření byl využit skenovací přístroj FARO Focus3D X130 (výr. č.: LLS071507157) a totální stanice Trimble S8 HP (výr. č.: 98111877) pro určení bodů bodového pole. Pro propojení skenů byly zvoleny kulové terče.



*Obr. 7: Štola č. 1 – hlavní chodba*



*Obr. 8: Štola č. 1 – křižovatka hlavní a odbočné chodby*



*Obr. 9: Štola č. 1 – čelba hlavní chodby [8]*

## 4.1 Laserový skener FARO Focus3D X130

Pro měření ve štole byl vybrán laserový skener FARO Focus3D X130 (Obr. 10), který zapůjčila firma Geotronics Praha s. r. o. Jedná se o fázový skener, který je vybaven dvouosým kompenzátorem, dotykovým displejem a integrovaným GNSS přijímačem (Tab. 1).

**Tab. 1: Základní technické specifikace FARO Focus3D X130 [9]**

Dosah:	0,6 – 130 m
Rychlost měření:	976 000 bodů / vteřina
Přesnost měření:	± 2 mm
Rozměry:	240 x 200 x 100 mm
Hmotnost:	5,2 kg
Integrovaná barevná kamera:	70 Mpx
Bezpečnostní třída laseru:	1
Zabudované senzory:	GNSS, kompas, výškoměr, snímač náklonu



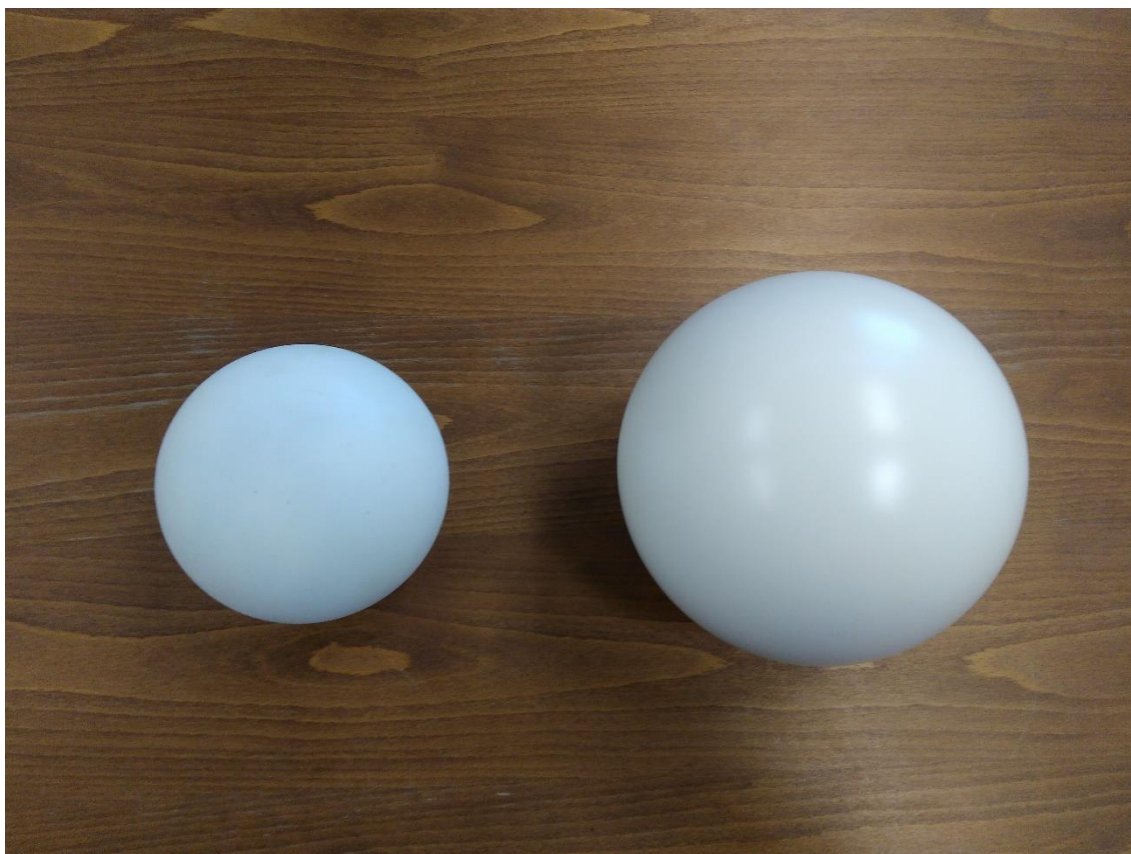
**Obr. 10: FARO Focus3D X130 [9]**

## 4.2 Rekognoskace terénu

Před samotným skenováním byla v září 2017 provedena rekognoskace prostoru za závalem. Terén za závalem je zatím neupravený a nevyčištěný a ve stropě se objevují průchody do stařin. Bylo navrženo umístění bodů bodového pole tak, aby bylo možno provést měření pomocí trojpodstavcové soupravy a navázat na již vybudované pole v hlavní chodbě. Dále bylo navrženo rozmístění stanovisek pro laserový skener.

## 4.3 Skenování

Hlavní chodba byla naskenována v dubnu 2017 Ing. Jiříkovským Ph.D. Celkem byla naměřena data ze 32 stanovisek. Pro zaměření velmi členitých úseků a křížovatek byla zvolena hustota skenování 7 mm na 10 m. Pro ostatní stanoviiska v hlavní chodbě byla hustota skenování zvolena 11 mm na 10 m. Stanoviiska byla volena tak, aby bylo okolí co nejvíce zachyceno a byla dobrá viditelnost mezi dvěma sousedními stanovisky. Při měření byl využit jeden typ kulových terčů a to o průměru 145 mm (Obr. 11). Pro měření byla využita metoda polygonového pořadu s využitím trojpodstavcové soupravy, kdy byl na stativ nebo malou těžkou piliřovou trojnožku umístěn laserový skener a kulové terče. Z důvodu přesnějšího spojení dvou skenů dohromady a kvůli kontrole měřených dat byly na počvu nebo pomocí magnetu na lutnu, kovová vrata a důlní vozíky umístěny vždy minimálně dva kulové terče. Bylo nutno, aby během měření nedošlo ke změně polohy těchto terčů. Koncový bod důlního bodového pole byl během skenování osazen šachovnicovým terčikem. Stanoviiska v prostoru křížovatky, rozrážek a důlních vozíků byla měřena sedm minut s ohledem na zvolenou větší hustotu skenování. Ostatní stanoviiska v hlavní chodbě byla měřena pět minut, protože nebylo nutno měřit s takovou podrobností.



***Obr. 11: Kulové terče o velikosti 145 mm a 198,8 mm***

Prostor za závalem byl naskenován dne 1. října 2017 společně s vedoucím diplomové práce Ing. Křemenem, Ph.D. a Ing. Braunem, Ph.D. s Ing. Jiříkovským, Ph.D., kteří prováděli měření bodového pole. Celkem bylo naměřeno devět stanovisek. Pro zaměření stařin a závalu byla zvolena hustota skenování 7 mm na 10 m a pro ostatní stanoviska byla zvolena hustota skenování 11 mm na 10 m. Stanoviska byla volena tak, aby nevznikala hluchá místa a prostory stařin byly co nejlépe zachyceny. Dále byla uvažována dobrá viditelnost mezi dvěma sousedními stanovisky. Při měření byly využity dva typy kulových terčů. První typ kulového terče má průměr 198,8 mm a druhý typ má průměr 145 mm (Obr. 11). Pro měření byla využita metoda polygonového pořadu s využitím trojpodstavcové soupravy, kdy byl na stativ umístěn laserový skener a kulové terče o průměru 198,8 mm. Kvůli přesnějšímu spojení dvou skenů dohromady a kontrole měřených dat byly na počvu umístěny vždy minimálně dva kulové terče o průměru 145 mm (Obr. 12, Obr. 13). Bylo nutno, aby během měření nedošlo ke změně polohy těchto terčů. Koncový bod důlního bodového pole byl před skenováním osazen terčičkem. Stanoviska v prostoru stařin a závalu byla měřena sedm minut s ohledem na zvolenou větší hustotu skenování.

Stanoviska v chodbě byla měřena pět minut, protože nebylo nutno měřit s takovou podrobností.



*Obr. 12: Rozmístění identických bodů ve Štole č. 1*



*Obr. 13: Příprava skeneru na měření ve Štole č. 1*

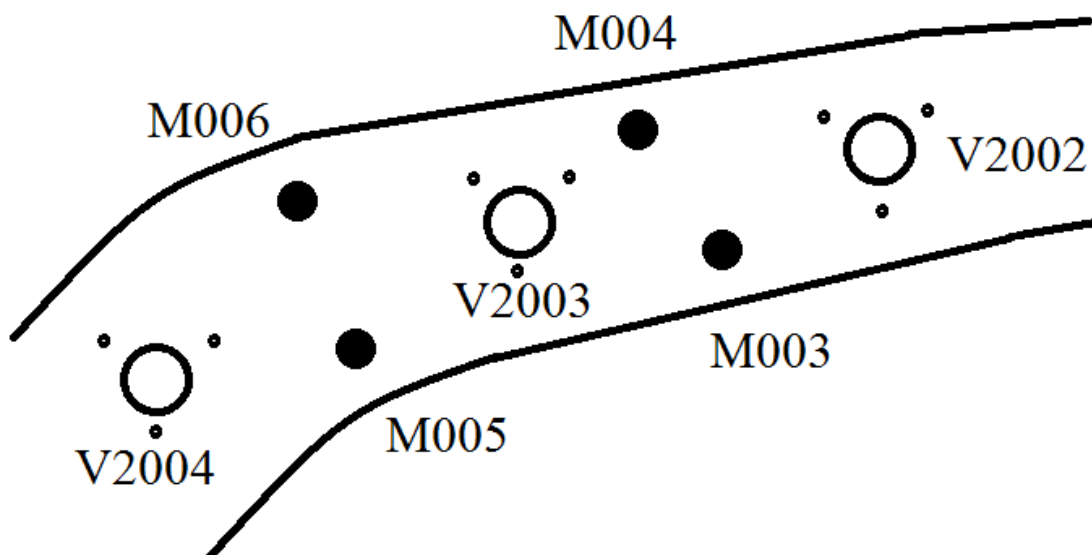
V průběhu měření byl vyhotovován náčrt se zákresem stanovišek a identických bodů. Číslování stanovišek a identických bodů bylo odlišeno podle následujícího systému (Obr. 14). Originály jsou v příloze 1.

Systém pro číslování stanovišek:

**Z Z 0 X X**    ZZ – označuje dobu skenování, T1 – duben 2017, V2 – říjen 2017  
                  XX – označuje vlastní číslo stanoviška

Systém pro číslování identických bodů:

**Z 0 X X**        Z – označuje dobu skenování, T – duben 2017, M – říjen 2017  
                  XX – označuje vlastní číslo identického bodu



*Obr. 14: Ukázka schématu číslování stanovišek a identických bodů*

## 5 Zpracování naměřených dat

Postup zpracování od naskenovaného mračna po výsledný 3D model se skládá z několika na sebe navazujících kroků, které bohužel nelze řešit v jednom zpracovatelském softwaru. Ke zpracování byl využit program Trimble RealWorks, ve kterém byla převedena data ze skeneru do formátu pro program Cyclone. V programu Cyclone byla zpracována jednotlivá mračna, která byla propojena pomocí identických bodů a transformována do systému S-JTSK a Bpv. Mračno bylo dále upravováno a čištěno tak, aby bylo možno v programu CloudCompare provést zředění bodů. Tímto postupem se získal menší objem dat, se kterým se pracuje. Výsledný model byl zpracován v programu Geomagic Studio a mapa v programu Microstation. V následujících kapitolách jsou popsány detailní nastavení a postupy zpracování.

### 5.1 Vytvoření mračna v Trimble RealWorks

Laserový skener FARO ukládá data ve formátu *\*.fls*. Tento formát není podporován hlavním zpracovatelským softwarem Cyclone, a proto musel být převeden do formátu *\*.asc*. K převodu byl využit program Trimble RealWorks v.10.4.

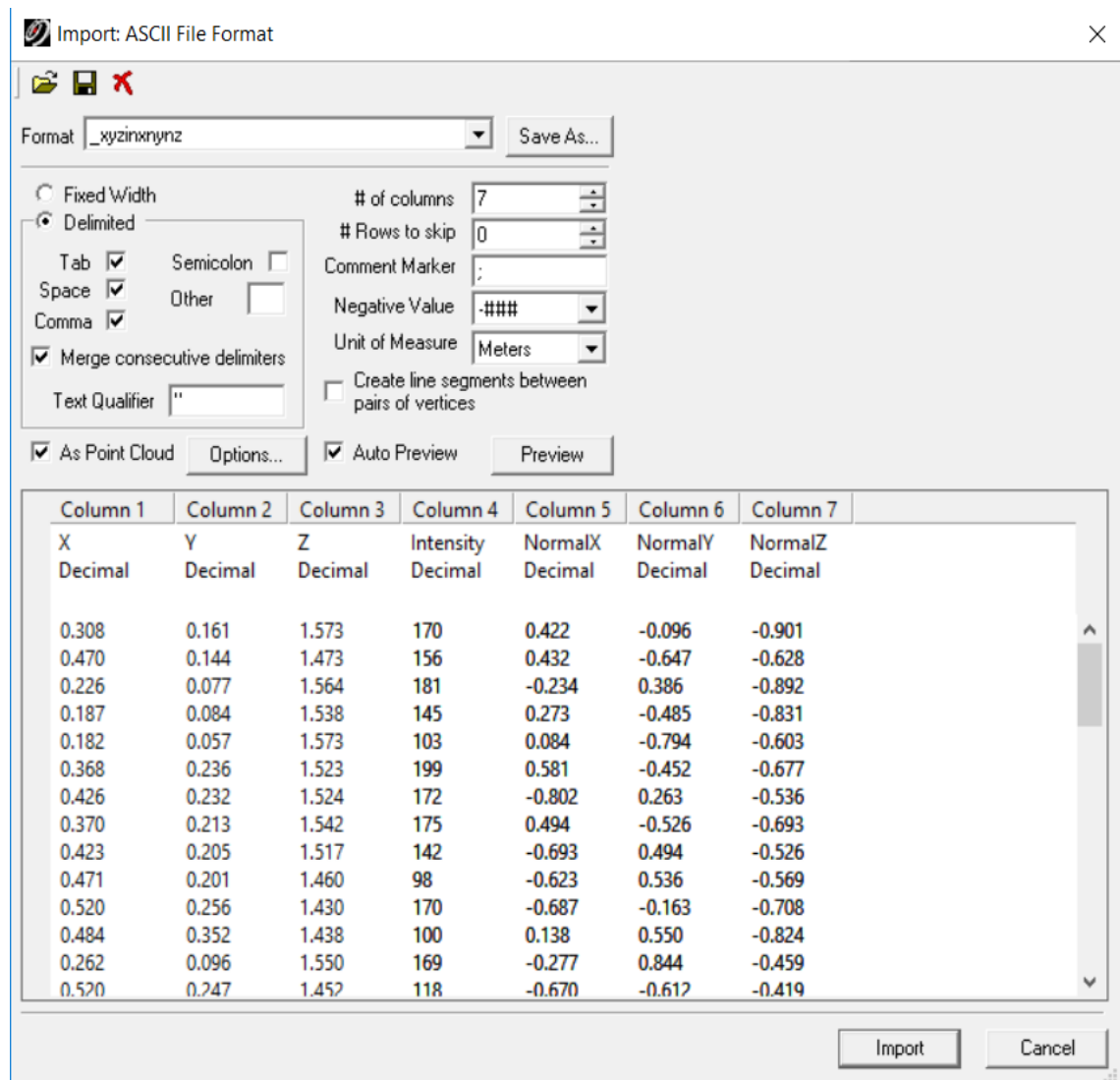
V programu byl vytvořen projekt, do kterého bylo načteno všech 41 skenů. Protože různá stanoviska byla skenována s různou hustotou, bylo nutno nastavit hodnotu hustoty bodů, na kterou byla všechna data převedena. K tomu byla využita funkce *Sampled Scan Creation* a byla zvolena hodnota 5 mm. Protože data ze skeneru FARO jsou obecně orientována podle vnitřního nastavení skeneru, bylo pro další jednodušší zpracování nutné převést všechna data do zvoleného systému. Poloha skeneru v každém skenu byla nastavena na počátek souřadnicové soustavy  $X = 0$ ,  $Y = 0$ ,  $Z = 0$ . Upravená data byla funkcí *Export as ASCII file* převedena do formátu *\*.asc*. V tomto formátu je uloženo sedm údajů o každém bodu, souřadnice XYZ, intenzita (hodnota 0 – 255) a hodnoty normálového vektoru ( $nX$ ,  $nY$ ,  $nZ$ ). Pro každý sken byl vytvořen samostatný soubor. Z důvodu dalšího zpracování byla přípona *\*.asc* změněna na *\*.txt*, kterou otevírá program Cyclone a byla provedena redukce souřadnic tak, aby vstupovaly pouze jednotky kilometrů (redukce desítek a stovek kilometrů souřadnic S-JTSK). Například bod o souřadnicích  $Y = 845006$  m a  $X = 995986$  m má redukované souřadnice  $y = 5006$  m a  $x = 5986$  m.



## 5. 2 Import dat a definice identických bodů

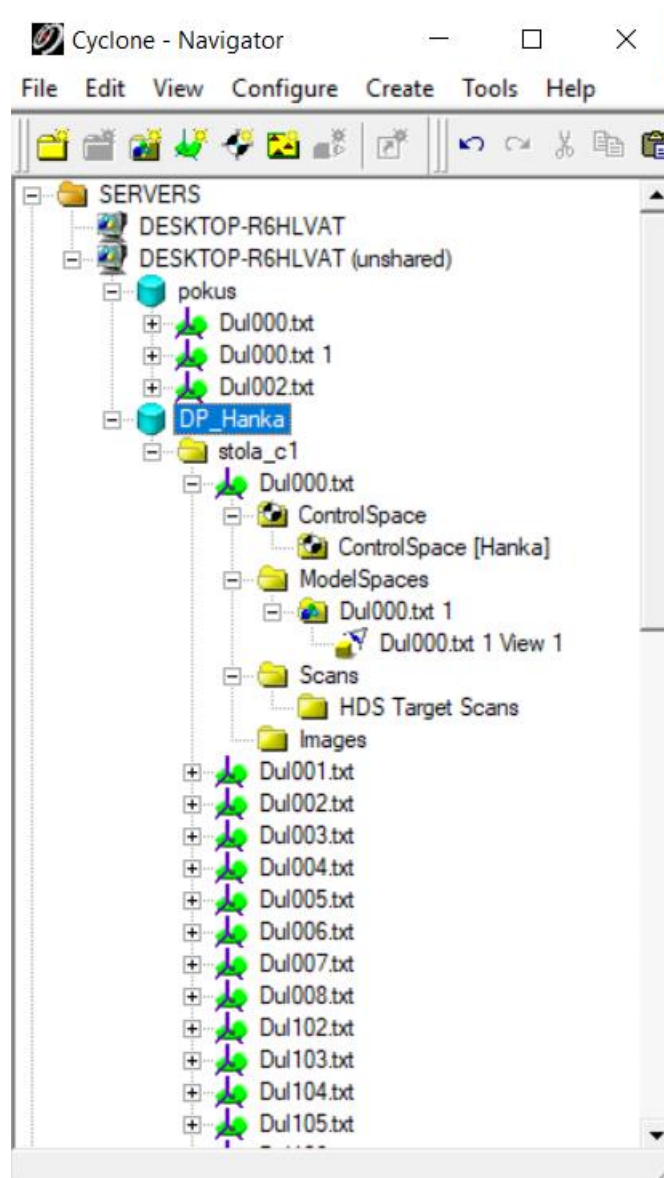
Každý sken byl zpracován samostatně a stejným postupem v programu Cyclone. Doporučený postup práce v programu Cyclone byl uveden v [10].

Program Cyclone pracuje s daty v rámci databází, kdy jsou jednotlivá mračna importována do tzv. *ScanWorldů*. Import dat do *ScanWorld* byl proveden podle masky, ve které byl nastaven formát dat. Jedná se o nastavení počtu sloupců s označením, který sloupec co obsahuje a použité jednotky. Dále lze nastavit různá nastavení (Obr. 15). Tato maska byla pojmenována „\_xyzinxynz.afv“ a byla použita pro import všech mračen.



Obr. 15: Import dat v programu Cyclone

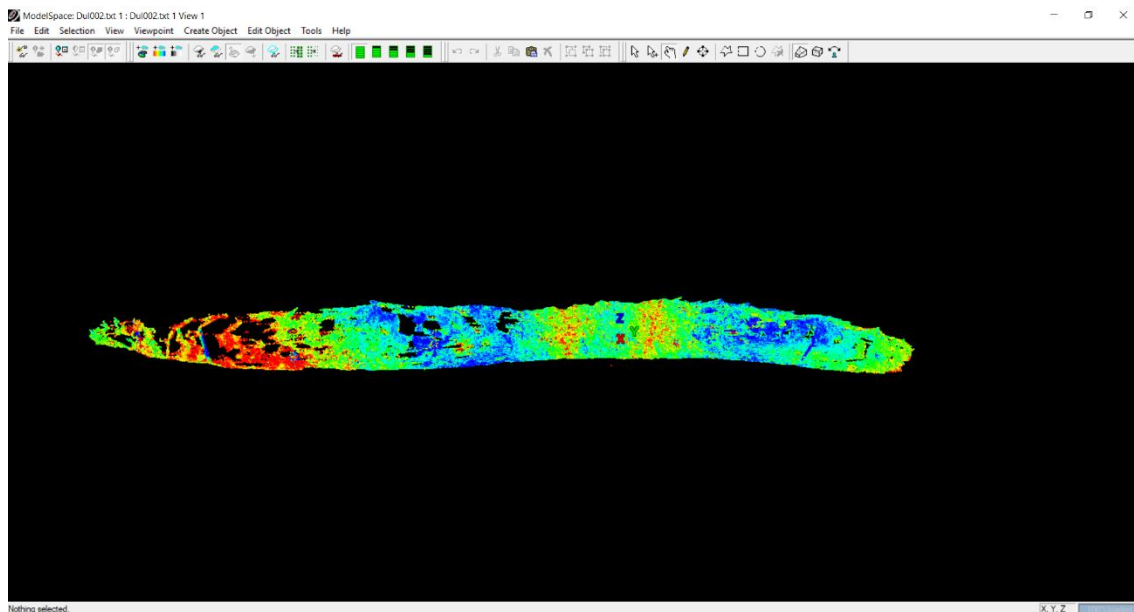
Každé stanoviště má vlastní *ScanWorld*, ve kterém je uveden *ControlSpace*, *ModelSpace*, *Scans* a *Images*. *ControlSpace* obsahuje upravené mračno pro registraci s vymodelovanými identickými body. *ModelSpace* slouží k úpravě mračen a modelování identických bodů. V *Scans* jsou uvedeny údaje o naskenovaných mračcích z jednoho stanoviště a *Images* obsahuje fotografie pořízené skenerem při skenování (Obr. 16).



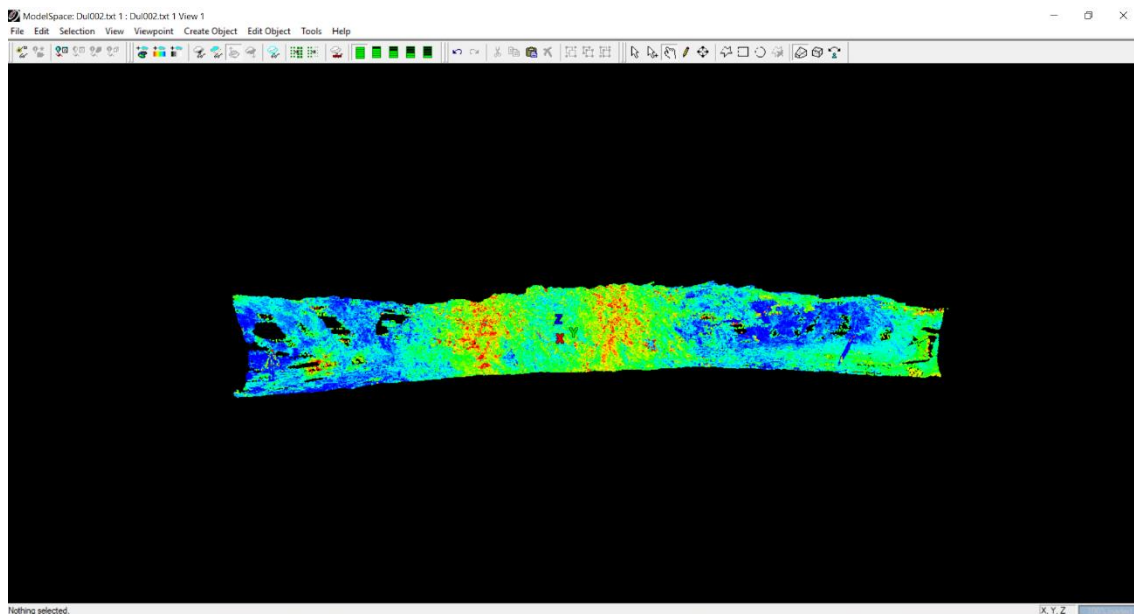
Obr. 16: Struktura ScanWorldu

Protože je laserové skenování neselektivní metoda měření, obsahují mračna i body, které jsou příliš vzdálené od měřené části nebo neúplně zaměřené části. Nadbytečné body byly z mračna odstraňovány pomocí funkce výběru *Polygonal Fence*

*Mode* a rozkliknutím nabídky pod pravým tlačítkem myši a zvolením funkce *Fence – Delete Inside* (Obr. 17, Obr. 18).



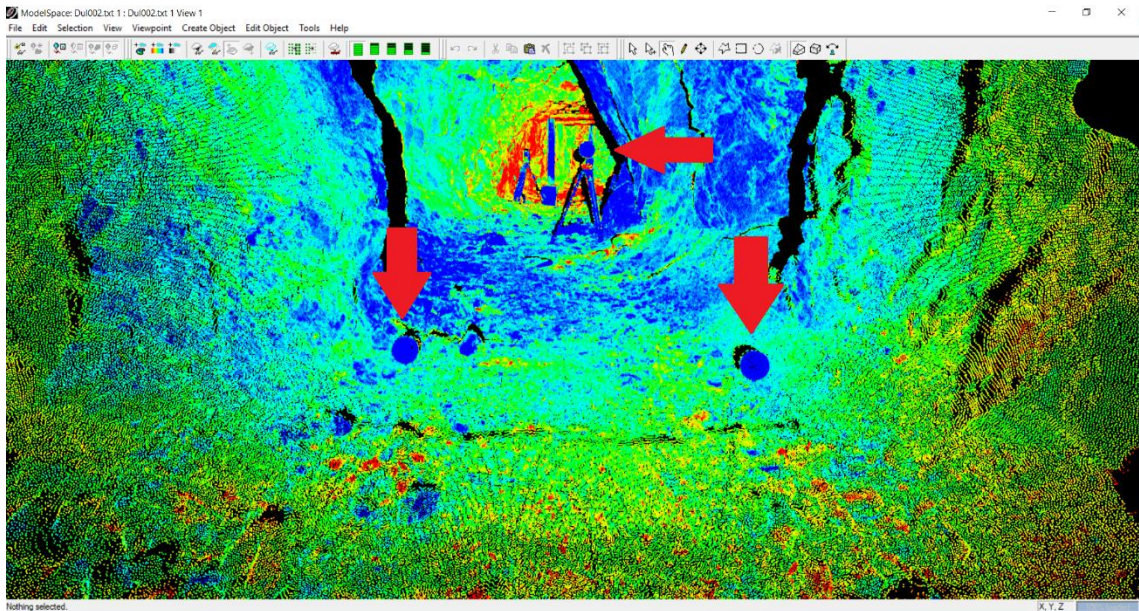
*Obr. 17: Sken před očištěním*



*Obr. 18: Sken po očištění*

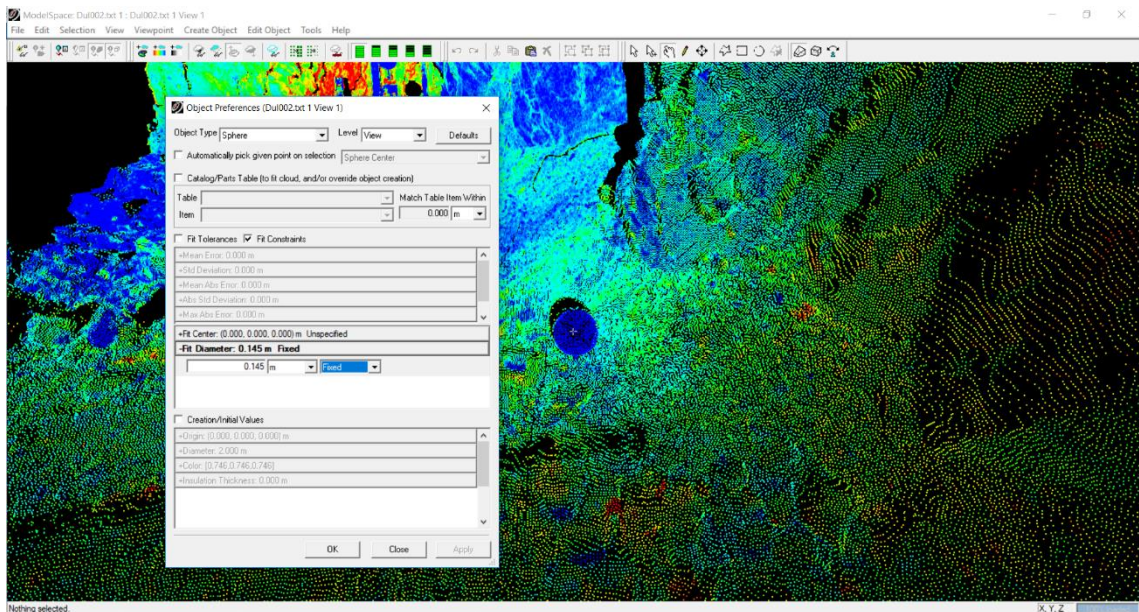
## 5.2.1 Modelování identických bodů

Pro spojení jednotlivých mračen do jednoho mračna jsou zapotřebí identické body, které byly naskenovány z minimálně dvou stanovisek (Obr. 19).



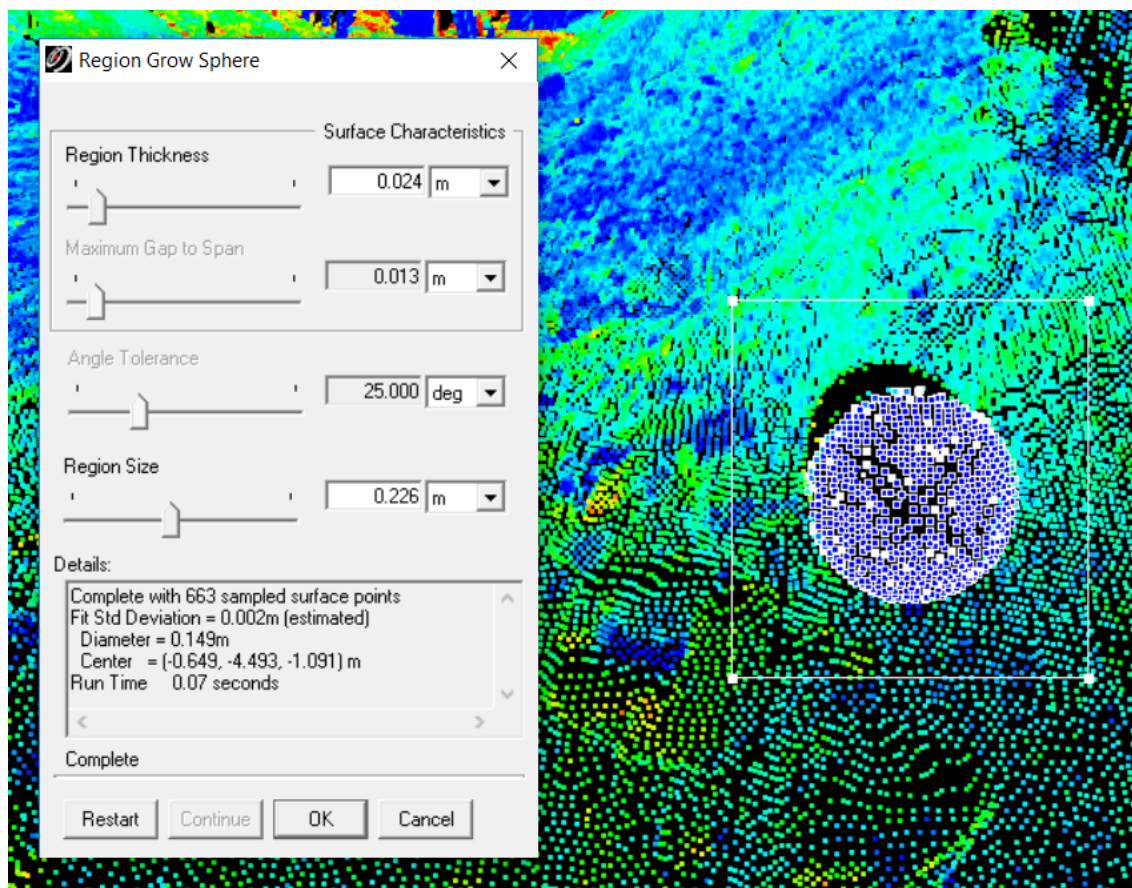
Obr. 19: Kulové terče v mračnu

Pro modelování kulových terčů bylo nejprve nutno nastavit průměry těchto terčů. Nastavení průměru se provádí v záložce *Edit – Object Preferences*, zvolení *Object Type: Sphere* a nastavení hodnoty průměru (Obr. 20).



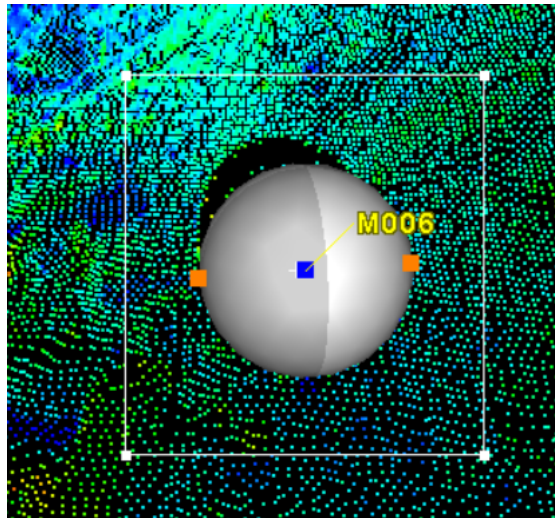
Obr. 20: Nastavení hodnoty průměru koule

Po nastavení průměru lze přejít k samotnému modelování. Nejprve bylo nutno označit body ležící na kouli pomocí funkce *Rectangle Fence Mode* a funkcí *Pick Mode*. Dále bylo v záložce *Create Object* využito funkce *Region Grow – Sphere*. Při tvorbě kulového terče je možno pomocí ukazatele *Region Size* měnit maximální vzdálenost bodů ležících na kouli od zvoleného bodu. Změna této hodnoty se projevuje na přidávání či mazání bodů, kterými bude proložena koule o zadaném průměru. Díky této funkci lze z modelace vyloučit odlehlejší body (Obr. 21).



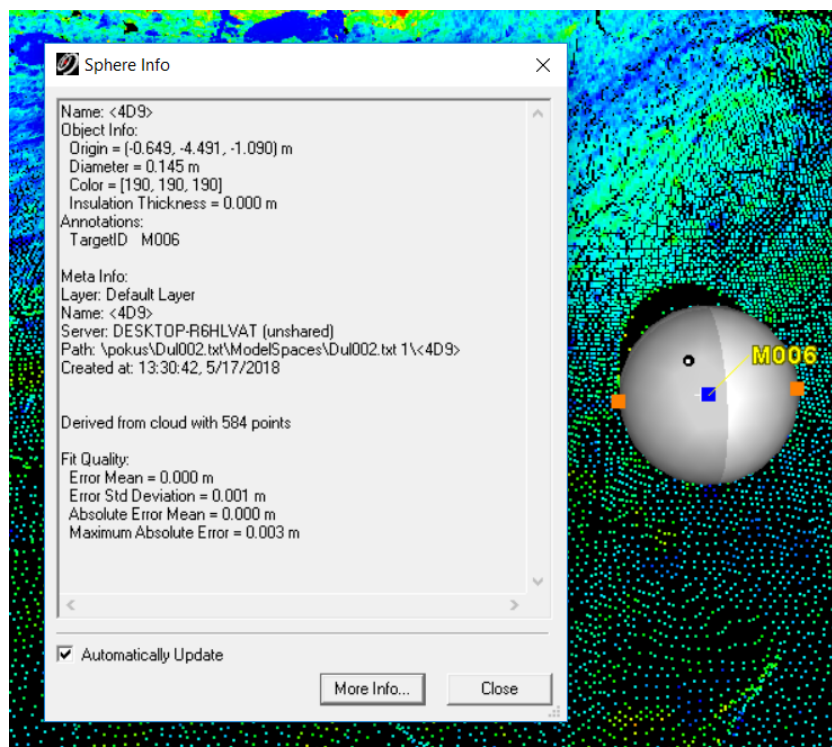
**Obr. 21: Nastavení parametrů a vybrané body pro vytvoření koule**

Vymodelovanému identickému bodu bylo přiřazeno číslo pomocí funkce *Add/Edit Registration Label*, která se nachází v záložce *Tools – Registration* (Obr. 22). Číslování identických bodů je popsáno v kapitole 4.3.



**Obr. 22: Vymodelovaný identický bod**

Z důvodu různé velikostí kulových terčů bylo nutno pečlivě kontrolovat správné nastavení průměru koulí. Nastavení lze zkontrolovat tak, že se pomocí funkce *Pick Mode* vybere identický bod a rozkliknutím nabídky pod pravým tlačítkem myši se vybere *Object Info*. V tabulce se lze dočíst počet bodů, které kulový terč tvoří, souřadnice středu terče, průměr terče, nejvíce odlehlý bod, směrodatnou odchylku proložení (Obr. 23). Maximální odlehlost bodů je průměrně 5 mm od plochy proležené koule. Směrodatná odchylka proložení je nejčastěji 1 mm.



**Obr. 23: Parametry vytvořeného identického bodu**

Ve všech mračnecích byly vymodelovány kulové terče. Dále bylo nutno bodům polygonového pořadu vytvořit tzv. *Vertexy* (označení identických bodů) a to z důvodu získání vzájemných vazeb (*Create Object – Insert – Vertex*). *Vertex* musel být vložen do každého mračna tak, aby ležel v místě polohy skeneru během měření. Do tohoto místa byl vložen bod polohy skeneru o souřadnicích [0,0,0]. V datech z první části měření byla souřadnice Z opravována o hodnotu 27 mm z důvodu rozdílné výšky mezi středem kulového terče a středem laserového skeneru. Tento rozdíl byl způsoben velikostí redukce mezi trojnožkou a kulovým terčem. Pro říjnové měření byla vysoustružena nová redukce, která byla jiné velikosti, aby se eliminovala nutnost zavádění opravy.

### 5.3 Registrace dat a jejich očištění

Pro získání výsledného mračna bodů v systému S-JTSK a Bpv byla registrace rozdělena do 3 kroků. Jako první byla provedena registrace naměřených dat z dubna do jednoho mračna bodů. Ve druhém kroku byla provedena registrace naměřených dat z října. V poslední části byly zaregistrovány obě mračna dohromady a umístěny do souřadnicového a výškového systému.

#### 5.3.1 Prostorová transformace

Každé mračno bodů je ve vlastní souřadnicové soustavě příslušného skenu. K získání jednoho celistvého mračna je zapotřebí provést registraci skenu. Registrace využívá metody prostorové transformace pomocí identických bodů [11].

Lineární transformace v n-rozměrném prostoru je obecně dána rovnicí.

$$\mathbf{X} = \mathbf{M} * \mathbf{R} * \mathbf{x} + \mathbf{T},$$

kde  $\mathbf{x}, \mathbf{X}$  ... vektory souřadnic v jedné a druhé soustavě,

$\mathbf{M}$  ... matice měřítkových koeficientů,

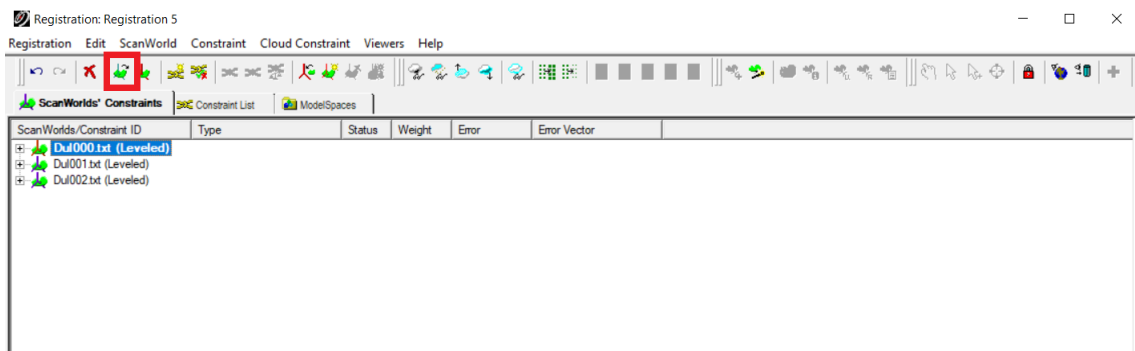
$\mathbf{R}$  ... matice zobrazení,

$\mathbf{T}$  ... vektor translací.

## 5.3.2 Popis postupu registrace

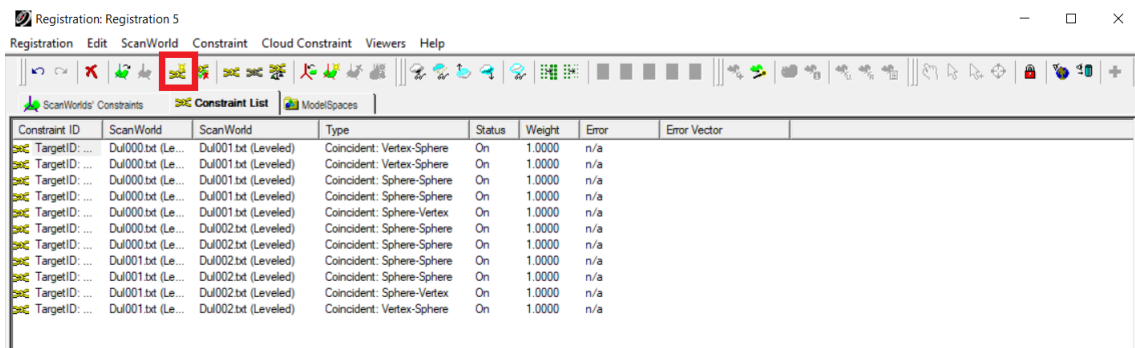
Pro vytvoření registrace musí být v programu Cyclone založena nová registrace pomocí *Create – Registration*. Registrace musí být vytvořena ve stejné databázi, jako jsou *ScanWorldy*, jinak by nemohlo dojít ke spojení do jednoho mračna. Po otevření založené registrace se postup skládá z těchto kroků:

- *Add ScanWorld* – funkce pro přidání skenů, které mají být do registrace zahrnuty. Pojem *Leveled* znamená, že během měření měl skener zapnutý kompenzátor (Obr. 24).



Obr. 24: Ukázka přidání skenů do registrace a nastavení tzv. domácího skenu

- *Set Home ScanWorld* – funkce, která nastaví tzv. domácí sken, který bude během registrace zvolen jako výchozí a do jehož souřadnicového systému budou ostatní skeny transformovány (Obr. 24).
- *Auto-Add Constraints* – slouží pro automatické vytvoření vazeb mezi identickými body (Obr. 25).



Obr. 25: Ukázka vytvořené vazby mezi identickými body



- *Register* – funkce, která vypočítá registraci. V záložce Constraint List se zobrazí celkové chyby a jejich vektory na jednotlivých vazbách (Obr. 26).

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector
TargetID: ...	Du000.txt (Le...	Du001.txt (Leveled)	Coincident: Vertex-Sphere	On	1.0000	0.002 m	(0.001, 0.000, -0.001)m
TargetID: ...	Du000.txt (Le...	Du001.txt (Leveled)	Coincident: Vertex-Sphere	On	1.0000	0.002 m	(-0.001, 0.001, 0.001)m
TargetID: ...	Du000.txt (Le...	Du001.txt (Leveled)	Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.001 m	(-0.001, -0.001, 0.000)m
TargetID: ...	Du000.txt (Le...	Du001.txt (Leveled)	Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001)m
TargetID: ...	Du000.txt (Le...	Du001.txt (Leveled)	Coincident: Sphere-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.001, 0.000, 0.000)m
TargetID: ...	Du000.txt (Le...	Du002.txt (Leveled)	Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.002 m	(-0.001, -0.001, 0.001)m
TargetID: ...	Du000.txt (Le...	Du002.txt (Leveled)	Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.003 m	(0.001, 0.001, -0.002)m
TargetID: ...	Du001.txt (Le...	Du002.txt (Leveled)	Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.001 m	(0.000, -0.001, 0.000)m
TargetID: ...	Du001.txt (Le...	Du002.txt (Leveled)	Coincident: Sphere-Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.000, 0.001, 0.003)m
TargetID: ...	Du001.txt (Le...	Du002.txt (Leveled)	Coincident: Vertex-Sphere	On	1.0000	0.002 m	(0.000, 0.001, -0.002)m
TargetID: ...	Du001.txt (Le...	Du002.txt (Leveled)	Coincident: Sphere-Sphere	On	1.0000	0.002 m	(-0.001, -0.001, -0.001)m

Obr. 26: Ukázka výsledků registrace

- *Registration – Show Diagnostics* – zobrazí protokol o registraci, kde jsou také uvedeny chyby na identických bodech a dále je pro každé mračno uveden transformační klíč s vektorem posunu a rotace (Obr. 27).

```

Status: VALID Registration
Mean Absolute Error:
  for Enabled Constraints = 0.002 m
  for Disabled Constraints = 0.000 m
Date: 2018.05.17 21:56:28
Database name : DP_Hanka

ScanWorlds
Du1000.txt (Leveled)
Du1001.txt (Leveled)
Du1002.txt (Leveled)

Constraints
Name      ScanWorld      ScanWorld      Type      On/Off  Weight  Error  Error Vector      Horz  Vert
TargetID: V2001 Du1000.txt (Leveled) Du1001.txt (Leveled) Coincident: Vertex-Sphere On      1.0000  0.002 m ( 0.001, 0.000, -0.001) m  0.001 m -0.001 m
TargetID: M002  Du1000.txt (Leveled) Du1001.txt (Leveled) Coincident: Vertex-Sphere On      1.0000  0.002 m (-0.001, 0.001, 0.001) m  0.001 m 0.001 m
TargetID: M001  Du1000.txt (Leveled) Du1001.txt (Leveled) Coincident: Sphere-Sphere On      1.0000  0.001 m (-0.001, -0.001, 0.000) m  0.001 m 0.000 m
TargetID: M004  Du1000.txt (Leveled) Du1001.txt (Leveled) Coincident: Sphere-Sphere On      1.0000  0.001 m ( 0.000, 0.000, 0.001) m  0.000 m 0.001 m
TargetID: V2002 Du1000.txt (Leveled) Du1001.txt (Leveled) Coincident: Sphere-Vertex On      1.0000  0.001 m ( 0.001, 0.000, 0.000) m  0.001 m 0.000 m
TargetID: M004  Du1000.txt (Leveled) Du1002.txt (Leveled) Coincident: Sphere-Sphere On      1.0000  0.002 m (-0.001, -0.001, 0.001) m  0.002 m 0.001 m
TargetID: V2002 Du1000.txt (Leveled) Du1002.txt (Leveled) Coincident: Sphere-Sphere On      1.0000  0.003 m ( 0.001, 0.001, -0.002) m  0.002 m -0.002 m
TargetID: M004  Du1001.txt (Leveled) Du1002.txt (Leveled) Coincident: Vertex-Sphere On      1.0000  0.002 m ( 0.000, 0.001, -0.002) m  0.001 m -0.002 m
TargetID: M004  Du1001.txt (Leveled) Du1002.txt (Leveled) Coincident: Sphere-Sphere On      1.0000  0.002 m (-0.001, -0.001, -0.001) m  0.001 m -0.001 m
TargetID: M003  Du1001.txt (Leveled) Du1002.txt (Leveled) Coincident: Sphere-Sphere On      1.0000  0.001 m ( 0.000, -0.001, 0.000) m  0.001 m 0.000 m
TargetID: V2003 Du1001.txt (Leveled) Du1002.txt (Leveled) Coincident: Sphere-Vertex On      1.0000  0.003 m ( 0.000, 0.001, 0.003) m  0.001 m 0.003 m

ScanWorld Transformations
Du1000.txt (Leveled)
translation: (0.000, 0.000, 0.000) m
rotation: (0.0000, 1.0000, 0.0000):0.000 deg

Du1001.txt (Leveled)
translation: (7.654, 5.577, -0.911) m
rotation: (-0.0000, -0.0000, -1.0000):-151.152 deg

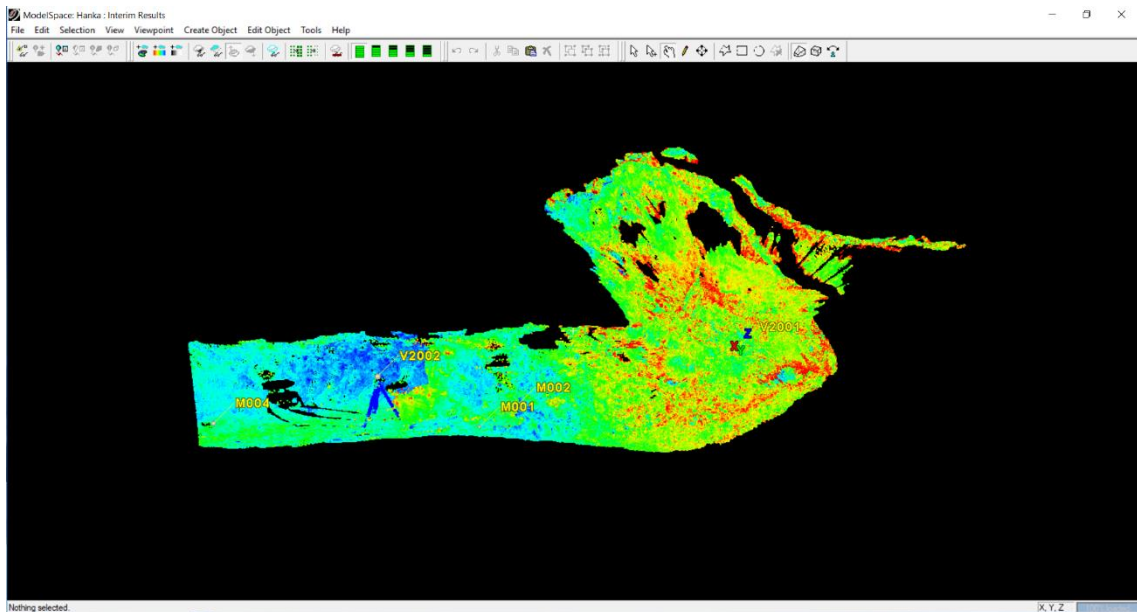
Du1002.txt (Leveled)
translation: (11.127, 16.459, -1.075) m
rotation: (-0.0000, -0.0000, -1.0000):-168.683 deg

Unused ControlSpace Objects
Du1000.txt (Leveled):
  Sphere : TargetID : M002
  Sphere : TargetID : M002

Du1002.txt (Leveled):
  Sphere : TargetID : M006
  Sphere : TargetID : M005
  Sphere : TargetID : V2004
  
```

Obr. 27: Ukázka protokolu o registraci

- *Registration – View Interim Results* – funkce, která vytvoří náhled registrovaných skenů, kde lze ověřit jejich správné spojení (Obr. 28).



*Obr. 28: Ukázka náhledu registrovaných skenů*

- *Create ScanWorld/Freeze Registration* – funkce, která tzv. zmrazí, neboli uzamkne registraci a vytvoří *ScanWorld* se všemi mračny bodů dohromady.
- *Create ModelSpace* – vytvoří *ModelSpace* pro další zpracování.

### 5.3.3 Postup registrace

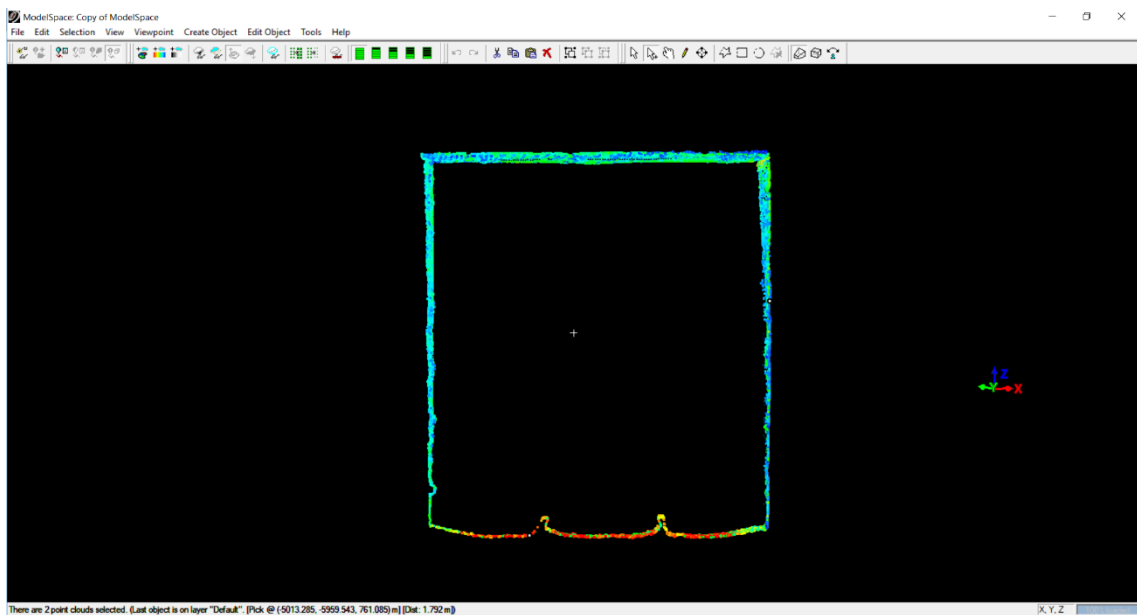
Při zpracování dat z dubna 2017 bylo spojeno 31 skenů, které zobrazují hlavní chodbu a odbočnou chodbu po zával. Skeny byly spojovány přes vymodelované identické body. Při registraci byla zjištěna změna polohy identického bodu T005 a T006. Body byly vyloučeny z vazeb. Průměrná absolutní odchylka dosáhla hodnoty 2 mm. Protokol o registraci je v elektronické příloze.

Registrace dat z října 2017 zahrnovala 9 skenů, které zobrazují prostor odbočné chodby za závalem. Skeny byly také spojovány přes vymodelované identické body. Průměrná absolutní odchylka je 2 mm. Protokol o registraci je v elektronické příloze.

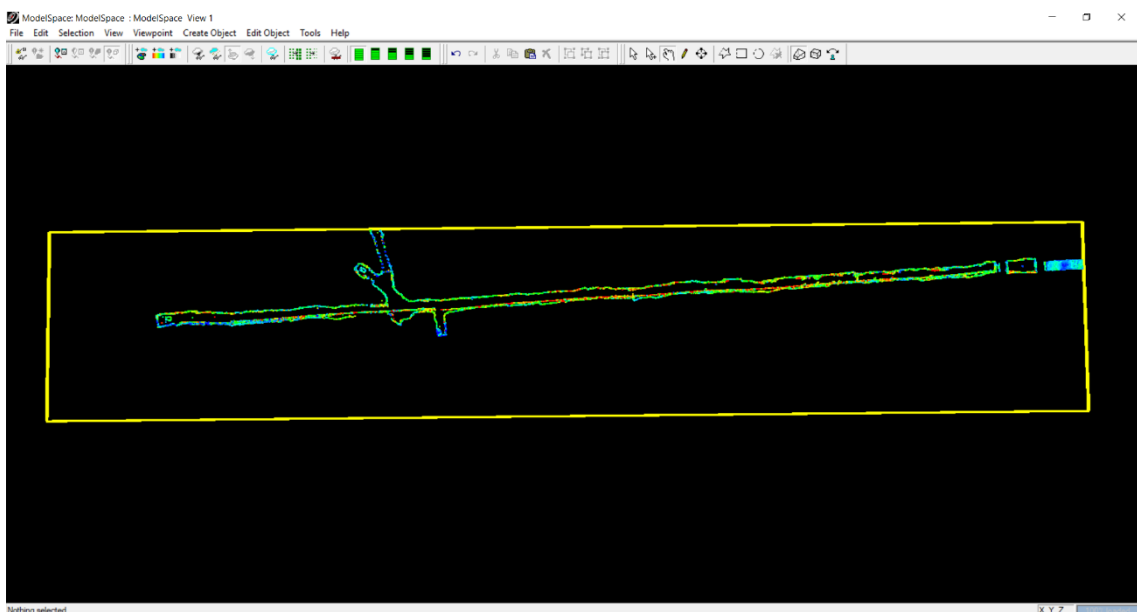
Posledním krokem registrace bylo vytvoření *ScanWorldu*, který obsahoval souřadnice vybraných stanovisek skeneru v systému S-JTSK a Bpv. Při vkládání bodů bylo nutno dodržet matematickou orientaci os programu Cyclone, tedy byly zaměněny souřadnice Y a X a bylo jim přiřazeno záporné znaménko. Výška bodů se neměnila. Tento *ScanWorld* byl nastaven jako domácí sken při registraci obou předpřipravených

mračen bodů. Pro registraci bylo využito 14 bodů (9 bodů pro hlavní chodbu a 5 bodů pro část za závalem). Průměrná absolutní odchylka nabyla hodnoty 7 mm. Protokol o registraci je v elektronické příloze.

Spojení všech mračen bodů dohromady bylo zkontrolováno na každém překrytovém území dvou skenů pomocí vertikálního řezu. Celé mračno bylo překontrolováno také pomocí horizontálního řezu. U žádného skenu se neobjevilo posunutí dat, které by nasvědčovalo hrubé chybě (Obr. 29, Obr. 30).



*Obr. 29: Kontrolní svislý řez*



*Obr. 30: Kontrolní částečný podélný řez*

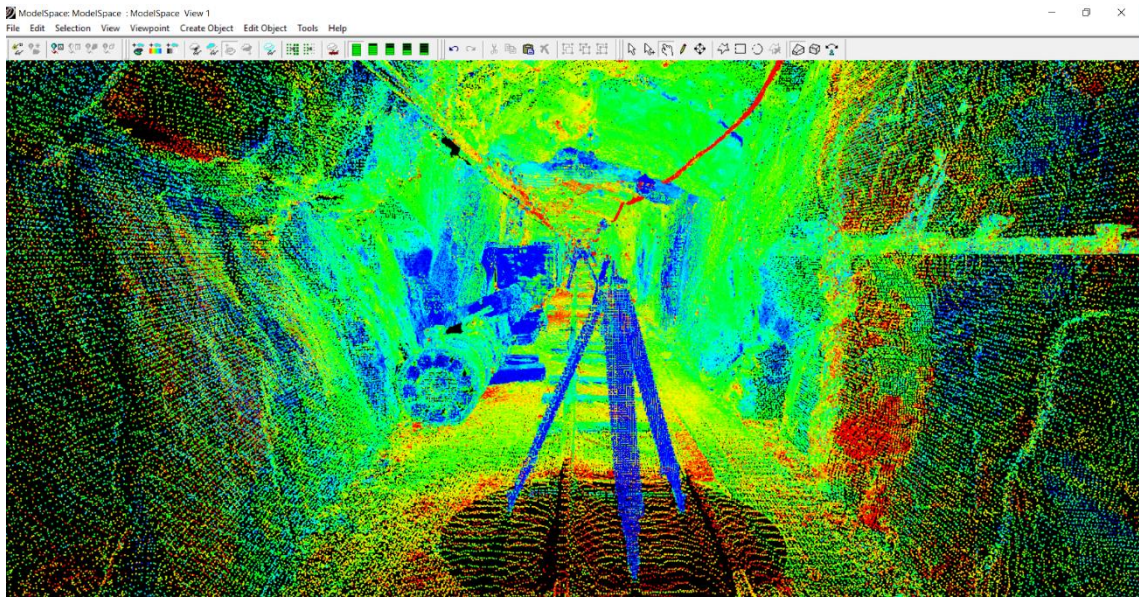
Kontrola spojení mračen byla také provedena porovnáním prostorových vzdáleností odměřených v mračnu a vypočtených ze souřadnic. K výpočtu délek ze souřadnic mohly být použity pouze body se známými souřadnicemi v S-JTSK a Bpv. Bylo vybráno pět dvojic bodů, které byly tvořeny vymodelovanými středy koulí na stativu a naskenovanými koncovými body bodového pole. Přehled porovnání je v tab. 2 a vyplývá z něj, že maximální rozdíl je 19 mm. Tato hodnota splňuje požadavky na přesnost výsledného modelu.

**Tab. 2: Porovnání prostorových délek mezi vybranými body**

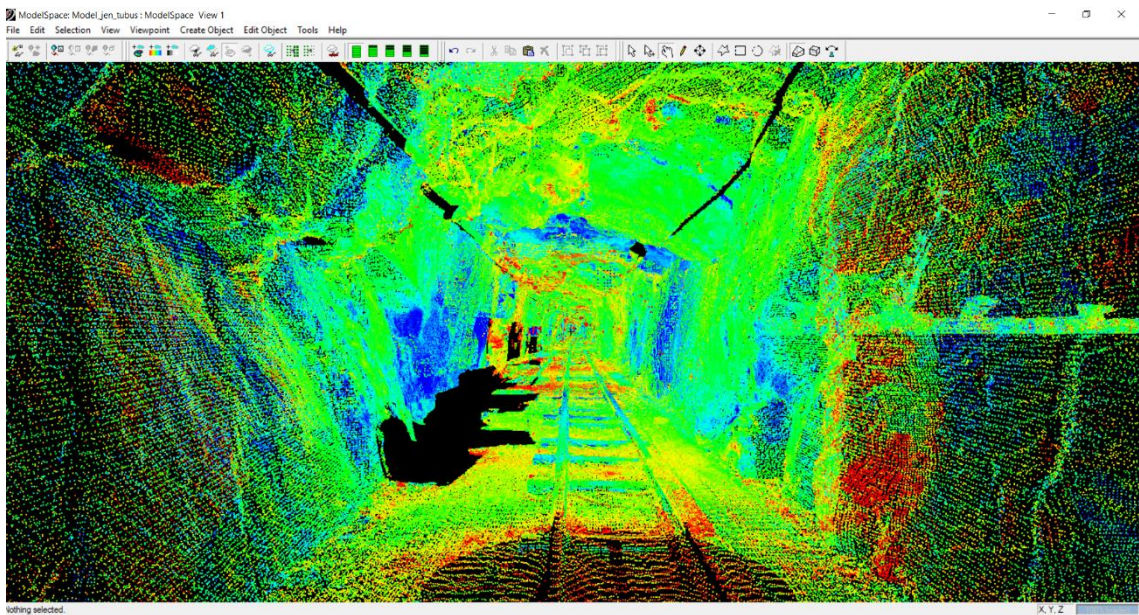
Délka mezi body	Délka se souřadnic	Délka z modelu	Rozdíl délek
7001- 7002	129,191 m	129,206 m	-15 mm
T1006 – T1014	42,678 m	42,674 m	4 mm
T1009 – V2007	59,958 m	59,957 m	1 mm
T1021 – V2003	137,239 m	137,258 m	-19 mm
V2003 – V2007	36,490 m	36,493 m	-3 mm

### 5.3.4 Očištění mračna bodů

Z důvodu vytvoření 3D modelu bylo nutno vytvořené mračno bodů očistit. Nejprve byly odstraněny všechny měřické pomůcky jako stativy, koule, krabice a případně obsluha laserového přístroje. Tím bylo získáno mračno bodů celé štoly i s vybavením, které lze využít pro prezentaci a vytvoření důlní mapy. Dále bylo mračno očištěno od vrat, důlních vozíků, elektroinstalace, lutny, vystavených exponátů a drobných předmětů, které nejsou součástí štoly. Tím byl získán čistý tubus, který slouží pro další modelování štoly. Objekty byly z mračna odstraňovány pomocí funkce výběru *Polygonal Fence Mode* a rozkliknutím nabídky pod pravým tlačítkem myši a zvolením funkce *Fence – Delete Inside* (Obr. 31, Obr. 32). Neочиštěné mračno obsahuje 132 456 469 bodů. Očištěné mračno obsahuje 125 533 313 bodů. Finální mračno bylo exportováno do formátu \*.pts.



*Obr. 31: Neočištěné mračno*

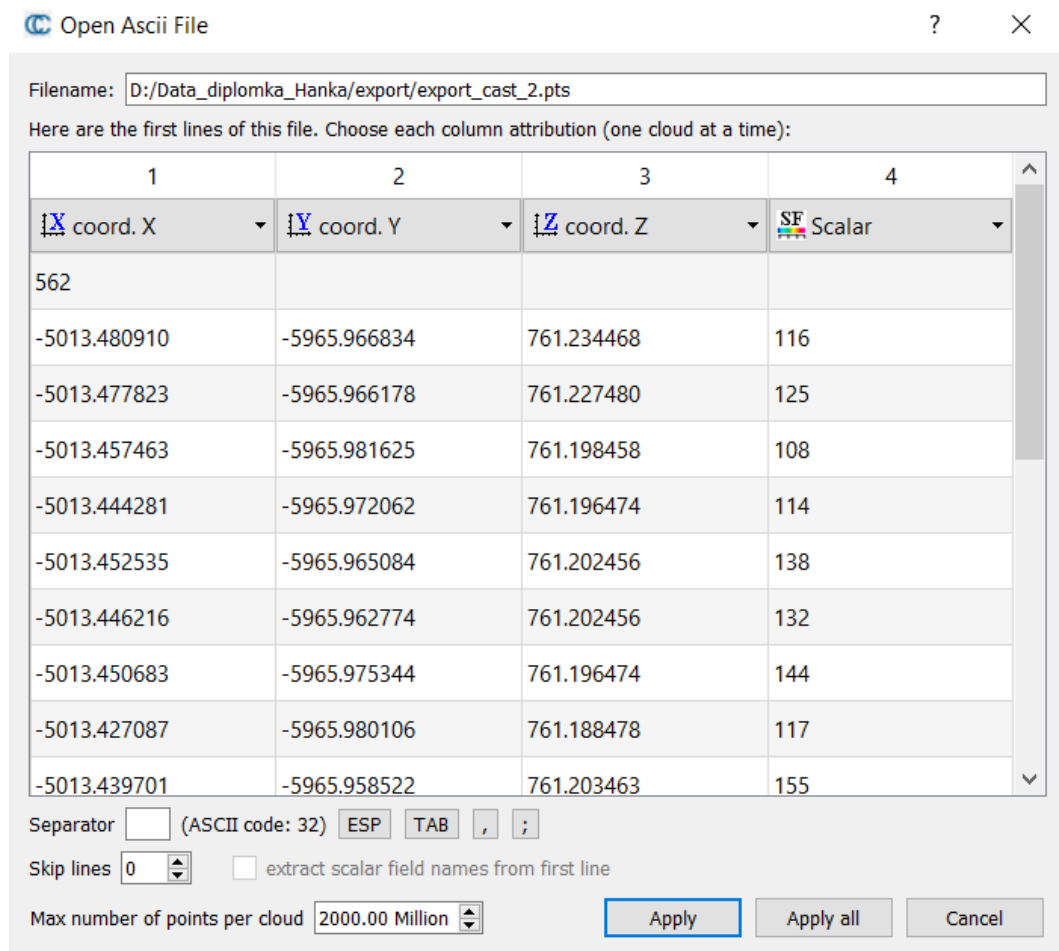


*Obr. 32: Očištěné mračno*

## 5.4 Zpracování v programu CloudCompare

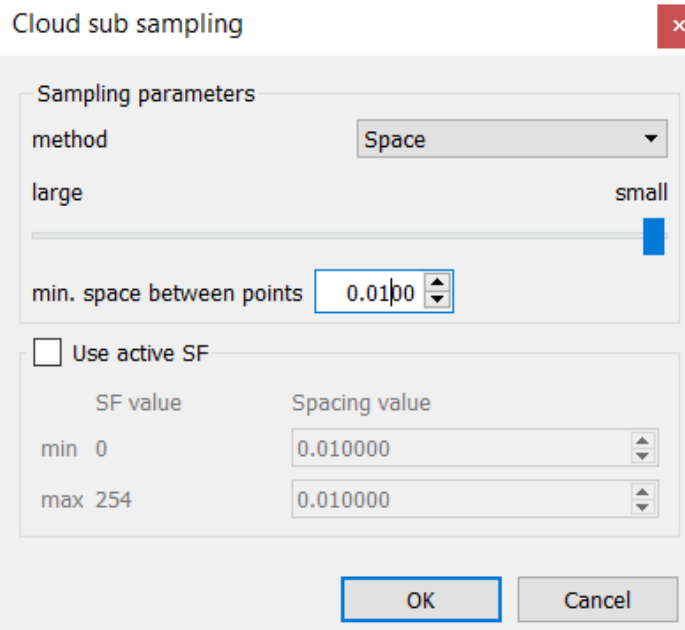
Spojené mračno bodů obsahuje na překrytových částech nadbytečné množství bodů a také v blízkosti skeneru je hustota bodů mnohem větší, než je nutno pro vytvoření modelu. Z tohoto důvodu se provádí tzv. ředění mračna, jehož cílem je vyloučit nadbytečné body a vytvořit mračno bodů s jednotným rozestupem bodů. K tomuto postupu byl využit program CloudCompare.

V programu se při importu dat nastavuje definice sloupců v textovém editoru (Obr. 33), standardně jsou to souřadnice X, Y, Z a intenzita.



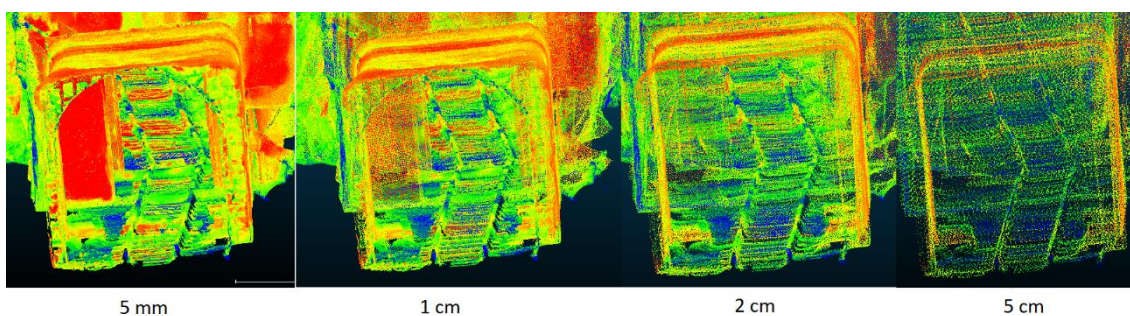
**Obr. 33: Nastavení parametrů při importu dat do programu CloudCompare**

Načtené mračno bodů se musí označit poklepnáním levého tlačítka myši a spuštěním funkce *Subsample a point cloud*. V této funkci je nutno nastavit minimální prostor mezi dvěma body, na které bude mračno přepočítáno (Obr. 34). Po zředění dat se mračno exportuje v textovém formátu s příponou *\*.txt*. Struktura exportovaných dat je stejná jako importovaných.



**Obr. 34: Nastavení parametrů pro zředění mračna**

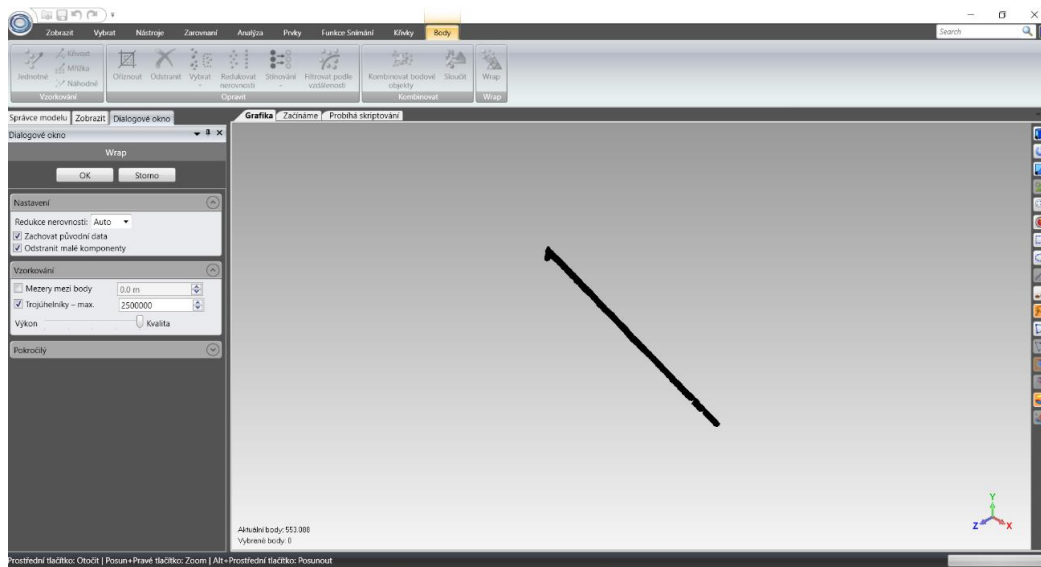
Exportované mračno z programu Cyclone bylo načteno a postupně bylo vyzkoušeno ředění na hustotu bodů 5 mm, 1 cm, 2 cm, 5 cm (Obr. 35). Na základě vizuálního porovnání mračna byla vybrána mračna s hustotou bodů 1 cm a 2 cm jako nejlepší. Mračno s hustotou bodů 5 mm bylo velmi detailní, ale obsahovalo stále hodně bodů, které by při dalším zpracování komplikovalo výpočet modelu. Mračno s hustotou 5 cm bylo příliš řídké a vytrácely se některé detaily.



**Obr. 35: Porovnání hustoty bodů a detailnosti mračna v programu CloudCompare**

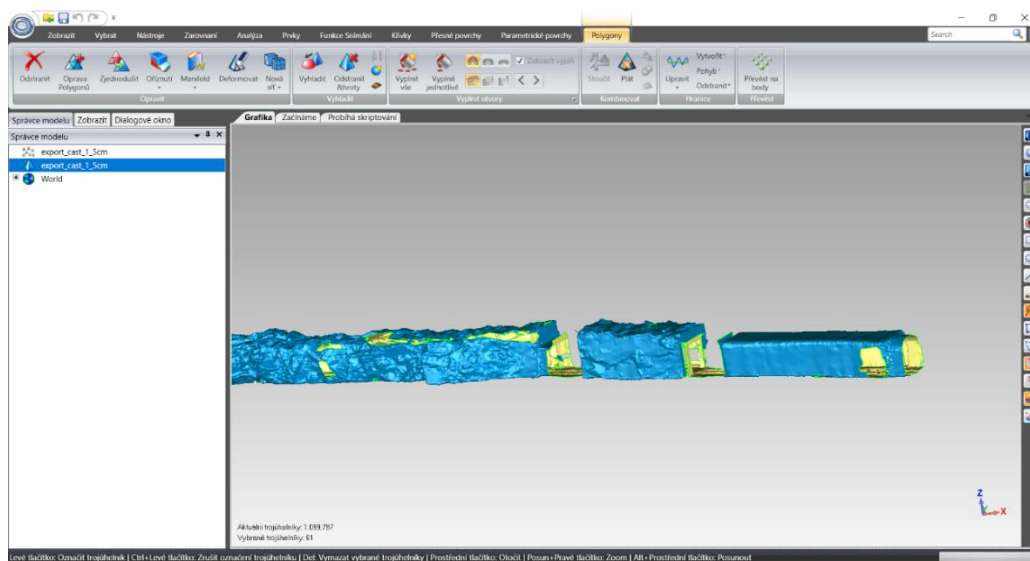
## 5.5 Zpracování v programu Geomagic Studio

Do programu Geomagic Studio se importují data ve formátu \*.txt. Při importu se volí vzorkování, které mu byl nastaven poměr 100%, aby data nebyla dále ředěna. Dále je nutno nastavit jednotky, ve kterých jsou data. Pro zpracováváný model byly nastavovány metry. Pro zasítování mračna trojúhelníky byla využita funkce *Wrap*. Nastavení této funkce bylo ponecháno na defaultní hodnotě (Obr. 36).



Obr. 36: Nastavení funkce *Wrap*

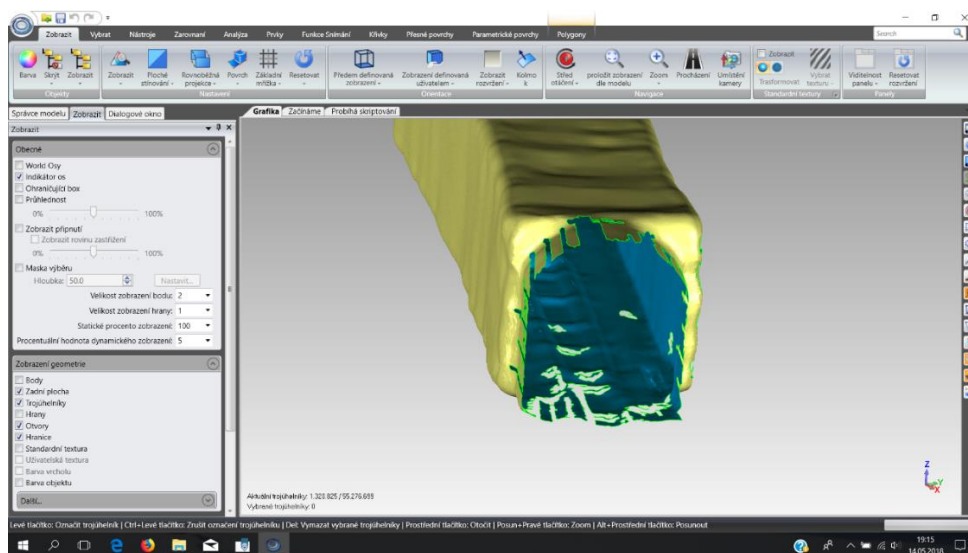
Po vytvoření trojúhelníkové sítě obsahuje model otvory, které nedokázal automaticky vyplnit (Obr. 37).



Obr. 37: Zasítovaný model před opravami

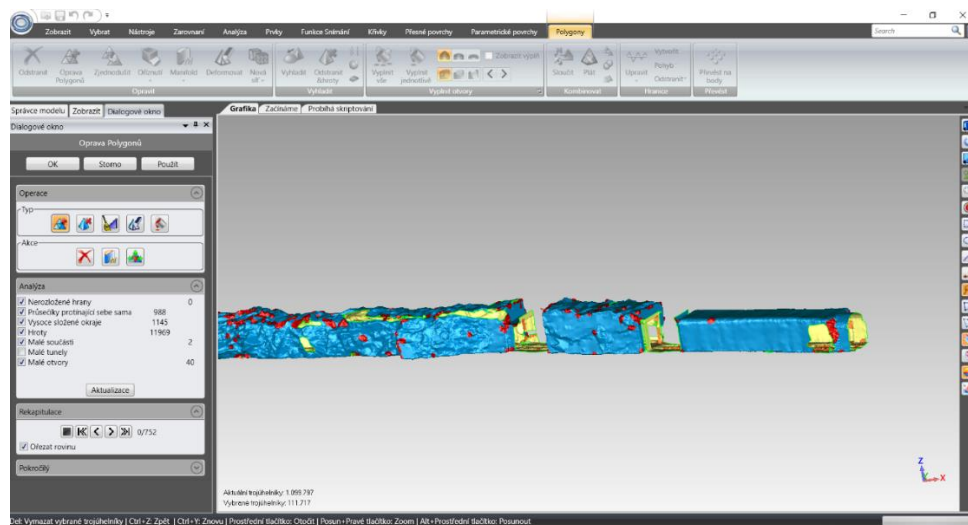


Vyplnění otvorů se provádí na menších částech modelu pomocí funkce *Vyplnit jednotlivě* (záložka *Polygony*). Zde je možno nastavit, jestli budou vyplňovány samotné drobné otvory nebo je nutno částečně či úplně vymodelovat určitou část. Místa otvorů jsou po obvodu vyznačeny zelenou barvou (Obr. 38).



**Obr. 38: Vyznačené otvory zelenou barvou**

Další funkcí pro opravu modelu je funkce *Oprava polygonů*. Je možno si opět zvolit nastavení, kde si lze vybrat typ operace, která se má aplikovat. Jestli se má provést *Automatická oprava*, *Odstranění hrotů*, *Vymazání*, *Deformace* nebo *Vyplnění otvorů*. Dále je tu k nahlédnutí *Analýza modelu*, kde jsou uvedeny chyby trojúhelníkové sítě, jako například *Malé otvory*, *Hroty*, *Vysoce složené okraje*, atd. Tyto chybná místa se v modelu zobrazí červenou barvou (Obr. 39).



**Obr. 39: Oprava polygonů v modelu**



objekty, krasové a přírodní dutiny, výsypky a skládky, státní hranice a hranice katastrálních území a základní a podrobné důlní bodové pole. Všechny prvky se zobrazují liniovou kresbou nebo mapovými značkami, které jsou definovány v příloze č. 3 vyhlášky [12]. Nedílným obsahem mapy je také čtvercová síť o rozměrech 100 mm x 100 mm a mimorámové údaje. V údajích se uvádí zejména označení listu a název mapy, souřadnicový a výškový systém, klad mapových listů, měřítko, vysvětlivky vlastních a nedefinovaných značek, údaje o založení a doplňování mapy, název organizace a ložiska, identifikační údaje a souřadnice čtvercové sítě na jižním a východním okraji rámu listu.

Originál základní důlní mapy se vyhotovuje v měřítku 1 : 500, 1 : 1000 nebo 1 : 2000. Klad listů mapy navazuje na dělení evidenční jednotky (triangulačního listu) v souřadnicovém systému S-JTSK. Je přípustné posunout klad listu ve směru osy X o hodnotu 100 m a ve směru osy Y o hodnotu 25 m nebo o celé násobky těchto hodnot. Posunutí je možné v případě, že se celý dobývací prostor zobrazí na plochu jednoho mapového listu. Ve vyhotovené mapě (příloha 3) nebyl tento postup zcela dodržen. Mapa má sloužit zejména prezentačním účelům a proto je žádoucí, aby byla na jednom mapovém listu. Toho bylo dosaženo posunem kladu o 50 m ve směru osy Y a o 150 m ve směru osy X, čímž bylo porušeno nařízení vyhlášky. Výsledný mapový list se nachází na ploše 4 mapových listů (Tab. 3).

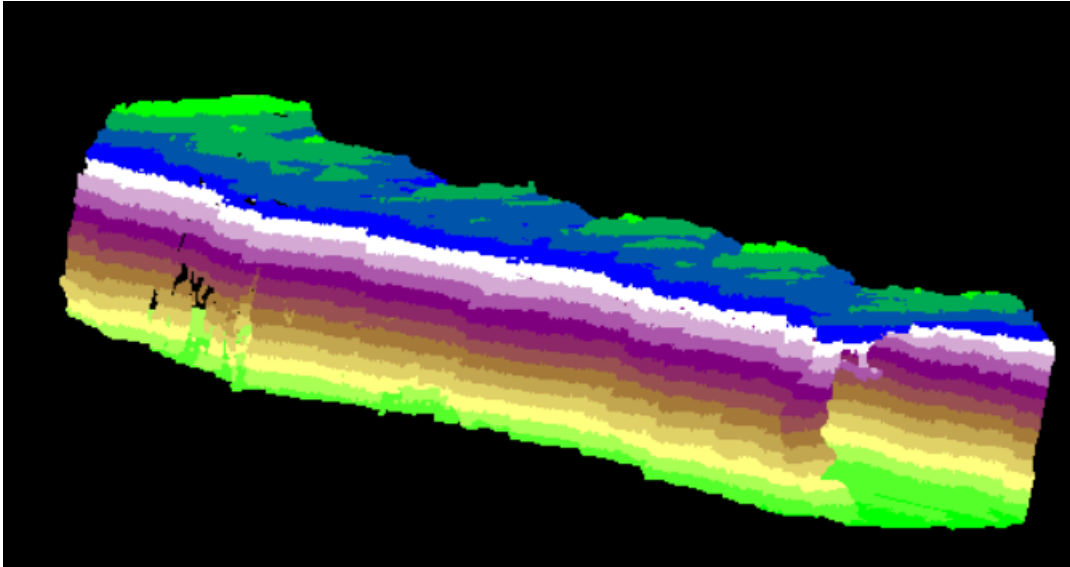
**Tab. 3: Mapové listy pro základní důlní mapu v měřítku 1 : 500**

Označení dle SM 5	Jáchymov 8-7/444	Jáchymov 7-7/333
Označení dle mapového listu v S-JTSK	845,3125-996,0000	845,0000-996,0000
Označení dle SM 5	Jáchymov 8-8/222	Jáchymov 7-8/111
Označení dle mapového listu v S-JTSK	845,3125-996,2500	845,0000-996,2500

Za originál základní důlní mapy se také považuje digitální model základní důlní mapy na paměťovém médiu a grafický výstup je pak obrazem mapy (Příloha 3). Digitální forma výkresu byla vypracována v programu Microstation CONNECT Edition. Zakládací 3D výkres s rozdělením vrstev definovaným nadstavbou DULMAP byl dodán vedoucím práce [10].

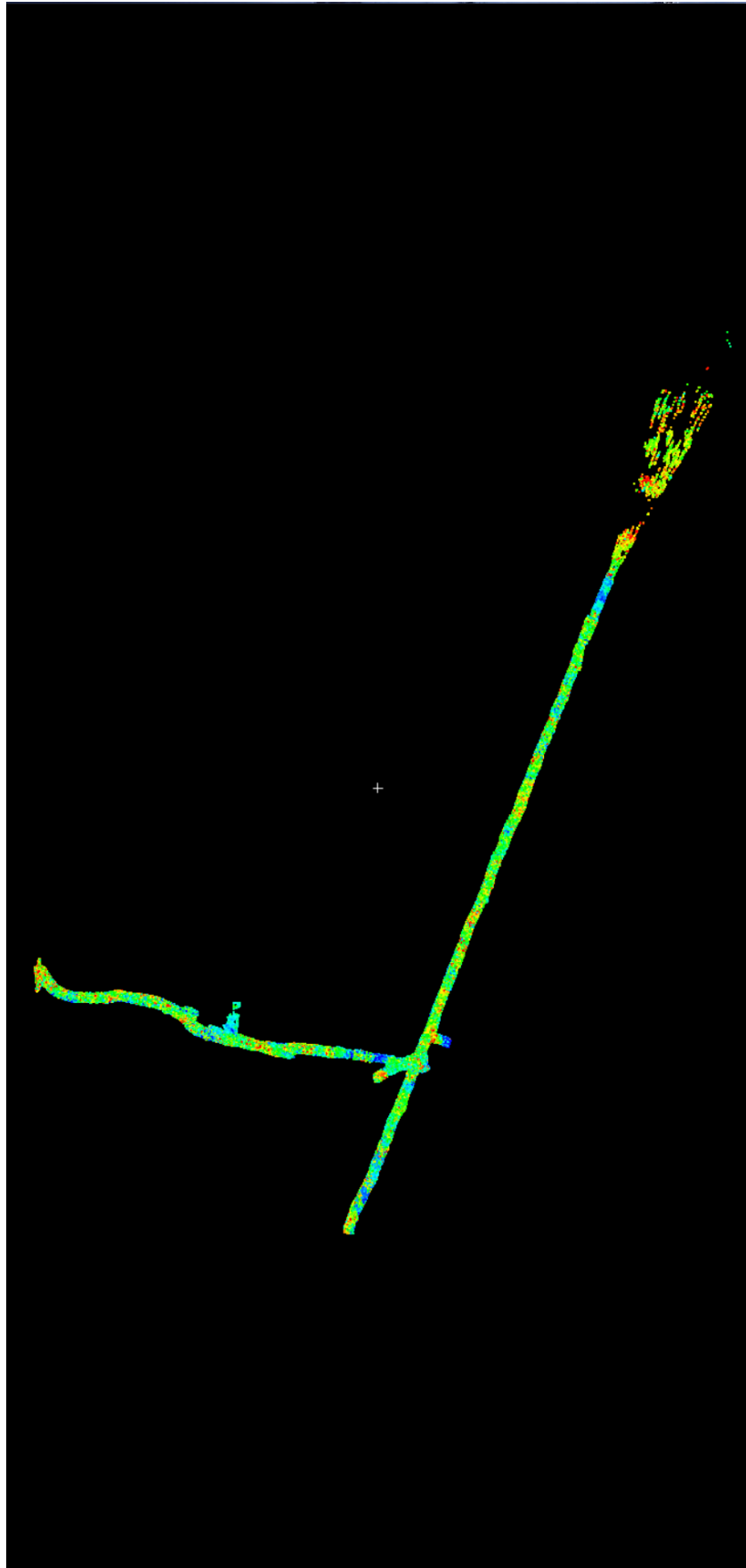
V digitálním výkresu byl vytvořen rám mapy a vyplněny mimorámové údaje. Bylo vykresleno důlní bodové pole a značka ústí štoly. V programu Cyclone byla

provedena vektorizace mračna bodů (Obr. 42) a byla vykreslena hranice vyrubaného prostoru, obvod sutě ze závalu, místa propadů stařin, místa vyztužení chodby a regulační dveře. Dále byly vektorizovány příčné řezy chodbou v intervalu cca 10 m a před a za výraznou změnou profilu. Pro vektorizaci bylo využito hypsometrické zobrazení mračna bodů s krokem 0,2 m. (Obr. 41).



**Obr. 41: Barevná hypsometrie**

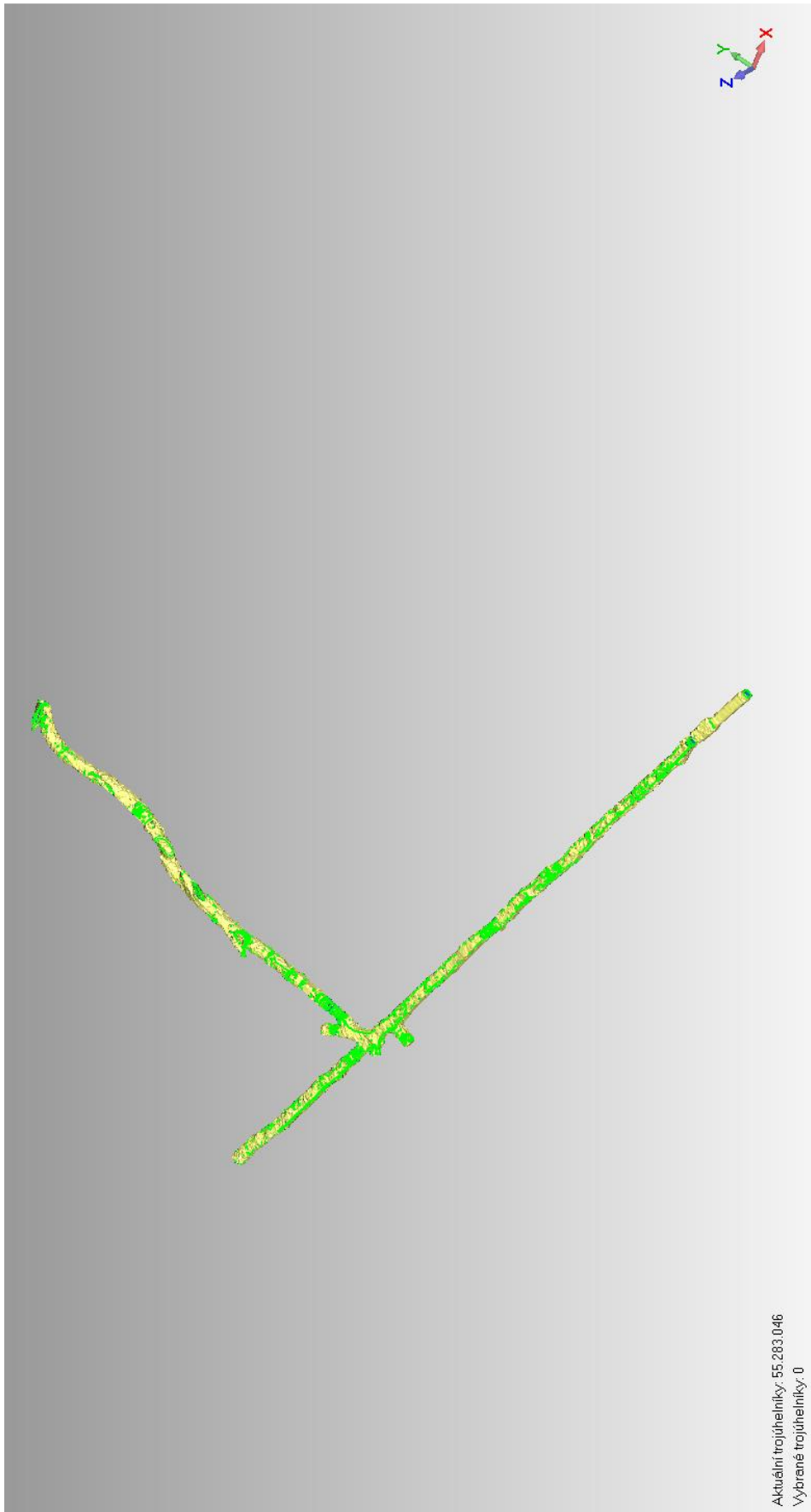
Hypsometrické zobrazení se vyvolává funkcí *Edit Color Map (Edit Object – Appearance – Edit Color Map)*. Zde byla nastavena škála barev, výškový interval a výška, od které bude mračno barevné. Vektorizace byla provedena ve výšce 1 m nad počvou. V mračnu byly funkcí *Multi-Pick Mode* označovány jednotlivé body, které se následně funkcí *Line Segment (Create Object – From Pick Points – Line Segment)* spojily linií. Pro lepší volbu bodů byl využíván *Limit Box*, který ohraničoval vždy pouze část vektorizované chodby. Výsledné linie byly exportovány ve formátu *\*.dxf* (Obr. 43) a připojeny k výkresu v Microstationu. Bylo provedeno spojení linií, úprava vrstev, barev a druhů čar. Výsledná kresba mapy byla vytisknuta v měřítku 1 : 500 na formát A1.



*Obr. 42: Výsledný model mračna bodů*



*Obr. 43: Bodové a liniové vyhodnocení*



**Obr. 44:** Model tvořený trojúhelníkovou sítí v programu Geomagic Studio

## 6 Závěr

Pro prezentační účely muzea Štoly č. 1 v Jáchymově byla vytvořena mapová dokumentace a 3D model interiéru štoly.

Měřické práce proběhly 6. - 8. dubna 2017 a 1. října 2017. K měření byla zvolena metoda laserového skenování a byl využit skener FARO Focus3D X130, který zapůjčila firma Geotronics Praha s. r. o. Celý prostor byl zaměřen ze 41 stanovisek. Hustota skenování byla standardně volena 11 mm na 10 m a pro detaily 7 mm na 10 m, K vyhodnocení dat byly využity programy Trimble RealWorks, Cyclone, CloudCompare, Geomagic Studio a Microstation.

Hlavní zpracování proběhlo v programu Cyclone, kde byla data postupně očištěna, byly vymodelovány identické body a jednotlivé skeny byly spojeny dohromady. Při registraci dat z dubna 2017 a i z října 2017 bylo dosaženo průměrné absolutní odchylky registrace 2 mm. Pro transformaci dat do souřadnicového referenčního systému S-JTSK a výškového systému Bpv bylo využito 14 identických bodů, průměrná absolutní odchylka registrace dosáhla hodnoty 7 mm. Spojení a transformace mračen byla zkontrolována pomocí oměrných měř a kontrolních řezů. Bylo ověřeno, že přesnost mračen vyhovuje účelu a formě vytvářené dokumentace. Spojené mračno bylo dále očištěno a vznikl výsledný 3D model mračna bodů, který zachycuje prostor štoly a veškeré technologické vybavení. Tento model lze využít pro prezentační videa nebo vypracování speciálních důlních map.

Mračno bodů bylo také dále očištěno až na samotný tubus. V programu CloudCompare bylo provedeno zředění mračna na hustotu 1 cm a v programu Geomagic Studio byl vytvořen trojúhelníkový 3D model tubusu Štoly č. 1.

Kromě digitálních 3D modelů byla vyhotovena základní důlní mapa v měřítku 1 : 500. Mapa je vypracována podle požadavků vyhlášky č. 435/1992 Sb. Obraz mapy je umístěn na formátu papíru A1 a obsahuje obvod štoly, základní důlní bodové pole a hlavní technologické prvky jako je dopravní kolej, dveře a bezpečnostní prvky. V mapě jsou také vyobrazena místa propadů stařin ze středověké těžební činnosti.



## Seznam použité literatury

- [1] Jelen, J. - Kučera, Z.: Dědictví (nejen uranové) těžby na Jáchymovsku. Geografické rozhledy, 2017, roč. 26, č. 3, s. 28–30.
- [2] Jelen, J. – Kučera, Z: Approaches to identification and interpretation of mining heritage: the case of the Jáchymovsko area, Ore Mountains, Czechia. Hungarian Geographical Bulletin, 2017, roč. 66, č. 4, s. 321-336.  
DOI 10.15201/hungeobull.66.4.4
- [3] Kučera, Z. - Jelen, J. - Kučerová, S. - Meyer, P. – Štych, P. a kol.: Pracovní tábory na Jáchymovsku. Podklad k exkurzi. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, katedra sociální geografie a regionálního rozvoje, Praha, 2017
- [4] Seidl, J.: Nové důlní bodové pole Štoly č. 1 v Jáchymově. Bakalářská práce, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Praha, 2017
- [5] Kamposokolovsku: Muzeum Sokolov – Štola č. 1 Jáchymov. Dostupné online z <http://www.kamosokolovsku.cz/muzeum-sokolov-stola-c1-jachymov>.  
[cit.18.5.2018]
- [6] Štroner, M. - Pospíšil, J. - Koska, B. - Křemen, T. - Urban, R. - et al.: 3D skenovací systémy. 1. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, ČVUT v Praze, 2013. 396 s. ISBN 978-80-01-05371-3.
- [7] Kašpar, M. - Pospíšil, J. - Štroner, M. - Křemen, T. - Tejkal, M.: Laserové skenovací systémy ve stavebnictví. 1. vyd. Hradec Králové: Vega, 2003. 112 s. ISBN 80-900860-3-9.
- [8] Muzeum Sokolov: Muzeum - Štola č. 1 Jáchymov. Dostupné online z <http://www.omks.cz/cz/vypis.php?typ=sekce&id=28>. [cit. 18.5.2018]
- [9] IQservices: Laserový skener Faro Focus X130 a Faro Focus X330. Dostupné online z <http://www.iqservices.eu/sk/novinky/faro-focus-x130-a-faro-focus-x330-512.html>.  
[cit. 18.5.2018]

- [10] Špaček, F.: Zaměření části štoly Josef a vytvoření její důlní mapové dokumentace. Diplomová práce, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Praha, 2016
- [11] Štroner, M. - Pospíšil, J.: Terestrické skenovací systémy. 1. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2008. 187 s. ISBN 978-80-01-04141-3.
- [12] Filipec, V.: Báňské předpisy XII - Vyhláška č. 435/1992 Sb. Českého báňského úřadu o důlně měřické dokumentaci při hornické činnosti a některých činnostech prováděných hornickým způsobem ve znění vyhlášky Českého báňského úřadu č. 158/1997 Sb. – úplné komentované znění. Ostrava: Montanex, 1997. ISBN 80-85780-88-7.

## Seznam obrázků

<i>Obr. 1: Poloha Štoly č. 1 v Jáchymově (www.cuzk.cz).....</i>	<i>11</i>
<i>Obr. 2: Ortofoto s vyznačením Štoly č. 1 (www.cuzk.cz).....</i>	<i>11</i>
<i>Obr. 3: Venkovní expozice Štoly č. 1 [5] .....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 4: 3D model dolu Svornost [3].....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 5: Dělení skenerů podle zorného pole (kamerový, panoramatický) [6].....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 6: Prostorová polární metoda .....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 7: Štola č. 1 – hlavní chodba.....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 8: Štola č. 1 – křižovatka hlavní a odbočné chodby.....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 9: Štola č. 1 – čelba hlavní chodby [8] .....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 10: FARO Focus3D X130 [9] .....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 11: Kulové terče o velikosti 145 mm a 198,8 mm .....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 12: Rozmístění identických bodů ve Štole č. 1.....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 13: Příprava skeneru na měření ve Štole č. 1 .....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 14: Ukázka schématu číslování stanovisek a identických bodů .....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 15: Import dat v programu Cyclone.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 16: Struktura ScanWorldu.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 17: Sken před očištěním .....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 18: Sken po očištění.....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 19: Kulové terče v mračnu .....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 20: Nastavení hodnoty průměru koule .....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 21: Nastavení parametrů a vybrané body pro vytvoření koule.....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 22: Vymodelovaný identický bod.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 23: Parametry vytvořeného identického bodu.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 24: Ukázka přidání skenů do registrace a nastavení tzv. domácího skenu.....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 25: Ukázka vytvořené vazby mezi identickými body .....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 26: Ukázka výsledků registrace.....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 27: Ukázka protokolu o registraci.....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 28: Ukázka náhledu registrovaných skenů.....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 29: Kontrolní svislý řez .....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 30: Kontrolní částečný podélný řez.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 31: Neочиštěné mračno.....</i>	<i>37</i>

<i>Obr. 32: Očištěné mračno .....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 33: Nastavení parametrů při importu dat do programu CloudCompare.....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 34: Nastavení parametrů pro zředění mračna .....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 35: Porovnání hustoty bodů a detailnosti mračna v programu CloudCompare... </i>	<i>39</i>
<i>Obr. 36: Nastavení funkce Wrap .....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 37: Zasiťovaný model před opravami .....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 38: Vyznačené otvory zelenou barvou.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 39: Oprava polygonů v modelu .....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 40: Porovnání hustoty bodů a detailu mračna v programu Geomagic Studio .....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 41: Barevná hypsometrie.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 42: Výsledný model mračna bodů .....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 43: Bodové a liniové vyhodnocení.....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 44: Model tvořený trojúhelníkovou sítí v programu Geomagic Studio.....</i>	<i>47</i>

## Seznam tabulek

<i>Tab. 1: Základní technické specifikace FARO Focus3D X130 [9] .....</i>	<i>19</i>
<i>Tab. 2: Porovnání prostorových délek mezi vybranými body .....</i>	<i>36</i>
<i>Tab. 3: Mapové listy pro základní důlní mapu v měřítku 1 : 500.....</i>	<i>43</i>

## **Seznam tištěných příloh**

Příloha 1 – Náčrty stanovisek skenování

Příloha 2 – Seznam souřadnic

Příloha 3 – Základní důlní mapa v měřítku 1 : 500

Příloha 4 – Příčné řezy v měřítku 1 : 50

## **Seznam elektronických příloh**

Text diplomové práce

Naměřená data

Protokoly o registraci

Seznam souřadnic

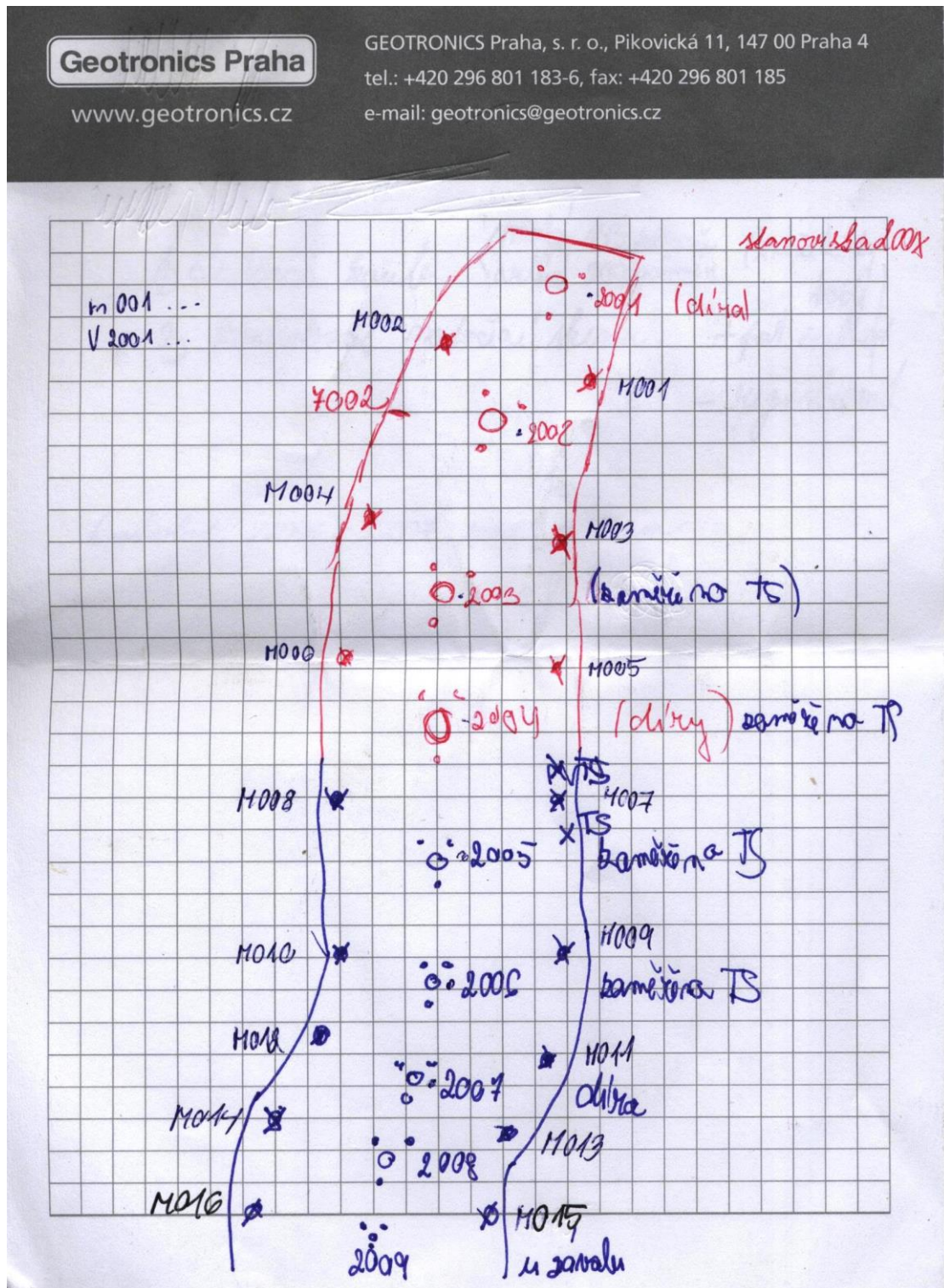
Základní důlní mapa 1 : 500

Příčné řezy 1 : 50

Model v programu Cyclone

Model v programu Geomagic

# Příloha 1 – Náčrty stanovišek skenování





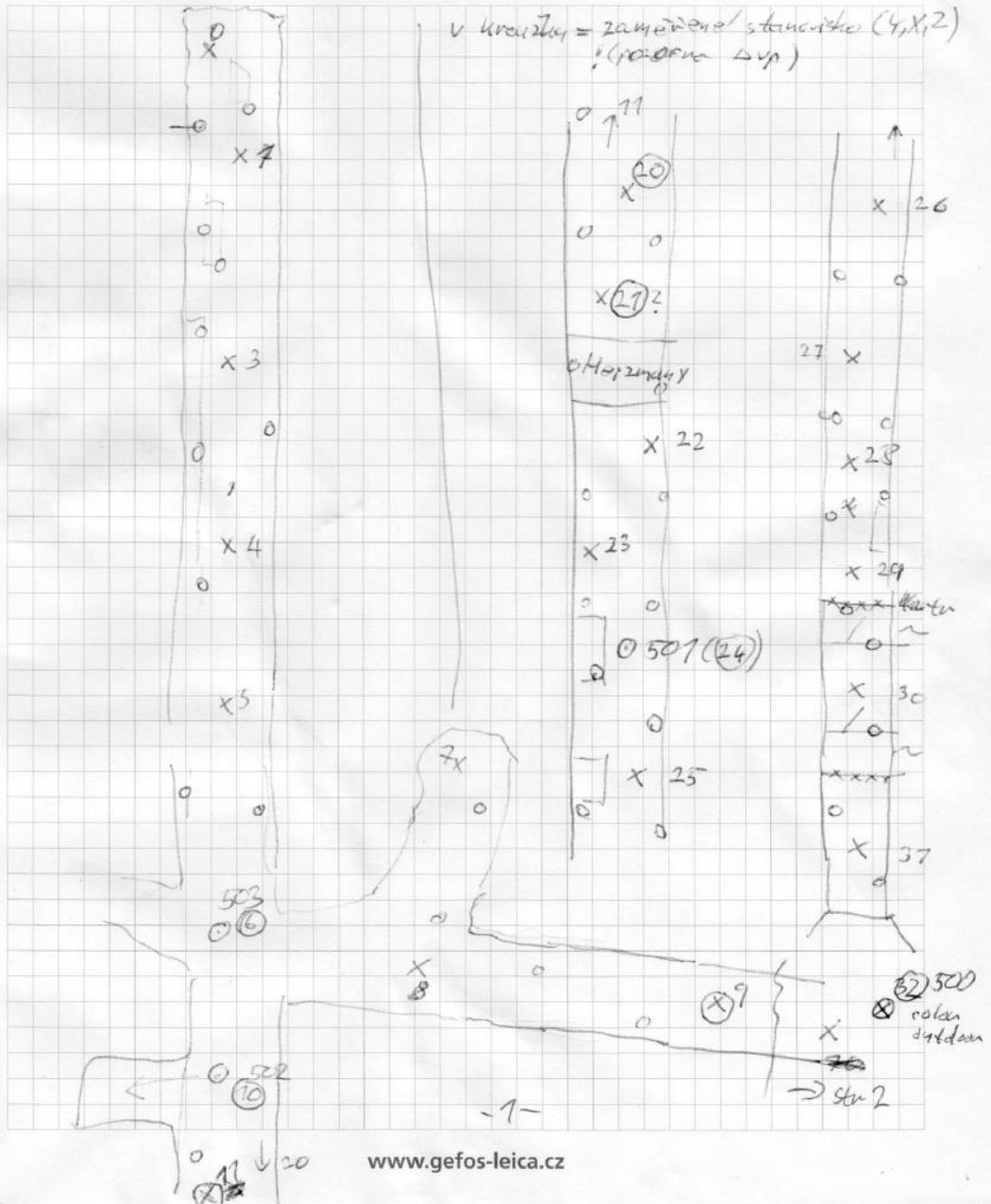
obchodní zastoupení Leica Geosystems pro ČR

Leica  
Geosystems

Jalčkov nová Stáda d.1.

6.-8.4.2017

Faro X150 3Dscan



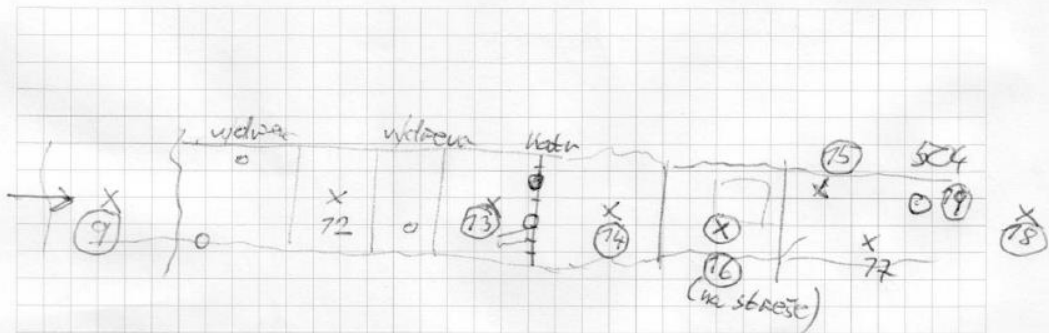




obchodní zastoupení Leica Geosystems pro ČR



Středa č. 1 - konec  
7.4.2019



Ing. TOMÁŠ  
JÍŘIKOVSKÝ

- 2 -

[www.gefos-leica.cz](http://www.gefos-leica.cz)

## Příloha 2 – Seznam souřadnic

Souřadnice stanovisek a bodů základního důlního bodového pole v S-JTSK a Bpv

Bod	Y	X	Z
500	844831,491	996056,369	759,941
501	844925,592	996018,825	763,064
502	845006,592	995986,412	763,300
503	845016,498	995982,588	763,469
504	845008,330	995916,762	764,345
505	844992,543	995885,204	763,513
602	844916,118	996022,421	762,888
603	844957,842	996005,770	763,257
604	845006,571	995986,881	763,268
606	845016,969	995976,733	764,022
610	845005,630	995909,143	764,132
1009	845012,920	995962,019	762,265
1011	844993,309	995992,173	762,038
1013	845011,758	995949,009	762,335
1014	845011,141	995940,264	762,291
1015	845010,830	995929,707	762,877
1016	845010,944	995933,891	763,909
1018	845002,317	995903,036	762,480
1020	844978,255	995997,355	761,974
1021	844966,765	996002,346	761,940
2003	844993,053	995867,650	762,520
2004	844993,530	995877,697	762,502
2005	844993,658	995887,257	762,459
2006	844996,921	995896,623	762,457
2007	845000,200	995903,430	762,969
4001	844769,288	996030,715	752,328
4002	844838,772	996068,399	760,938
4003	844801,019	996034,986	755,058
4101	844493,054	995756,670	791,055
7001	845069,442	995961,560	763,240
7002	844992,707	995857,627	763,091
9002	845016,985	995979,447	761,216