



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

DOKUMENTACE MOSTU POMOCÍ POZEMNÍHO SKENOVÁNÍ

DOCUMENTATION BRIDGE USING TERRESTRIAL SCANNING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Anna Ferencová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. VLASTIMIL HANZL, CSc.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646R003 Geodézie, kartografie a geoinformatika
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Anna Ferencová
Název	Dokumentace mostu pomocí pozemního skenování
Vedoucí práce	doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.
Datum zadání	30. 11. 2016
Datum odevzdání	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Manuály: FARO Focus 3D Manual, Scene 5.1 Manual.

Vosselman, G., Maas, H.G.: Airborne and Terrestrial Laser Scanning. CRC Press, 2010

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Naskenujte zadanou část mostní konstrukce stavební fakulty pomocí pozemního skeneru. Určete vlíčovací a kontrolní body. Vytvořte 3D model zadané části objektu. Posudte přesnost modelu na kontrolních bodech.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Cieľom bakalárskej práce je naskenovanie mostnej konštrukcie pomocou pozemného skeneru, ktorá je súčasťou areálu stavebnej fakulty VUT v Brne. Obsahom práce je teoretický základ a následné praktické spracovanie nameraných dát. Výsledkom má byť vyhotovenie 3D modelu a posúdenie presnosti na kontrolných bodoch.

KLÍČOVÁ SLOVA

Laserové skenovanie, mračno bodov, 3D model, AutoCAD

ABSTRACT

The aim of this bachelor work is to scan with help of ground-based scanner bridge structure, which is part of the area of faculty of building VUT in Brno. Content of this work is theoretical base and consecutive practical elaboration of measured data. The result is effectuation of 3D model and examination of accuracy on control points.

KEYWORDS

Laser scanning, point cloud, 3D model, AutoCAD

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Anna Ferencová *Dokumentace mostu pomocí pozemního skenování*. Brno, 2017. 41 s., 6 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.

PREHLÁSENIE:

Prehlasujem , že som bakalársku prácu spracovala samostatne a že som uviedla všetky použité zdroje.

V Brne dňa 20. 5. 2017

Anna Ferencová
autor práce

POĎAKOVANIE:

Rada by som poďakovala vedúcemu práce doc. Ing. Vlastimilovi Hanzlovi, CSc . za cenné poznatky a pripomienky pri spracovaní a vyhotovení bakalárskej práce. Zároveň by som chcela poďakovať RNDr. Hane Trnkové za ochotu a pomoc pri práci.

OBSAH

1.	ÚVOD	9
2.	Lokalita skenovaného objektu.....	10
3.	Laserové skenovanie.....	11
3.1.	Teória laserového skeneru	12
3.2.	Typ skeneru	13
3.3.	Presnosť.....	13
3.4.	Vlicovacie, spojovacie body	13
3.5.	Porovnanie s geodetickými metódami.....	14
3.6.	Laserové skenery.....	14
3.6.1.	Pozemný skener FARO Focus 3D.....	14
3.6.2.	Iné typy skenerov	16
3.7.	Vyhodnocovanie dát	18
4.	Software	18
4.1.	Použité softwary	18
4.2.	Ostatné softwary.....	19
4.2.1.	Luposcan	19
4.2.2.	Pointfuse.....	20
5.	Vlastné spracovanie	21
5.1.	Rekognoskácia, voľba stanovísk a rozmiestnenie vlicovacích bodov	21
5.2.	Skenovanie.....	21
5.2.1.	Založenie projektu.....	21
5.2.2.	Vytvorenie profilu	21
5.3.	Spracovanie nameraných dát	22
5.3.1.	Spojenie do spoločného systému v programe SCENE	22
5.3.2.	Odstránenie šumu a ofarbenie mračna bodov	23
5.3.3.	Export	24
5.4.	Tvorba 3D modelu.....	24
6.	Kontrola presnosti	26
6.1.	Postup práce	27
6.2.	Výpočtová časť.....	27
6.3.	Porovnanie metód.....	28
7.	ZÁVER.....	30
8.	Zoznam použitých zdrojov	31
9.	Zoznam použitých skratiek	33
10.	Zoznam obrázkov a tabuliek.....	34
11.	Zoznam príloh.....	35

1. ÚVOD

Laserové skenovanie jedna z pokročilejších metód zberu dát. V súčasnej dobe sa využíva čoraz častejšie a preniká do rôznych odvetví.

Cieľom bakalárskej práce je dokumentácia mostnej konštrukcie pomocou pozemného laserového skenovania. Hlavnými výstupmi sú 3D model a kontrola presnosti výsledného modelu.

Skenovaným predmetom je prepojovací most, ktorý spája budovy R a B a je súčasťou stavebnej fakulty Vysokého učení technického v Brne.

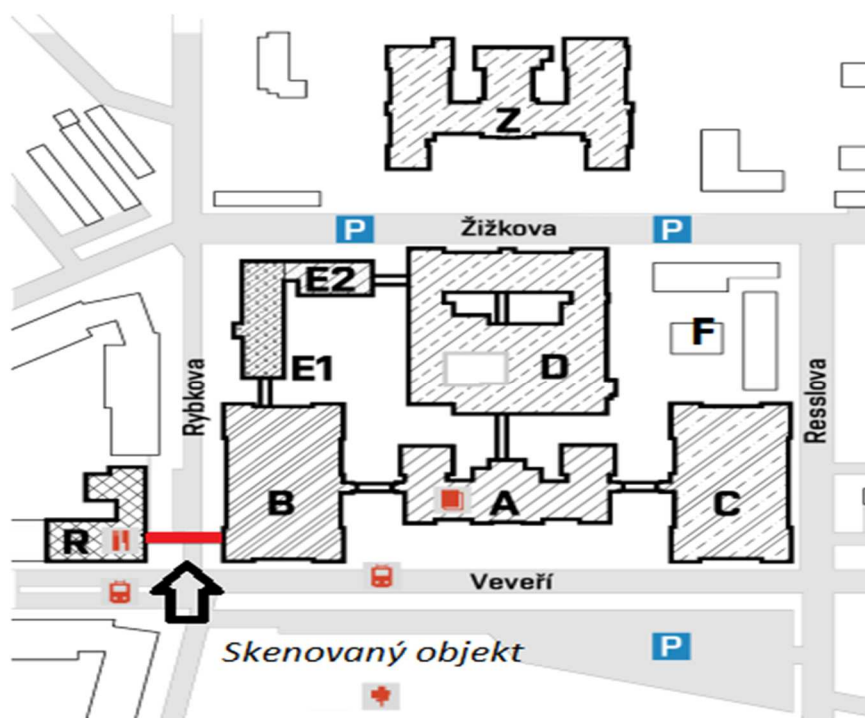
Bakalárska práca sa zaoberá v prvej časti teoretickým základom laserového skenovania. Súčasťou je oboznámenie čitateľa s použitými pomôckami a taktiež softwary, ktoré sa využili pri vyhodnocovaní dát. Ostatné kapitoly sú venované vlastnému spracovaniu. Celý proces vyhotovenia je popísaný v jednotlivých častiach . Od počiatočných činností ako je skenovanie, úprava a vyhodnotenie dát, až ku koncovému výsledku, čo predstavuje prezentácia resp. vizualizácia objektu.

2. Lokalita skenovaného objektu

Skenovaným predmetom je prepojovacia lávka, ktorá sprístupňuje prechod medzi budovou R a budovou B na ulici Rybkova. Tieto obidve budovy sú súčasťou areálu stavebnej fakulty Vysokého učení technického v Brne (ďalej len VUT).

Stavebná fakulta je najväčšou a najstaršou fakultou VUT. Vývoj siaha až do roku 1849 založením Technického učilišťa v Brne, ktoré bolo neskôr vyhlásené za Vysokú školu technickú v roku 1873. Názov školy niesol niekoľko mien, v rokoch 1918 - 1937 sa škola nazývala Česká vysoká škola technická v Brně neskôr Vysoká škola technická Dr. Edvarda Beneše v Brně. Dňa 24.7.1956 vzniklo Vysoké učení technické v Brně. [1]

V súčasnej dobe Fakulta stavebná má 9 budov (A, B, C, D, E1, E2, F), ktoré sídlia na ulici Veverí. Ďalšia budova Z sa nachádza na ulici Žižkova a budova R na ulici Rybkova *Obr. 2-1*. Tomu predchádzala prvá prestavba, kde boli zrekonštruované budovy areálu VUT v rokoch 1999-2003. Konečný vzhľad a rozšírenie priestorov prebiehalo v rozsiahlej renovácii v rokoch 2011-2013. Pri týchto obnovách došlo aj k výstavbe prepojovacieho mostu *Obr. 2-2*. [2]



Obrázok 2-1 Náčrt areálu VUT so zákresom skenovaného objektu [3]



Obrázok 2-2 Prepojovací most počas výstavby [4]

3. Laserové skenovanie

Pod pojmom laserového skenovania sa rozumie. Cit. [5]: „Způsob detekce objektu pomocí pohyblivého laserového paprsku, jehož stopy na povrchu objektu jsou uspořádány v rádcích nebo rastru (tzv. mračno bodů).“

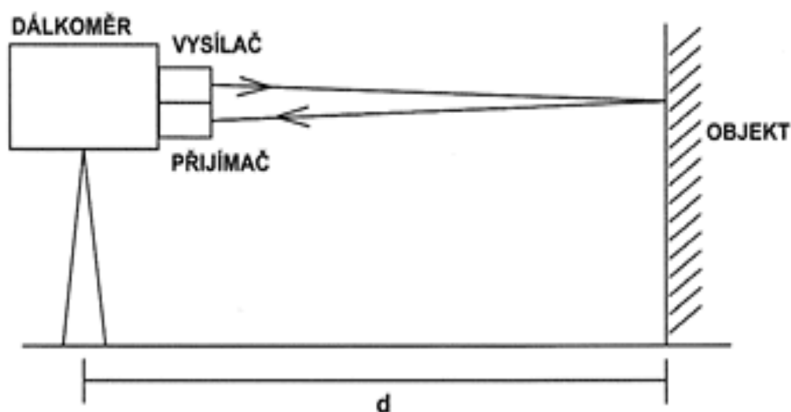
Laserové skenovanie je novodobá metóda bezkontaktného zberu dát. Určujú sa priestorové súradnice (X, Y, Z), ktoré nesú informácie o skutočnej farbe bodu. Výsledkom merania je mračno bodov (point cloud) obr. 3-1, ktoré nám zobrazuje podobu snímaných objektov. Výhodným parametrom tejto metódy je rýchlosť, kde v krátkom čase dosiahneme vysokú presnosť a taktiež rýchlu realistickú vizualizáciu zložitých tvarov. Prínosnou hodnotou je bezpečnosť pri práci. Technológia má široké využitie v archeológii, ochrane kultúrneho dedičstva, stavebníctve, strojárstve a v ďalších iných. [6]



Obrázok 3-1 Ofarbené mračno bodov v programe SCENE

3.1. Teória laserového skeneru

Laserový skener je založený na elektronickom spôsobe merania. Využíva LiDAR, ide o akronym z anglického Light Detection And Ranging. Aplikuje sa na meranie vzdialeností, kde sa využije odraz laserového lúča. Z prístroja sa vyšle lúč, ktorý dopadne na objekt, ten sa odrazí a vráti späť do prístroja vid'. Obr. 3-2. Meranými hodnotami je čas, ktorý uplynie od vypustenia lúča až k jeho návratu vo forme odrazu, kde skener určí meranú dĺžku. [9]

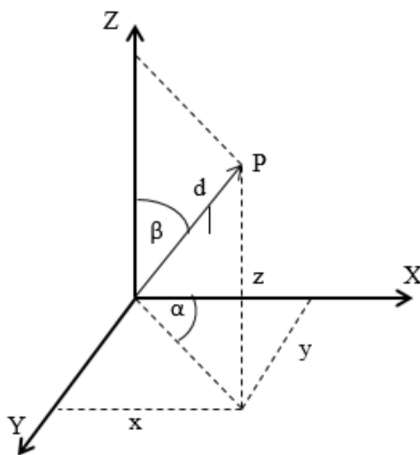


Obrázok 3-2 Priebeh vysielaného a prijímaného lúča pre určenie vzdialeností [10]

Spôsoby rozmietavania zväzku:

- Pomocou rotujúceho zrkadla
- Pomocou rotujúceho optického hranola [8]

Parametre, ktoré zaznamenáva skener sú hodnoty šikmej dĺžky d , horizontálneho uhla α a vertikálneho uhla β . Z meraných dĺžok a uhlov sú určené polárne súradnice, ktoré sú prevedené do pravouhlého systému pomocou polárnej priestorovej metódy s počiatkom v skeneri obr. 3-3.



Obrázok 3-3 Polárna priestorová metóda [8]

3.2. Typ skeneru

Metóda terestrického laserového skenovania využíva 2 typy skenerov, ktoré pracujú na pulzovom alebo fázovom princípe.

- Pulzové skenery („timeof-flight“ z anglického výrazu čas letu), skúmajú čas vyslaného pulzu až po jeho vrátenie, kde na podklade známej rýchlosti šírenia sa vlnenia, prístroj určí vzdialenosť medzi objektom a skenerom. Tieto technické zariadenia majú dosah až na niekoľko 100 m a presnosť určenia polohy bodu sa pohybuje v rozmedzí 5 až 30 mm. [11]
- Fázové skenery, určia meranú dĺžku z fázového rozdielu. Ten sa vytvára medzi vysielaným a prijatým signálom (fázou). Pri tomto type sa využívajú skôr kratšie vzdialenosti do 50 m, kde môžeme dosiahnuť presnosť polohy bodu 0,2 až 5 mm.[11]

3.3. Presnosť

Presnosť metódy laserového skenovania závisí od vnútorných (prístrojových) a vonkajších vplyvov. Prístrojové vplyvy zahŕňujú všetky systematické chyby, vznikajúce pri nesprávnom chode skeneru.

Vonkajšie vplyvy predstavujú chyby, ktoré vstupujú do merania z vonkajšieho prostredia. Môžeme tam zaradiť atmosférické a fyzikálne vplyvy. Taktiež záleží na geometrii a vlastnostiach skenovaného predmetu. Dôležitou vlastnosťou je dobrá odrazivosť objektu, inak dochádza ku skresleniu meraných dát.

Vplyv na presnosť z hľadiska merača je v prvotných nastaveniach skenovania. Sú to základné parametre rozlíšenie a kvalita, ktoré prispievajú k výslednej hustote bodov.

3.4. Vlicovacie, spojovacie body

Vlicovacie body hrajú svoju rolu pri prepojení respektíve naviazaní mračna bodov na iný ľubovoľný, súradnicový systém. Polohu vlicovacích bodov poznáme v oboch systémoch. Pomocou transformácie sme schopní previesť mračno bodov, ktoré je v lokálnej sústave do potrebného systému.



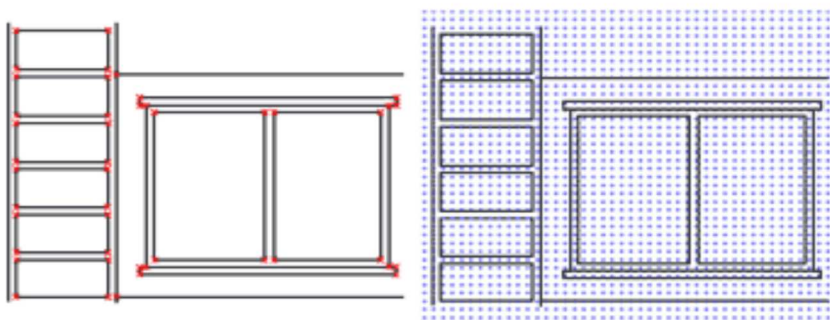
Obrázok 3-4 Príklady vlicovacích, spojovacích bodov [7]

Spojovacie body nám slúžia pri spojení jednotlivých skenov do spoločného mračna s jednotnou súradnicovou sústavou. Každý nový sken má počiatok v skeneri. Skenovaný objekt je určený z viacerých stanovísk, kde je potrebné zjednotiť tieto lokálne systémy v jeden celok.

Ako spojovacie, vlicovacie body využívame umelo alebo prirodzene signalizované objekty. Môžu to byť referenčné gule, pologule, šachovnicové terče a ďalšie iné jednoznačne viditeľné predmety v skenovanej oblasti *Obr. 3-4*.

3.5. Porovnanie s geodetickými metódami

Laserové skenovanie môžeme považovať, za neselektívny výber bodov oproti klasickému geodetickému určeniu vid'. *Obr. 3-5*. Geodetickými metódami dokážeme jednoznačne identifikovať významné body objektu. Laserový skener nedokáže jasne určiť dôležitú hranu, preto sú zaznamenávané tisícky bodov v určitom uhľom kroku, kde neskôr pri spracovaní sú vyhodnotené dôležité konštrukčné hrany skenovaného predmetu. [6]



Obrázok 3-5 Porovnanie laserového skenovania (vpravo) s geodetickým zameraním (vľavo) [6]

3.6. Laserové skenery

V súčasnej dobe trh ponúka dostatok možností pre výber. Môžeme sa stretnúť s významnými výrobcami skenerov, ako sú Leica Geosystems, Trimble, Riegl a s ďalšími inými.

Prístroje disponujú rôznymi technickými parametrami a funkciami, ktoré sú prispôbené na určitý typ práce.

Táto podkapitola sa delí na ďalšie 2 časti, kde v prvej časti chcem poukázať na použitý skener *FARO Focus 3D* a v druhej polovici na iné typy prístrojov od iných spoločností.

3.6.1. Pozemný skener FARO Focus 3D

FARO Focus 3D je vysokorýchlostný laserový skener určený pre detailné meranie a vyhotovenie dokumentácie v trojrozmernom priestore. Používa laserovú technológiu, ktorá dokáže behom pár minút vytvoriť detailný obraz celého prostredia. Výsledné snímky obsahujú mračno bodov v 3D priestore. [12]

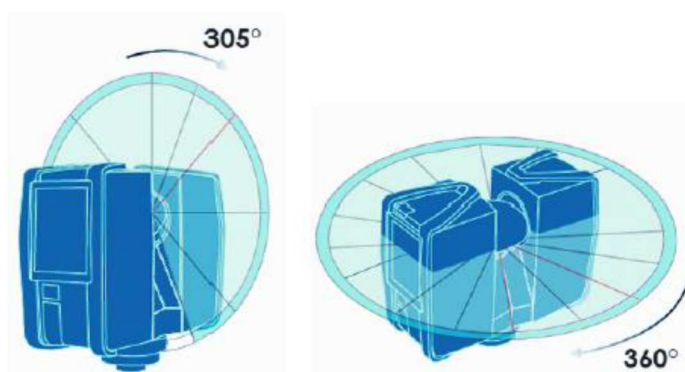
Hlavné črty skeneru:

- Vysoká presnosť, rozlíšenie, rýchlosť
- Ovládanie pomocou dotykového displeja
- Malé rozmery, nízka hmotnosť
- Fotorealistické 3D farebné skenovanie vďaka integrovanej farebnej kamere
- Dvojosí kompenzátor, ktorý vyrovnáva zachytené dáta do zvislice
- Kompas a výškomer priradujú skenom informácie o orientácii a výške
- WLAN umožňuje diaľkové ovládanie
- Dáta sú zaznamenané na vyberateľnú SD pamäťovú kartu, ktorá umožňuje ľahký a bezpečný prenos [12]



Obrázok 3-6 Pozemný skener FARO Focus 3D [12]

Pozemný skener Faro Focus 3D využíva techniku fázového posunu, pri ktorej sú konštantné vlny infračerveného žiarenia. Princíp merania dĺžky na základe fázového posunu, ktorý bol spomínaný v tretej kapitole. [12]



Obrázok 3-7 Vertikálna a horizontálna rotácia [12]

Technické parametre skeneru:

- Uhlový krok medzi susednými bodmi $0,009^\circ$
- Presnosť merania dĺžok 2 mm
- Minimálny dosah $0,6\text{ m}$
- Maximálny dosah 120 m
- Skenovaných bodov za sekundu 122 tisíc až 976 tisíc
- Rozsah skenovania v horizontálnom smere 360°
- Rozsah skenovania vo vertikálnom smere 305°
- Veľkosť vzniknutých fotografií 70 megapixelov [10]

3.6.2. Iné typy skenerov

Leica ScanStation 2 - 3D laserový skener vyvíjaný firmou Leica Geosystems
Obr. 3-8. Tento prístroj spája dôležité vlastnosti totálnej stanice do jedného prístroja.

- Využíva celé zorné pole
- Presný dvojosí kompenzátor
- Geodetická presnosť bodov
- Vysoký dosah [13]

Vhodné využitie pri každodenných geodetických úlohách a topografických účeloch.[13]

Technické parametre

- Zorné pole $360^\circ \times 270^\circ$
- Dosah 300 m pri 90% odrazivosti
- Dizajn dvojitého okna
- Integrovaná kamera pre automatické pokrytie mračna bodov pravými farbami
- Rýchlosť skenovania $50\ 000\text{ b./sek.}$
- Presnosť merania dĺžok 4 mm
- Výsledná presnosť modelovaného povrchu 2 mm [13]

Výhody prístroja

- Efektívna výmena batérií
- Nízka hmotnosť
- Centrácia a horizontácia na známom bode
- Geodetické funkcie (polygónový ťah, voľné stanovisko, vytyčovanie) [13]



Obrázok 3-8 Leica ScanStation 2 [14]

Trimble TX8 - 3D laserový skener Obr. 3-9, ktorý spája rýchlosť a dosah, za účelom šetrenia stráveného času pri práci. Dáta sú získané s nižším počtom stanovísk s dostatočnou presnosťou. [15]

Využíva technológiu Lightning TM. Výhodou metódy je, že vlastnosti povrchov nemajú vplyv na skenovanie, taktiež ani atmosférické podmienky. Dokáže určiť milión bodov za sekundu s rovnakou presnosťou. Výsledkom sú nepoškodené dáta bez žiadnych šumov. Firma Trimble ponúka, k prístroju software *Trimble RealWorks* na spracovanie a vyhodnocovanie dát, ktorý je prepojený s ďalšími CAD programami. [15]



Obrázok 3-9 Trimble TX8 [15]

3.7. Vyhodnocovanie dát

Uskutočňuje sa za pomoci týchto metód samostatne, prípadne ich kombináciou.

- Aproximácia objektov matematickými primitívmi - hlavný spôsob je založený na preložení, časti alebo celého mračna presne definovanými geometrickými útvarmi, napr. úsečka rovina, guľa, atď. Prínosnou hodnotou je redukcia dát z laserového skenovania, kde body mračna sú nahradené jedným telesom, ktorý vystihuje jeho tvar. [17]
- Trojuholníkové siete - metóda je založená na rovinách vytvorených prevažne z trojuholníkov. Trojuholníková sieť vzniká generovaním, kde sa využívajú zložité algoritmy. [17]

4. Software

Software je jednou z hlavných požiadaviek na vyhodnotenie dát z laserového skenovania. Tým sa zvyšujú podmienky na operačnú pamäť a grafickú kartu. Väčšina spracovateľskej činnosti bola vykonávaná v modernom centre AdMaS, kde technické vybavenie bolo poskytnuté a postačujúce .

Kapitola sa delí na ďalšie podkapitoly. V prvej časti chcem, krátkou charakteristikou poukázať na použité programy SCENE, ReCap 36, AutoCAD. Ďalšia časť je venovaná programom, ktoré boli vyskúšané ale nespĺňali požiadavky.

4.1. Použité softwary

V súčasnej dobe každý skener má svoj vlastný software v ktorom je možné vyhodnocovať naskenované dáta. Program SCENE je dodávaný priamo so skenerom od firmy FARO. Disponuje základnými úpravami (import, registrácia, priradenie farby, atď.). Podrobnejší postup práce s týmto programom je popísaný v ďalších kapitolách.

ReCap 360 je jednou z aplikácií od firmy Autodesk, ktorý je súčasťou vybavenia novších verzií AutoCADu. Aplikácia umožňuje import a registráciu mračen bodov z laserového skenovania. Súčasťou ponuky sú rôzne farebné zobrazenia napríklad podľa výšky alebo podľa intenzity odrazu. Taktiež obsahuje funkcie ako orezávanie mračna alebo odmeranie vzdialeností na mračne. Ovládanie programu je intuitívne. Dôležitou funkciou je indexovanie mračna, čo znamená prevedenia mračna do formátov *.rcp alebo *.rcs, ktoré sa dajú prepojiť s výkresmi od AutoCadu. Tým sa zaručuje prevod dát medzi jednotlivými firmami.

AutoCAD je 2D alebo 3D editor od spoločnosti Autodesk. S výstupným formátom *.dwg, ktorý je štandardným výstupom pre CAD systémy.

4.2. Ostatné softwary

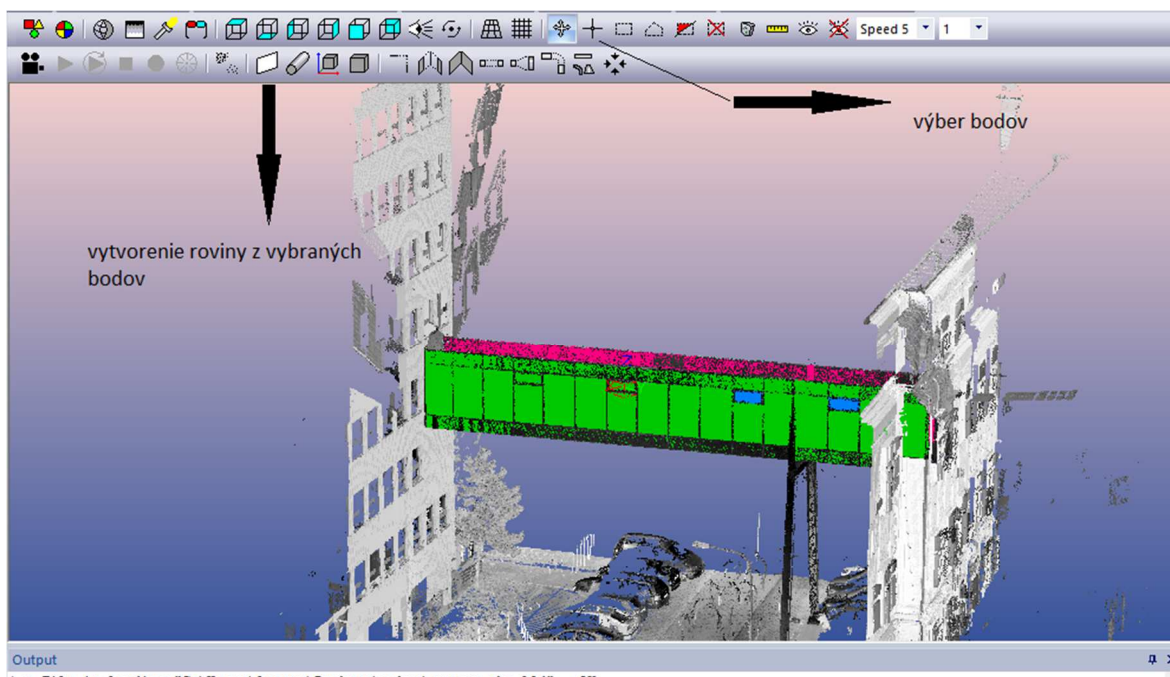
Vyskúšané boli dva softwary, ktoré využívali rôznu metódu vyhodnotenia dát. Program Luposcan, pracuje s aproximáciou matematickými útvarmi. Opačným príkladom je Pointfuse, kde mračno bodov je spracované pomocou trojuholníkovej siete.

4.2.1. Luposcan

Tento program je navrhnutý k základným úpravám surových dát. Keďže jednotlivé skeny už boli spojené v programe SCENE, využívala som iba panel nástroj pre prácu s mračnom. Najpoužívanejšími príkazmi boli *výber bodov* a *vytvorenie roviny* Obr. 4-1.

Po vybratí bodov a následnom odkliknutí na ikonu rovina (plane), sa vymodelovala daná plocha a dole v dialógovom okne bola zobrazená odchýlka. Táto hodnota, predstavovala presnosť určenia plochy a pohybovala v rozmedzí od 1mm do 5 mm.

Problém sa vyskytol, až pri modelovaní opornej konštrukcie. Plocha bola veľmi malá a nebolo jasné určiť, ktoré body sú súčasťou roviny. Preto sa nepokračovalo ďalej s týmto programom.

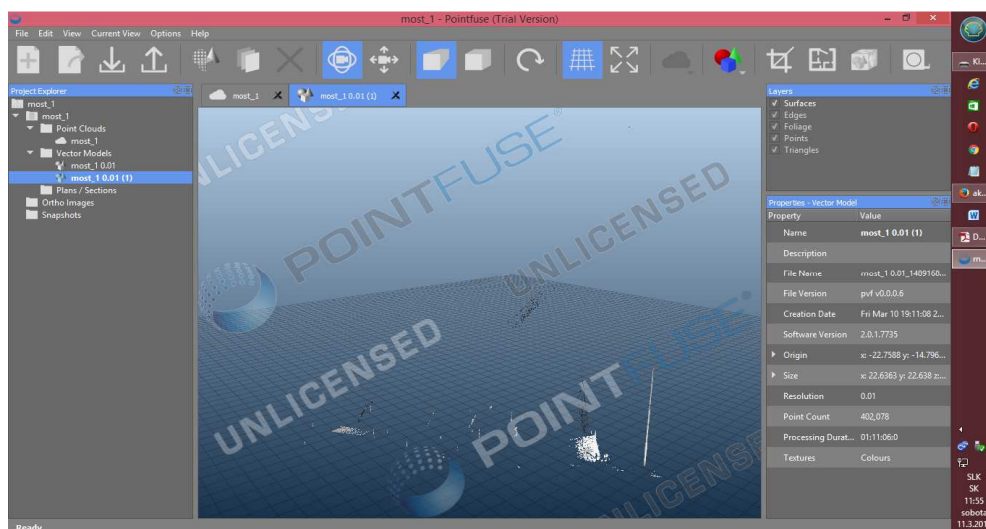


Obrázok 4-1 Pracovná plocha LupoScan s vymodelovanými stenami

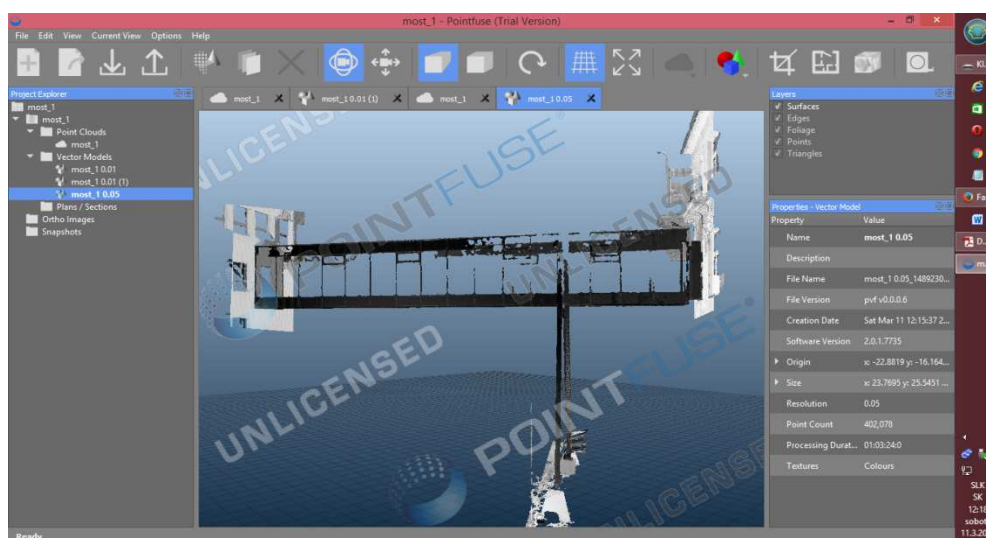
4.2.2. Pointfuse

Program ponúka prevod z mračna bodov na vektorové modely v priebehu niekoľkých minút. Vektorový model má oveľa jednoduchšie nároky na pamäť, ktorý je vhodný pre ďalšie spracovanie v CAD systémoch. [16]

Pre generovanie plôch sa nastavoval hlavný parameter a to rozlíšenie. Problém vznikol pri nastavenom rozlíšení 1 cm *Obr. 4-2*, kde program nebol schopný z dát vygenerovať plochy. Pre porovnanie bol parameter nastavený na 5 cm *Obr. 4-3*, kde program si už dokázal poradiť a vygeneroval model s plochami.



Obrázok 4-2 Nastavené rozlíšenie 1 cm



Obrázok 4-3 Nastavené rozlíšenie 5cm

Okrem týchto nastavení, boli vyskúšané aj rôzne rozlíšenia v rozmedzí od 1cm do 3 cm, ale výsledok nebol dostačujúci.

Pri procese generovania plôch, sa mal automaticky vytvoriť výkres s plochami a taktiež výkres s hranami, ktorý sa nevytvoril. To bolo ďalšou nepriaznivou okolnosťou, prečo nebol použitý tento program pri vytvorení 3D modelu.

5. Vlastné spracovanie

5.1. Rekognoskácia, voľba stanovísk a rozmiestnenie vlicovacích bodov

Tak, ako som už spomínala skenovaným predmetom je prepojovacia lávka medzi budovami R a B na ulici Rybkova.

Konštrukcia mostu je prevažne tvorená sklami a veľmi lesklým materiálom, ktoré mali nepriaznivý vplyv na skenovanie. V niektorých častiach mostu je znížená hustota bodov.

Skenovanie bolo uskutočňované zo štyroch stanovísk, dve boli v prednej časti a dve v zadnej. V okolí boli rozmiestnené vlicovacie body tak, aby na každom vzniknutom skene bolo vidieť minimálne tri. Ako vlicovacie body boli využité referenčné gule, ktoré sú súčasťou vybavenia skenera a taktiež aj statív. Rozloženie je dôležité pri spájaní skenov.

5.2. Skenovanie

Po postavení a následne urovnaní skenera pomocou dvojosého kompenzátora, bol vytvorený projekt. V projekte je potrebné vyplniť jednotlivé údaje.

5.2.1. Založenie projektu

- Meno projektu
- Nadradenosť projektu (možnosť uloženia ako hlavný projekt alebo, ako podprojekt k inému projektu)
- Zákazník
- Názov zložky pre uloženie
- Počiatočné číslo skenu
- Ďalšie informácie [12]

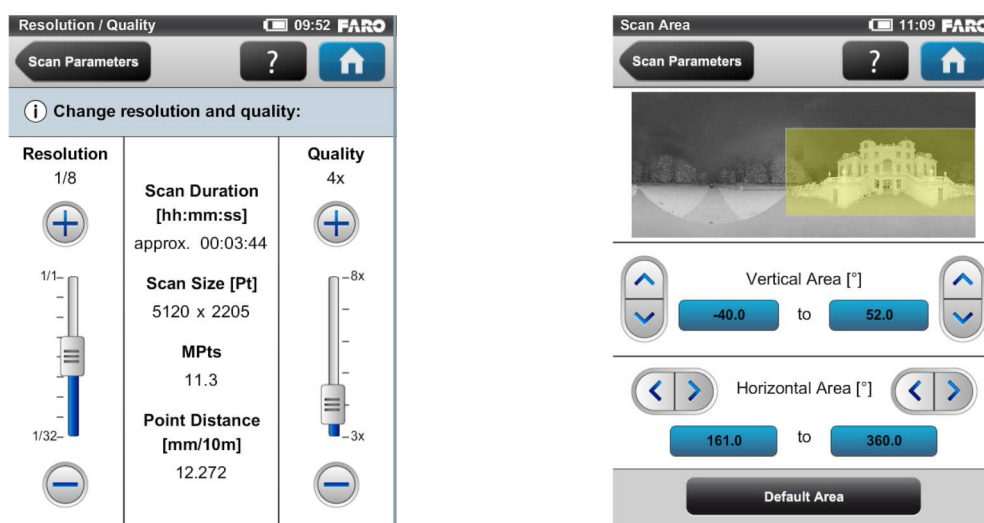
5.2.2. Vytvorenie profilu

FARO Focus 3D je dodávaný s definovanými profilmi skenovania. Tieto profily sú určené výrobcom. [12]

Samozrejme je možné vytvoriť si vlastný profil skenovania. Taktiež mnou zvolený profil bol novo založený, kde som si nastavila jednotlivé parametre skenovania.

Parametre skenovania:

- **Rozlíšenie** - možné nastavenie rozlíšenia 1/1 až 1/32. Mnou nastavené rozlíšenie bolo 1/2 , čo pri priemernej vzdialenosti 20m sú 2 susedné body od seba vzdialené 6,5 mm.
- **Kvalita** - opakovanie merania jedného bodu, čím je vyššia kvalita, tým sa zvyšuje doba a čas skenovania. V tomto prípade bola kvalita nastavená 3x pri rýchlosti 244 tisíc bodov za sekundu.
- **Vertical/Horizontal** - každom stanovisku bol výrez realizovaný tak, aby skenovaný predmet bol dostatočne zosnímaný.



Obrázok 5-1 Obrazovka pri nastavení hlavných parametrov [12]

Keďže súčasťou vybavenia skenera je integrovaná kamera, vďaka ktorej je tam možnosť nastavenia farebného skenovania.

Po nastavení všetkých dôležitých parametrov sme prešli ku samotnému skenovaniu, ktoré trvalo na každom stanovisku cca 15 min. Dáta sa automaticky ukladali na SD kartu, ktorá bola súčasťou vybavenia.

5.3. Spracovanie nameraných dát

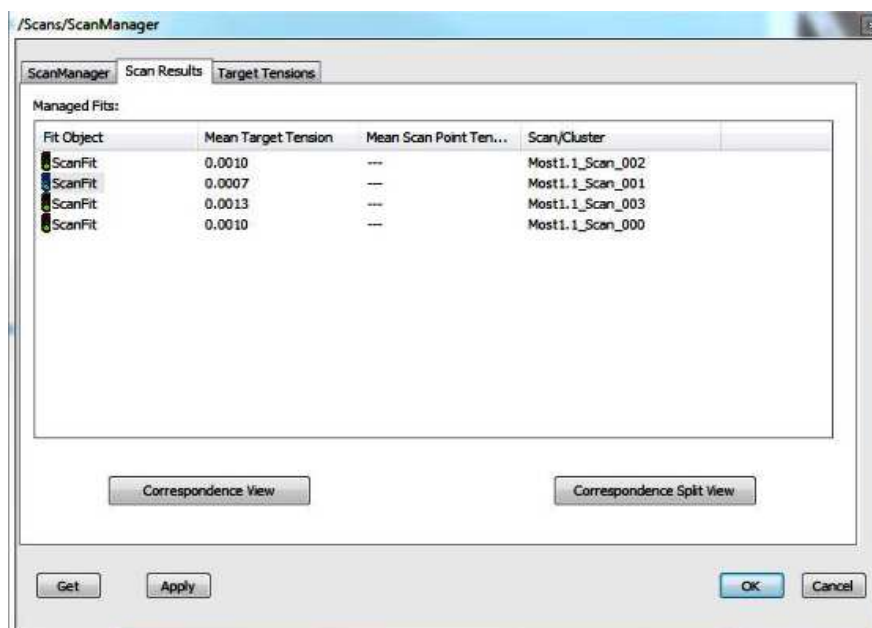
5.3.1. Spojenie do spoločného systému v programe SCENE

Pred samotným začatím, bol založený nový projekt. Do programu SCENE boli manuálne importované súbory vo formáte *.FLS, vytvorené skenerom.

Následne prebiehala registrácia jednotlivých skenov. Kde na základe štyroch referenčných gúľ, ktoré boli rozmiestnené tak, aby na každom skene bolo vidieť minimálne tri gule.

Vyhľadávanie spojovacích bodov sa dalo určiť dvoma spôsobmi *automaticky* alebo *manuálne*. V mojom prípade boli referenčné body vyhľadávané automaticky, kde boli nájdené všetky referenčné gule okrem 1 bodu, ktorý sa nepodarilo označiť. Dodatočné označenie sa vykonalo manuálnym zadáním.

Po ukončení procesu spájania skenov, bolo zobrazené okno s výsledkami. (*Scan results*) obr. 5-2. Zobrazuje celkovú kvalitu každej registrácie. Hodnoty na jednotlivých skenoch sa pohybovali v rozmedzí 0,7 mm až 1,3 mm.



Obrázok 5-2 Presnosť naviazania skenov

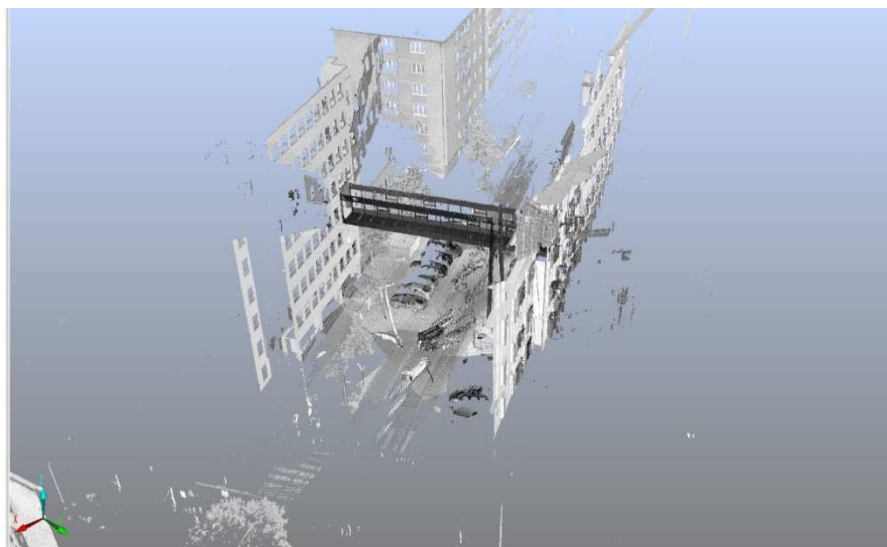
Na ďalšej karte *Target Tensions* sú uvedené číselné hodnoty, ktoré predstavujú presnosť medzi jednotlivými referenčnými guľami z kombinácie 2 skenov. Ich veľkosti môžu pomôcť pri identifikácii, ktorá dvojica referenčných guľ nemá optimálne hodnoty.

K tomu je pridaná štatistika, ktorá nám poukazuje na minimálnu hodnotu 0 mm a maximálnu hodnotu 2,9 mm. Uvedená je taktiež priemerná hodnota 1 mm, ktorá prezentuje presnosť napojenia skenov.

5.3.2. Odstránenie šumu a ofarbenie mračna bodov

Pri každom skenovanom bode sa zaznamenávajú hodnoty RGB (ak je možnosť farebného skenovania) alebo intenzita odrazu. Na základe týchto vlastností je bodu priradená skutočná farba.

Po spojení do jedného celku, bolo jednoznačne vidieť rušivé elementy, ktoré je nutné odstrániť vid'. obr. 5-3. Manuálnym označením boli vymazané a tak, ofarbené mračno bolo pripravené k exportu.



Obrázok 5-3 Pohľad v programe SCENE, spojené mračno

5.3.3. Export

Spojené mračno bodov, môžeme exportovať jednotlivo po skenoch, alebo hromadne do jedného súboru. Pri exporte sú rôzne možnosti filtrovania bodov, kde napríklad môžete vynechávať riadky a stĺpce. Prejaví sa to hlavne vo veľkosti súboru. V tomto prípade bolo mračno exportované v plnej veľkosti, kde dosiahlo veľkosť 5 GB. Bolo zvolených viacero formátov, pretože každý použitý a vyskúšaný program podporoval niečo iné. Mnou exportované súbory boli DXF, PTS, PTX, XYZ.

Podporované formáty exportu:

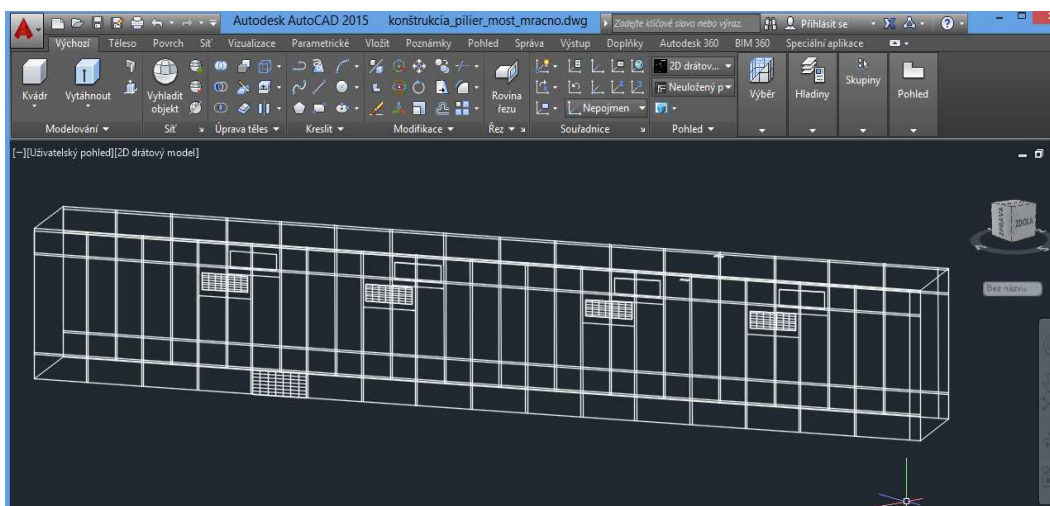
- E57 Files (*.e57)
- VRLM Files (*.wrl)
- DXF Files (*.dxf)
- XYZ Ascii Files (*.xyz)
- XYZ Binary Files (*.xyb)
- IGES Files (*.igs)
- PTS Files (*.pts)
- PTX Files (*.ptx)
- Pointools POD (*.pod)
- SCENE Scan file (*.fls)

5.4. Tvorba 3D modelu

Výsledný model vznikol v prostredí programu AutoCAD. Samotný software má možnosť 2D alebo 3D režimu. Mnou zvolený režim bol 3D, ktorý má technické príslušenstvo prispôbené na modelovanie. Nachádzajú sa tam rôzne panely nástrojov, ktoré jednoznačne uľahčujú prácu.

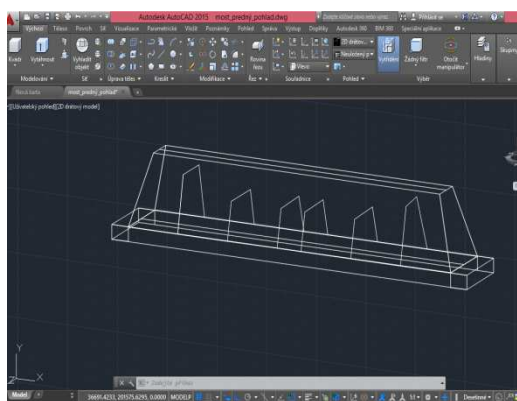
Hodnoty vzdialeností, ktoré sa použili pri vytváraní jednotlivých častí modelu boli vypočítané, alebo odmerané z mračna bodov.

Primárne bol nakreslený predný pohľad pomocou príkazu *Úsečka*, kde boli vkladané sieťové povrchy, aby bolo možné priradiť odpovedajúci materiál. Protiľahlá strana bola odzrkadlená o vzdialenosť šírky mosta. Všetko bolo kreslené v rovine, aby nevznikali problémy pri tvorbe plôch obr. 5-3.

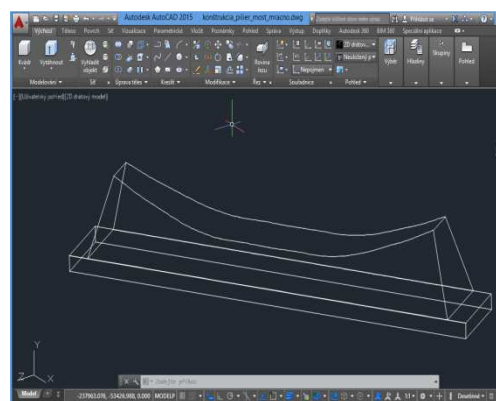


Obrázok 5-4 Tvorba konštrukcie v prostredí AutoCAD, drôtové zobrazenie

Betónový pilier sa skladá z dvoch častí. Spodná časť má jednoduchý tvar kvádra, kde nato máme určený príkaz *Kváder*. Druhá časť bola vytvorená pomocou nástoja *Šablonovanie*. Nutnou podmienkou pre realizáciu tohto príkazu sú prierezy obr. 5-5. Označením všetkých prierezov vznikne teleso, ktoré kopíruje tvar zadaných profilov.



Obrázok 5-5 Pohľad na bet. pilier s profilmi



Obrázok 5-6 Pohľad na hotový bet. pilier

Rovnakým spôsobom vznikala aj oporná konštrukcia. Boli zvolené profily v rôznych častiach objektu a príkazom *Šablonovanie*, bola vytiahnutá nosná časť mostu. Na prvý pohľad je viditeľné, že konštrukcia nemá všade rovnaký priemer. V spodnej časti väčší a smerom nahor sa znižuje.

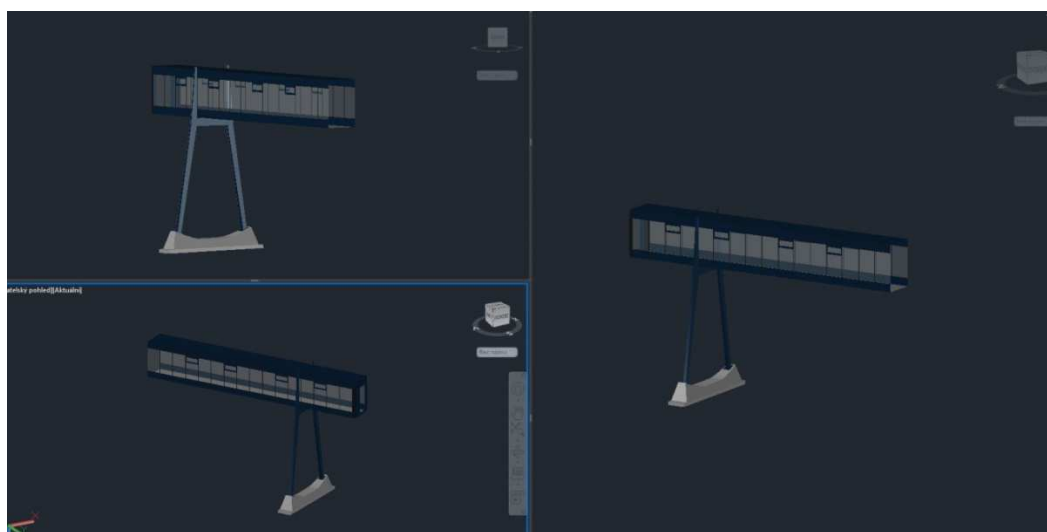
Niektoré detaily neboli vymodelované, pretože sa nedala jednoznačne určiť geometria. K týmto nedostatkom patrí aj napojenie na budovu, kde v modeli nie je určená jeho celková dĺžka ale iba časť. V tomto vidím nevýhodu spôsobu spracovania, ktorým som postupovala.

Na záver boli priradené materiály vytvoreným častiach mosta *Obr.5-7*. AutoCAD má široký výber, snaha bola vytvoriť čo najrealistickejší dojem.

Pre realistickú vizualizáciu bolo využité ofarbené mračno bodov, kde body mostu boli vymazané a následne bol vložený, mnou vytvorený model vid'. príloha č. 2.1 a príloha č. 2.2. Ako doplnkovú prílohu č. 2.5 som uviedla technickú dokumentáciu, kde sú okótované základné rozmery mosta.

Úprava mračna prebiehala v programe ReCap 360, kde bola výrezom odstránená nepotrebná časť a taktiež sa uskutočnilo indexovanie, kde bol vytvorený formát *.rcp, ktorý sa dá referenčne pripojiť k výkresu.

Výsledkom je výkres vo formáte .dwg vid'. príloha č. 3.1, k tejto prílohe je potrebné pre zobrazenie mračna pripojiť aj spomínaný súbor *.rcp, ktorý je taktiež v zozname príloh pod č. 3.2.



Obrázok 5-7 Priradenie materiálov, realistický pohľad

6. Kontrola presnosti

Súčasťou práce je posúdenie presnosti na kontrolných bodoch. Zisťovanie bolo vykonané druhým určením pomocou priestorového pretínania Táto metóda bola doporučená zadávateľom bakalárskej práce doc. Ing. Vlastimilom Hanzlom, CSc.

6.1. Postup práce

Pomôcky

- Totálna stanica Topcon GPT 3003N

Presnosť merania dĺžky na odrazný hranol 3+2ppm, bezhranolvý mód ± 10 mm. Uhlová presnosť je $10''$.

- 3x trojpodstavcova súprava
- Dvojmeter
- 4x statív

Boli zvolené štyri stanoviská, ktoré boli dočasne stabilizované statívmi a v dostatočnej vzdialenosti od objektu merania. Pred samotným začatím práce boli určené v prístroji atmosférické podmienky a konštanta hranola – 30 mm.

Meračská sieť bola zvolená v miestnom súradnicovom systéme, kde na jej určenie bola na každom stanovisku vytočená osnova smerov na ostatné hranoly a zmeraná šikmá dĺžka. Meranie prebiehalo v dvoch polohách ďalekohľadu a dĺžky boli merané obojsmerne.

Podrobný bod bol určený metódou pretínania z uhlov. Hodnoty horizontálneho uhlu boli získané dvoch polohách ďalekohľadu z každého bodu základne, a taktiež bola zmeraná šikmá dĺžka obojsmerne, medzi bodmi základne.

Pre určenie výškovej úrovne bodu siete a podrobných bodov, sme využili trigonometrickú metódu. Na každom stanovisku bolo potrebné zaznamenávať výšky prístrojov a zenitový uhol v dvoch polohách ďalekohľadu.

Merané boli jednoznačne identifikovateľné body. V tomto prípade, boli volené rohy okien a styky kontrolných spojov. Všetky dáta boli registrované prístrojom.

6.2. Výpočtová časť

Namerané dáta boli spracované pomocou *GROMA v.08*, kde sa využili klasické geodetické výpočty a vyrovnanie sa aplikovalo v programe *G-Net*.

Spracovanie zápisníka, to znamená redukcia druhých polôh a obojsmerne merané dĺžky boli realizované v *Grome v.08* vid'. príloha č. 1.2. Ďalším krokom bolo spočítanie siete vid'. príloha č. 1.3, kde boli určené približné súradnice, ktoré sú uvedené v *tab. 6-1*. Meračská sieť bola vyrovnaná ako voľná, bez žiadneho pevného bodu. Pri vyrovnaní sa použila metóda najmenších štvorcov. Vyrovnané súradnice sú uvedené v *tab. 6-1*. Protokol o polohovom a výškovom vyrovnaní sa nachádza v prílohe č. 1.4 a č. 1.5. V závere sa vypočítali podrobné body vid'. príloha č. 1.6.

Tabuľka 6-1 Súradnice stanovísk meračskej siete

Súradnice meračskej siete						
	Pred vyrovnaním			Po vyrovnaní		
	Y	X	Z	Y'	X'	Z'
4001	100.000	100.000	150.000	100.002	100.000	150.000
4002	106.856	113.852	150.035	106.856	113.852	150.035
4003	183.899	100.000	151.123	183.895	100.000	151.124
4004	184.943	113.476	151.066	184.944	113.475	151.066

6.3. Porovnanie metód

V závere kapitoly sú porovnávané 2 metódy. Modernejšia technológia pozemného laserového skenovania s klasickou geodetickou metódou.

Súradnice bodov z laserového skenovania som získala v programe SCENE. Software ponúka možnosť výberu a označenia bodu s danými priestorovými súradnicami.

Niektoré body sa nepodarilo určiť, z dôvodu nízkej alebo žiadnej hustoty bodov. V niektorých častiach mostu dochádzalo k týmto problémom. Príčinou je zlá odrazivosť objektu kvôli povrchu materiálu a postavenie skenera.

Keďže body boli získané v rôznych lokálnych systémoch, bola zvolená podobnostná transformácia. Transformačný kľúč je uvedený v prílohe č. 1.7.

Nasledoval výpočet súradnicových rozdielov a smerodajnej odchýlky podľa vzorca 6.2. Záverečné výsledky porovnávania metód sú uvedené v prehľadnej tabuľke v prílohe č. 1.10.

- Výpočet aritmetického priemeru

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad z = \frac{\sum_{i=1}^n z_i}{n} \quad (6-1)$$

- Výpočet smerodajnej odchýlky σ

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x - x_i)^2} \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y - y_i)^2} \quad \sigma_z = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (z - z_i)^2} \quad (6-2)$$

n - počet hodnôt súboru

x, y, z - aritmetický priemer

x_i, y_i, z_i - hodnoty súradnicových rozdielov v súbore

Kontrolným zameraním bolo určených 58 bodov. Z programu SCENE bolo vybratých 53, čiže nepodarilo sa určiť 5 bodov. Ďalšia separácia bodov nastala po vypočítaní súradnicových rozdielov, kde boli zistené vysoké odchýlky pri niektorých bodoch. Tieto body boli následne vylúčené zo súboru. Zoznamy súradníc sú uvedené v prílohách č. 1.8 a č 1.9. Krátka štatistika, ktorá informuje o stave súboru je zostavená v *tab. 6-2*.

Tabuľka 6-2

	body z kontrolného merania	body mračna
určené body	58	53
vylúčené body	Nepodarilo sa určiť	Pre vysoké odchýlky
	3, 25, 102, 111, 123	2, 17, 18, 22, 101

Výslednú presnosť charakterizuje smerodajná odchýlka, ktorá dosahovala hodnoty v jednotlivých súradnicových osiach.

$$\sigma_x = 12 \text{ mm} \quad \sigma_y = 12 \text{ mm} \quad \sigma_z = 19 \text{ mm}$$

Pre grafické znázornenie diferencií bol použitý histogram. Vyjadruje početnosť súradnicových rozdielov, ktoré sa nachádzajú v jednotlivých intervaloch vid'. príloha č. 1.11.

7. ZÁVER

Cieľom bakalárskej práce bola dokumentácia mostnej konštrukcie. Jedná sa o spojovací most medzi budovami R a B, ktoré sú súčasťou stavebnej fakulty Vysokého učení technického v Brne. Na dokumentáciu bola využitá metóda pozemného laserového skenovania. Výstupom bakalárskej práce má byť 3D model a overenie presnosti na kontrolných bodoch.

Zber dát sa vykonal za pomoci prístroja Faro Focus 3D. Výsledkom boli štyri mračná bodov. Prvotné úpravy meraného súboru prebiehali v programe SCENE. Vytvorené skeny boli spojené do spoločného systému. Presnosť naviazania jednotlivých skenov, bola stanovená priemernou hodnotou 1 mm. Výstupom bolo spojené a ofarbené mračno, kde boli odstránené rušivé prvky.

Následne bolo vyskúšaných niekoľko softwarov, ktoré sú priamo určené na prácu s takýmto typom dát. Testovanie dopadlo neúspešne, ani jeden z použitých softwarov nevedol, aspoň k čiastočným úpravám mračna a priblíženie sa k výslednému modelu. Preto bol zvolený postup vyhotovenia mostnej konštrukcie v prostredí programu AutoCAD. Vykreslené boli základné časti, ktorým sa priradil materiál alebo príslušná farba odpovedajúca realite. V závere sa použilo ofarbené mračno pre realistickú vizualizáciu.

Ďalším zadaným výstupom je overenie presnosti modelu na kontrolných bodoch. Porovnávané boli súradnice bodov mračna a body z kontrolného merania. Súbor obsahoval 58 bodov, ale 10 bodov muselo byť vylúčených z dôvodu veľkých odchýlok alebo nebolo možné ich identifikovať v programe SCENE. Zo 48 súradnicových rozdielov bola vypočítaná stredná výberová chyba, ktorá dosahovala hodnoty v súradnicových osiach $\sigma_x=12$ mm $\sigma_y=12$ mm $\sigma_z=19$ mm. Táto charakteristika predstavovala výslednú presnosť modelu.

8. Zoznam použitých zdrojov

- [1] *VZNIK A HISTORICKÝ VÝVOJ FAKULTY STAVEBNÍ VUT V BRNĚ* [online]. Brno, 2014 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/obecne/historie/historie_fast.asp
- [2] *FAST VUT. SOUČASNOST FAKULTY STAVEBNÍ VUT V BRNĚ* [online]. Brno, 2014 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/obecne/historie/soucasnost_fast.asp
- [3] In: *Plan fakulty* [online]. Brno [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/images/plan_fakulty.png
- [4] In: *VUT - SO 16 Spojovací mustek B+R* [online]. Brno [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <https://www.okf.cz/cs/projekty/vut-so-16-spojovaci-mustek-br.html4>
- [5] Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí. Slovník VÚGTK. *VÚGTK* [online]. 2005-2017 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: http://www.vugtk.cz/slovník/termin.php?jazykova_verze=&tid=5529&l=laserove-skenovani
- [6] *Aplikace laserového skenování* [online]. 2005- 2017 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.quantum3d.cz/website/mainmenu/aplikace-laseroveho-mapovani/>
- [7] ENDLICHEROVÁ, Lucie. *Pozemní laserové skenování*. Brno, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.
- [8] SABO, Stanislav. *TVORBA 3D MODELU BUDOVY S VYUŽITÍM LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ*. BRNO, 2016. DIPLOMOVÁ PRÁCE. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. PETR KALVODA, Ph.D.
- [9] TENCER, Tomáš. *LiDAR – Pořizování 3D dat* [online]. 2012, s.13 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1421/podzim2012/AEA_73/Tencer_-_LiDAR_-_Porizovani_3D_dat.pdf
- [10] *Teorie laserového skenování*. [online]. 2005-2017 [cit. 2017-05 08]. Dostupné z: <http://www.quantum3d.cz/website/mainmenu/aplikace-laseroveho-mapovani/>
- [11] BLIŠŤAN, Peter a Ľudovít KOVANIČ. *MONITOROVANÍ A STABILITY LOMOV VYUŽITÍM LASEROVÉHO SKENOVANIA* [online]. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: http://www.caag.cz/egrse/2014-1/03_blistan.pdf
- [12] *FARO® LASER SCANNER FOCUS 3D* [online]. ©FARO Technologies, 2011 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: https://doarch332.files.wordpress.com/2013/11/e866_faro_laser_scanner_focus3d_manual_en.pdf
- [13] *Leica ScanStation 2* [online]. Leica Geosystems [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: http://www.geotech.sk/downloads/Laserove-skenery-HDS/Leica-ScanStation-2_brochure-SK.pdf
- [14] In: *Leica Station 2* [online]. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: http://www.geotech.sk/OLD/teo4_ScanStation+.jpg

[15] *Trimble TX8* [online]. Geotronics Praha, 2016 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://geotronics.cz/geodezie/3d-laserove-skenovani/trimble-tx8/>

[16] *POINTFUSE* [online]. Arithmetica, 2017 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://pointfuse.com/>

[17] SMÍTKA, Václav. *Přesnost 3D skenovacích technologií v geodézii a možnosti jejího zvyšování*. Praha, 2013. Disertační práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE.

9. Zoznam použitých skratiek

CAD	Computer aided design
VUT	Vysoké učení technické
LiDAR	Light Detection And Ranging
AdMaS	Advanced Materials, Structures and Technologies

10. Zoznam obrázkov a tabuliek

Zoznam obrázkov

Obrázok 2-1 Náčrt areálu VUT so zákresom skenovaného objektu [3]	10
Obrázok 2-2 Prepojovací most počas výstavby [4]	11
Obrázok 3-1 Ofarbené mračno bodov v programe SCENE	11
Obrázok 3-2 Pribeh vysielaného a prijímaného lúča pre určenie vzdialeností [10].....	12
Obrázok 3-3 Polárna priestorová metóda [8]	12
Obrázok 3-4 Príklady vlicovacích, spojovacích bodov [7]	13
Obrázok 3-5 Porovnanie laserového skenovania (vpravo) s geodetickým zameraním (vľavo) [6].....	14
Obrázok 3-6 Pozemný skener FARO Focus 3D [12]	15
Obrázok 3-7 Vertikálna a horizontálna rotácia [12]	15
Obrázok 3-8 Leica ScanStation 2 [14].....	17
Obrázok 3-9 Trimble TX8 [15].....	17
Obrázok 4-1 Pracovná plocha LupoScan s vymodelovanými stenami	19
Obrázok 4-2 Nastavené rozlíšenie 1 cm	20
Obrázok 4-3 Nastavené rozlíšenie 5cm	20
Obrázok 5-1 Obrazovka pri nastavení hlavných parametrov [12].....	22
Obrázok 5-2 Presnosť naviazania skenov	23
Obrázok 5-3 Pohľad v programe SCENE, spojené mračno	24
Obrázok 5-4 Tvorba konštrukcie v prostredí AutoCAD, drôtové zobrazenie.....	25
Obrázok 5-5 Pohľad na bet. pilier s profilmi	25
Obrázok 5-6 Pohľad na hotový bet. pilier.....	25
Obrázok 5-7 Priradenie materiálov, realistický pohľad	26

Zoznam tabuliek

Tabuľka 6-1 Súradnice stanovísk meračskej siete.....	28
Tabuľka 6-2.....	29

11.Zoznam príloh

1. Kontrola presnosti:

- 1.1 Zápisník merania (elektronicky)
- 1.2 Protokol o spracovaní zápisníka (elektronicky)
- 1.3 Protokol o výpočte siete (elektronicky)
- 1.4 Protokol o polohovou vyrovnání siete (elektronicky)
- 1.5 Protokol o výškovou vyrovnání siete (elektronicky)
- 1.6 Protokol o výpočte podrobných bodov (elektronicky)
- 1.7 Transformačný kľúč (elektronicky)
- 1.8. Zoznam súradníc bodov určené v programe SCENE (elektronicky)
- 1.9 Zoznam súradníc bodov určených kontrolným zameraním (elektronicky)
- 1.10 Tabuľka výpočtu súradnicových rozdielov
- 1.11 Histogrami súradnicových rozdielov pre jednotlivé osi

2. Grafické znázornenie:

- 2.1 Pohľad 1
- 2.2 Pohľad 2
- 2.3 Pohľad 3
- 2.4 Pohľad 4
- 2.5 Technická dokumentácia

3. 3D model

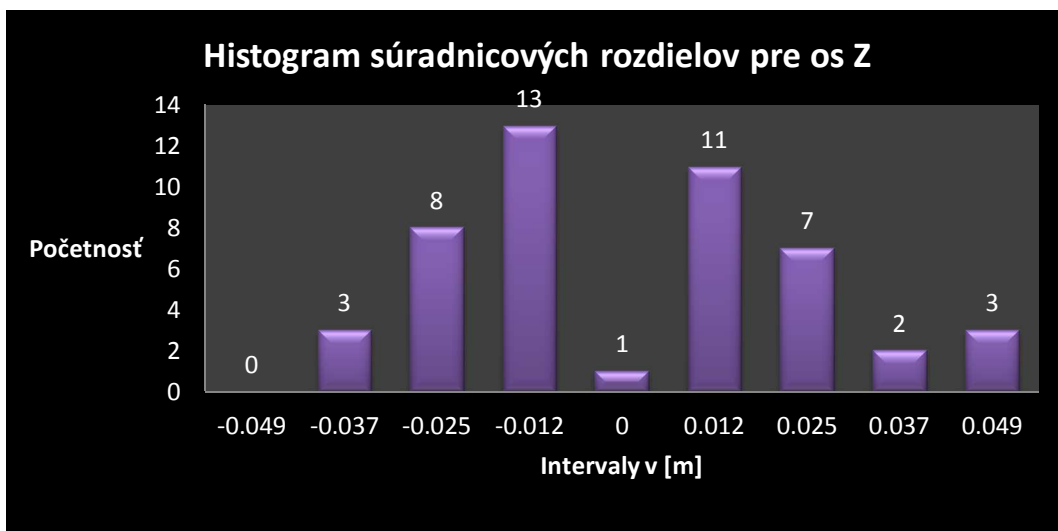
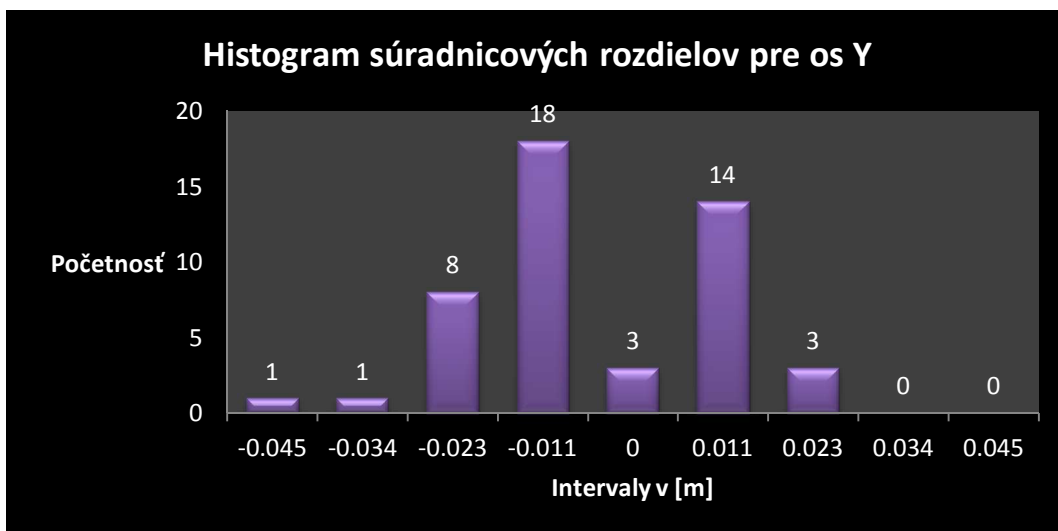
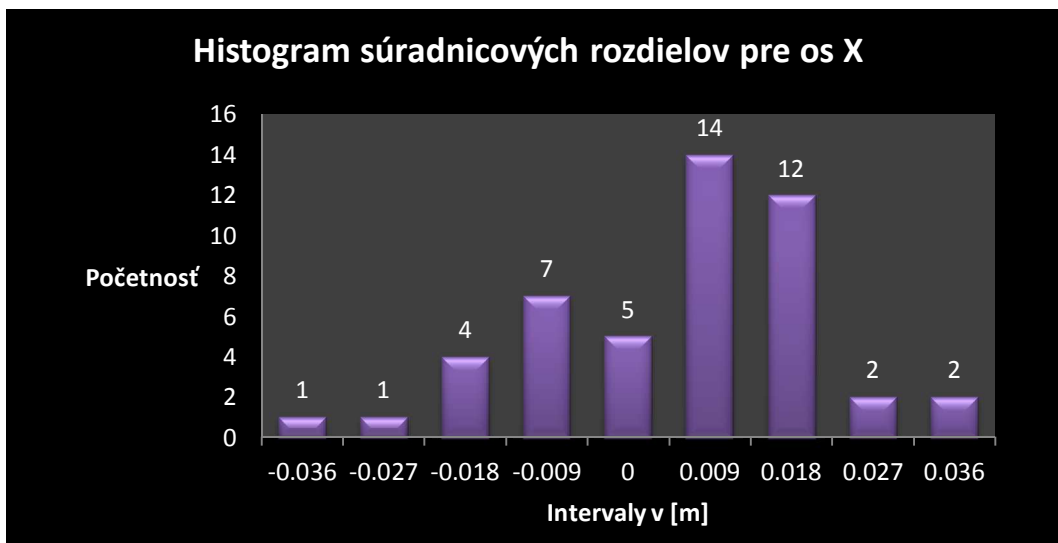
- 3.1 model.dwg (elektronicky)
- 3.2 mračno.rcp (elektronicky)

Príloha č. 1.10 Tabuľka výpočtu súradnicových rozdielov

č.b	$\Delta X[m]$	$\Delta Y[m]$	$\Delta Z[m]$
1	-0.004	-0.045	-0.019
4	0.008	-0.013	-0.006
6	-0.011	-0.032	-0.019
7	0.009	-0.009	-0.001
8	0.002	-0.008	0.000
9	0.010	-0.002	-0.009
10	-0.006	-0.003	-0.010
11	0.001	0.001	-0.021
12	0.000	-0.001	-0.010
14	-0.004	-0.004	-0.005
15	0.011	-0.002	-0.009
16	0.011	-0.004	-0.001
19	0.006	-0.020	-0.009
20	0.004	0.002	0.003
21	0.000	-0.012	-0.024
23	0.004	0.000	-0.031
24	-0.009	-0.004	-0.021
26	-0.011	0.005	-0.018
27	-0.017	0.006	-0.013
28	-0.034	-0.014	0.044
29	-0.012	0.018	0.013
30	-0.020	-0.003	0.012
32	0.000	0.007	-0.003
33	0.000	0.011	-0.009
34	0.005	0.018	0.026
103	0.006	0.000	0.008
104	0.005	-0.003	0.010
105	0.013	0.003	0.002
106	0.035	-0.006	-0.034
107	0.004	-0.005	0.002
108	0.018	0.002	-0.001
110	-0.003	0.004	-0.005
112	0.019	0.019	-0.013
113	0.016	-0.003	0.005
114	0.012	0.003	-0.016
115	0.011	-0.002	0.007
116	0.005	-0.006	0.029
117	0.004	-0.010	0.014
118	0.010	-0.018	0.022
119	0.000	0.001	0.049
120	0.013	-0.019	0.014

č.b	$\Delta X[m]$	$\Delta Y[m]$	$\Delta Z[m]$
121	0.011	-0.018	0.006
124	-0.002	-0.021	0.011
125	-0.008	0.000	0.024
126	0.002	-0.009	0.016
127	0.011	0.001	0.013
128	0.025	0.002	0.043
129	0.030	0.006	-0.030
Σ	0.018	-0.018	0.036
Aritmetický priemer [m]	0.004	-0.004	0.001
Smerodajná odchýlka [m]	0.012	0.012	0.019

Príloha č. 1.11 Histogramami súradnicových rozdielov pre jednotlivé osi



2. Grafické znázornenie mosta

Príloha č. 2.1- Pohľad č.1



Príloha č. 2.2- Pohľad č.2



Príloha č. 2.3- Pohľad č.3



Príloha č. 2.4- Pohľad č.4



Príloha č. 2.5 Technická dokumentácia

