



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

VYUŽITÍ LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ PRO 3D MODELOVÁNÍ

EVALUATION OF LASER SCANNING FOR 3D MODELLING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Veronika Oboňová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ VOLAŘÍK

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646R003 Geodézie a kartografie (N)
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Veronika Oboňová
Název	Využití laserového skenování pro 3D modelování
Vedoucí práce	Ing. Tomáš Volařík
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

Borový, Ján. Klasifikace mračen bodů z leteckého a mobilního skenování. Brno, 2016. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Tomáš Volařík.
NOVÁČKOVÁ, Soňa. Testování přesnosti mobilního mapovacího systému MOMAS. Brno, 2011. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.
Odborné články v národních i zahraničních časopisech

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem práce je využití technologie laserového skenování pro tvorbu 3D modelů. Proveďte rešerši současného stavu. Zvažte využití softwaru AutoCAD a 3ds Max. Výstupem práce bude digitální 3D model vhodného objektu a možným výstupem i fyzický model z 3D tiskárny.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ 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).

Ing. Tomáš Volařík
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Cieľom diplomovej práce je pomocou technológie laserového skenovania vytvoriť 3D model daného objektu. Následná úprava modelu a jeho samotná príprava pre možnú 3D tlač bude prevedená prostredníctvom vhodných programov. Ďalší 3D model totožného objektu bude vyhotovený na základe vytvorených fotografií a rovnakým spôsobom upravený a pripravený pre prípadnú 3D tlač.

KLÍČOVÁ SLOVA

laserové skenovanie, mračno bodov, 3D model, 3D tlač,

ABSTRACT

The aim of the diploma thesis is to create a 3D model of the given object using laser scanning technology. Subsequent adjustments of the model and its separate preparation for possible 3D printing will be done through appropriate programs. The next 3D model of the identical object will be made based on the created photos and will be edited and prepared in the same way for possible 3D printing.

KEYWORDS

laser scanning, point cloud, 3D model, 3D print

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Veronika Oboňová *Využití laserového skenování pro 3D modelování*. Brno, 2017. 67 s., 0 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Tomáš Volařík

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2017

Bc. Veronika Oboňová
autor práce

Pod'akovanie :

Chcela by som predovšetkým poďakovať vedúcemu diplomovej práce, Ing. Tomášovi Volaříkovi, za ochotu, rady a pripomienky pri spracovaní tejto práce. Ďalej umeleckému sochárovi, pánovi Jaromírovi Gargulákovi, za poskytnutie busty Leoša Janáčka. A v neposlednom rade aj rodičom, za ich podporu počas celého štúdia na vysokej škole.

V Brne dňa 26.5.2017

Obsah

1	Úvod	10
2	Laserové skenovanie	11
2.1	Princíp zberu dát	12
2.1.1	Princíp určovania súradníc.....	12
2.1.1.1	Priestorová polárna metóda	12
2.1.1.2	Priestorové pretínanie vpred	12
2.1.2	Princíp určenia vzdialenosti.....	13
2.1.2.1	Elektronické určovanie dĺžky	13
2.1.2.2	Optoelektronické určovania dĺžky	15
2.1.3	Rozmetanie zväzku lúčov	15
2.2	Referenčné body	17
2.2.1	Sféry.....	17
2.2.2	Terče	18
2.3	Rozdelenie skenovacích prístrojov	19
2.3.1	Statické skenery	19
2.3.2	Kinematické skenery.....	20
2.4	Porovnanie rôznych metód s metódou laserového skenovania	21
2.5	Využitie laserového skenovania	22
3	FARO Focus 3D s 120.....	23
3.1	Podrobnosti prístroja.....	23
3.2	Nastavenia skeneru	25
3.2.1	Výber profilu skenovania.....	26
3.2.2	Nastavenie rozlíšenia a kvality	27
3.2.3	Nastavenie rozsahu skenovania	29
3.2.4	Nastavenie senzorov	29
3.2.4.1	Snímače teploty.....	29
3.2.4.2	Úchylkomer	30
3.2.4.3	Kompas	31
3.2.4.4	Výškomer.....	31
3.3	Technické parametre.....	32
4	Canon EOS 60D	34

5	3D Tlač	36
5.1	História 3D tlače	36
5.2	Technológie 3D tlače	36
5.3	Materiály technológie FDM.....	37
5.4	Využitie 3D tlače	38
6	Meračské práce	41
6.1	Priebeh laserového skenovania.....	42
6.2	Priebeh fotografovania.....	43
7	Spracovateľské práce	45
7.1	Registrácia mračien bodov a ich úprava	45
7.1.1	Založenie projektu a import bodov	45
7.1.2	Načítanie skenov do operačnej pamäte.....	45
7.1.3	Možnosti zobrazenia mračna bodov	46
7.1.4	Registrácia mračien bodov.....	46
7.1.4.1	Automatická identifikácia.....	46
7.1.4.2	Manuálna identifikácia	46
7.1.5	Úprava mračien bodov	50
7.1.5.1	Filtrácia mračien bodov	50
7.1.5.2	Orezanie mračien bodov	50
7.1.5.3	Ofarbenie mračien bodov.....	50
7.1.6	Export mračna bodov	51
7.2	Vytvorenie 3D modelu na základe fotografií	51
7.3	Vytváranie a úprava trojuholníkových sietí.....	52
7.4	Porovnanie výsledných modelov	55
7.5	Zváženie využitia ďalších programov	58
7.5.1	Autodesk 3ds Max	58
7.5.2	AutoCAD	58
7.6	Nastavenia 3D tlačiarne	58
8	Záver	60
	Zoznam použitej literatúry	62
	Zoznam obrázkov	64
	Zoznam tabuliek	66

Zoznam príloh	67
----------------------------	-----------

1 ÚVOD

Laserové skenovanie je pomerne nová a progresívna metóda zberu dát. Jej popularita spočíva najmä v rýchlosti získavania veľkého množstva dát bezkontaktným spôsobom. Na rozdiel od klasických geodetických metód, kde sú merané vybrané body, pri metóde laserového skenovania sú zaznamenávané milióny bodov, nazývané mračná bodov.

Laserové skenovanie umožňuje získavať podrobné priestorové informácie o objektoch. Táto metóda má široké využitie v rôznych odvetviach. Je možné ju použiť napríklad na meranie posunov či deformácií, pri vyhotovovaní dokumentácie historických objektov, zameranie fasád, vyhotovovaní 3D modelov. Svoje podstatné miesto má táto metóda aj v strojárstve, kde je používaná napríklad pri vyhotovovaní náhradných dielov, pri ktorých už neexistuje technická dokumentácia (pri reverznom výrobnom procese), pri určovaní miery opotrebovania súčiastok, atď. Ďalej sa uplatnila v medicíne, archeológii a mnohých iných odvetviach.

Možnou nevýhodou je veľké množstvo získaných dát, ktoré je následne potrebné spracovať. Z tohto dôvodu vzrastajú finančné náklady, nároky na technické vybavenie a sú potrebné špeciálne softvéry.

Táto práca bude zameraná na princíp a spôsob využitia laserového skenovania pre vytvorenie 3D modelu zadaného objektu. Najskôr bude objasnený princíp tejto metódy a špecifikácia použitého prístroja. V druhej časti práce budú opísané jednotlivé postupy pri získavaní dát ako aj ich následné spracovanie. Taktiež budú priblížené postupy prác vykonané v jednotlivých programoch, ktoré budú zhodnotené ako vyhovujúce. Výsledkom práce bude model objektu, ktorý bude spĺňať požiadavky pre 3D tlač.

Pre porovnanie, bude uskutočnená aj dokumentácia objektu pomocou fotografií. Bude zvážený najvhodnejší postup práce a vybraný vhodný software pre konverziu vyhotovených fotografií na 3D objekt. Tento prvotný model objektu bude ďalej upravený rovnakými postupmi ako aj predchádzajúci model z laserového skenovania. Aj tento model bude opäť pripravený pre prípadnú 3D tlač. Výsledné 3D modely vytvorené na základe oboch metód, budú vzájomne porovnané a budú určené presnosti s akými daný objekt vystihujú.

2 LASEROVÉ SKENOVANIE

Laserové skenovanie je technológia umožňujúca bezkontaktné určovanie priestorových súradníc, 3D modelovania a vizualizácie zložitých stavieb, interiérov, podzemných priestorov, terénu, historických, archeologických, pamiatkových a iných objektov. Táto metóda sa vyznačuje mimoriadnou rýchlosťou, presnosťou, komplexnosťou a bezpečnosťou pri zbere dát. Nasnímaný objekt je ďalej pomocou softwaru zobrazený vo forme mračien bodov (point clouds), na základe ktorých môže byť vytvorený model objektu, ktorý sa dá preniesť do CAD systémov. [1]

Medzi výhody tejto technológie patrí [1] :

- presné zameranie stávajúceho stavu,
- významné skrátenie práce v teréne pri podstatne vyššej bezpečnosti,
- meranie môže prebiehať za plnej prevádzky, prípadne s výrazne kratšou dĺžkou odstavky náročných prevádzok,
- rýchle spracovanie digitálnych modelov terénu,
- spracovanie komplexných modelov zložitých objektov.

Súčasnú geodetickú technológiu alebo aj väčšina fotogrametrických postupov využíva pre určenie podrobných priestorových bodov výber vyhodnocovateľa. Vybraných bodov je obmedzené množstvo a musia dostatočne charakterizovať daný objekt. Koncom minulého storočia sa začalo presadzovať hromadné automatické určovanie priestorových bodov, teda 3D skenovanie. Pri použití tohto spôsobu zberu dát sú na objekte merané podrobné body v pravidelnom raste, ktoré pokrývajú celý meraný objekt. [3]

Väčšina skenovacích systémov pre meranie dĺžok využíva pulznú laserovú technológiu a polohu určuje priestorovou polárnou metódou. Zber dát nie je obmedzený veľkosťou ani tvarom objektu. Táto technológia je v princípe jednoduchá a jej výsledky je možné používať pre mnoho aplikácií. [1]

2.1 Princíp zberu dát

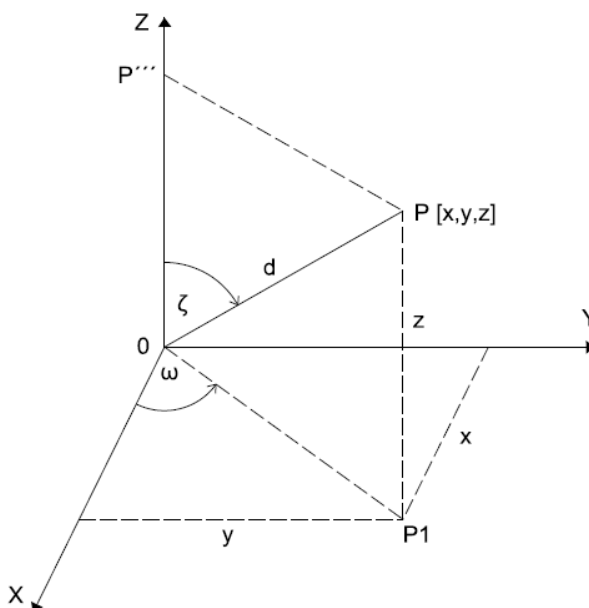
V nasledujúcich podkapitolách budú objasnené jednotlivé princípy zberu dát a taktiež na nich založené určovanie súradníc 3D mračien bodov.

2.1.1 Princíp určovania súradníc

Terestrické skenovacie systémy pracujú na princípe priestorovej polárnej metódy alebo na princípe priestorového pretínania vpred zo základne. [2]

2.1.1.1 Priestorová polárna metóda

Súradnice sú určené z meranej šikmej dĺžky impulzným diaľkomerom d , a uhlov ζ a ω (Obr. 1), ktoré sú získavané z polohy zrkadiel rozmetávajúcich laserový zväzok lúčov. Všetky tieto hodnoty sú získavané skenerom synchronizovane. Táto metóda je základným princípom činnosti skeneru. [2]

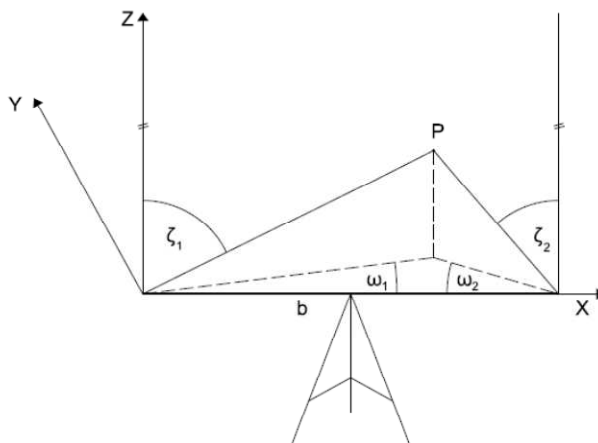


Obr. 1: Znázornenie metódy priestorového pretínania vpred [2]

2.1.1.2 Priestorové pretínanie vpred

Tento spôsob bol prvým stupňom v rozvoji terestrických skenovacích systémov. Pri tejto metóde sú určované súradnice na základe priestorového pretínania vpred z uhlov.

Súradnice bodov sú vypočítané zo známej dĺžky základne, z meraných horizontálnych (ω_1, ω_2) a zenitových uhlov (ζ_1, ζ_2) (Obr. 2). [2]



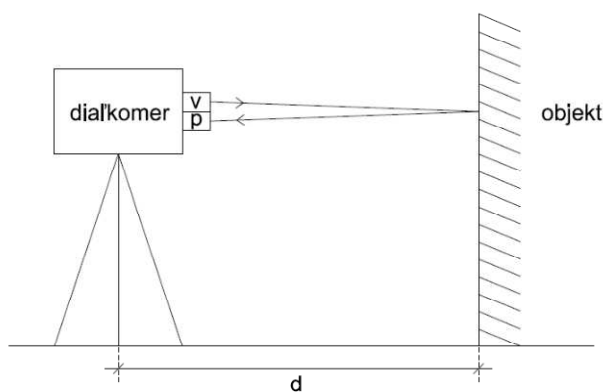
Obr. 2: Znárodnenie priestorovej polárnej metódy [2]

2.1.2 Princíp určenia vzdialenosti

Pri skenovacích systémoch je určovanie vzdialenosti poväčšine založené na elektronickom spôsobe merania alebo na optoelektronickom, kedy meranie prebieha zo známej základne. [1]

2.1.2.1 Elektronické určovanie dĺžky

Určovanie vzdialenosti prebieha pomocou použitia laserového lúča a presného merania času. Vyslané elektromagnetické vlnenie sa odráža od meraného objektu a vracia naspäť k meraciemu zariadeniu (Obr. 3). [1]



Obr. 3: Elektronické určovanie dĺžky [1]

Delí sa na dve metódy :

Pulzná metóda

Táto metóda spočíva na princípe vysielania veľmi krátkeho laserového pulzu. Je meraný presný časový interval, nazývaný tranzitný čas τ , ktorý potrebuje elektromagnetický impulz k prejdenu dvojnásobku určovanej vzdialenosti. [1]

$$2d = v \cdot t = \frac{c}{n} \tau$$

v známa rýchlosť šírenia elektromagnetického vlnenia

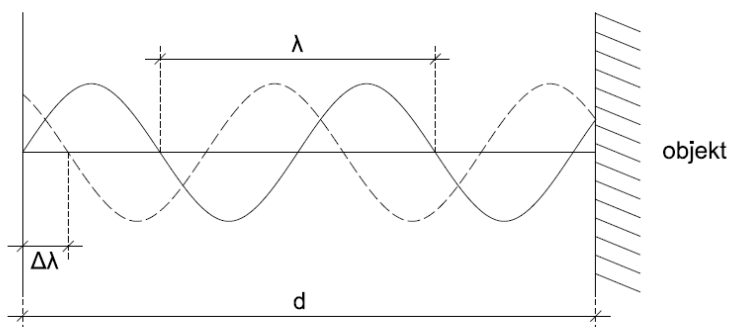
d určovaná vzdialenosť

c rýchlosť šírenia elektromagnetického vlnenia vo vákuu

n index lomu prostredia

Metóda fázového posunu

Pri tejto metóde je laserový impulz nahradený nepretržitým vysielaním laserového lúča. Vzdialenosť je určená pomocou fázového rozdielu, medzi vyslaným a prijatým signálom, ktorý je amplitúdovo modulovaný (Obr. 4). [1]



Obr. 4: Metóda fázového posunu [1]

$$2d = N \cdot \lambda + \Delta\lambda$$

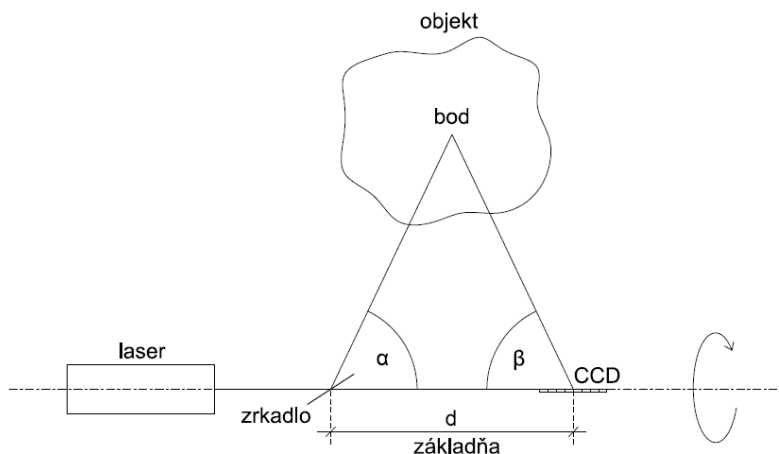
N počet celých vln

λ vlnová dĺžka

$\Delta\lambda$ domerok

2.1.2.2 Optoelektronické určovania dĺžky

Princíp určovania dĺžky je založený na riešení rovinného trojuholníka, pričom poznáme dĺžku jeho základne. Priľahlé uhly α , β sú známe alebo merané (Obr. 5). Metódu je vhodné použiť pri veľmi krátkych vzdialenostiach, kde dosahuje vysokej presnosti. Avšak s rastúcou vzdialenosťou klesá presnosť určenia jej dĺžky. [1]



Obr. 5: Optoelektronické určovanie dĺžky [1]

2.1.3 Rozmetanie zväzku lúčov

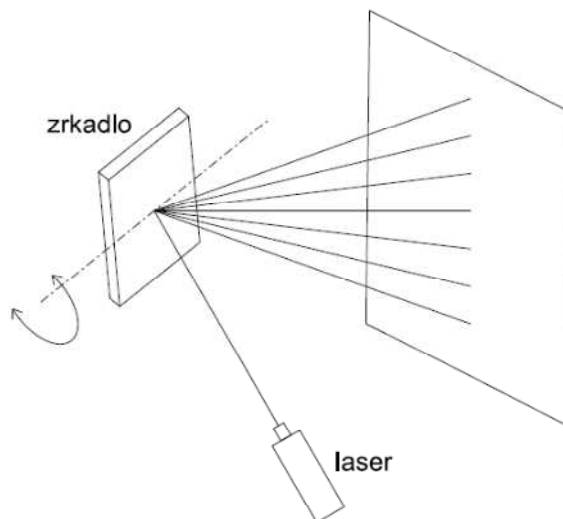
Aby sme dosiahli toho, že merané body budú rovnomerne pokrývať celý objekt, je potrebné zväzok laserových lúčov rozmetať. Body budú merané v profiloch v zvolenej hustote. [1]

Rozmetanie lúčov môžeme docieľiť pomocou [1] :

- zrkadla,
- odrazného hranolu,
- rotáciou zdroja žiarenia,
- optickými vláknami,
- statickým optickým elementom.

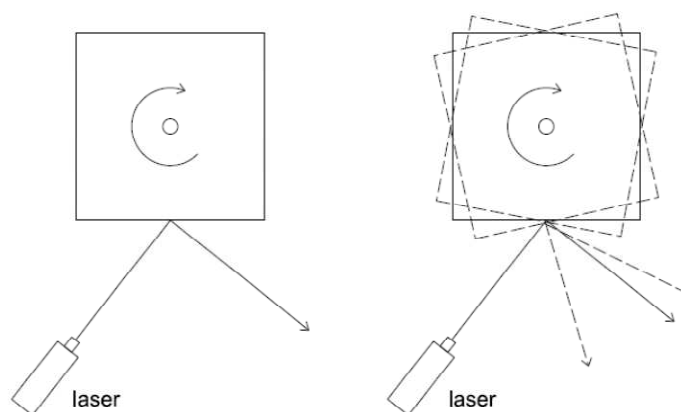
Napríklad pri jedno – zrkadlových skeneroch k rozmetaniu dochádza rotáciou zrkadla a laserového modulu (Obr. 6). Zrkadlo je otáčané okolo vodorovnej osy x, čo spôsobí rozmetanie lúčov v rovine kolmej na osu otáčania zrkadla. Laserový modul je

otáčaný okolo zvislej osy y, ktorá je kolmá na osu otáčania zrkadla. Týmto spôsobom dochádza k rozmetaniu lúčov tak, že zorné pole môže byť napríklad $360^\circ \times 320^\circ$. [1]



Obr. 6: Rozmetanie zväzku lúčov pomocou zrkadla [1]

Rotujúci optický odrazný hranol máva obvykle tvar pravidelného n – uholníka, pričom jeho normála prechádzajúca ťažiskom je osou rotácie (Obr. 7).



Obr. 7: Rozmetanie zväzku lúčov pomocou hranolu [1]

2.2 Referenčné body

Pred samotným skenovaním je potrebné zaistiť dostatočný počet referenčných bodov na jednotlivých skenoch, z toho dôvodu, aby pri neskoršej registrácii skenov nevznikali problémy. Všetky jednotlivé skeny sú vo vlastnom súradnicovom systéme a pomocou referenčných objektov sú registrované do jedného súradnicového systému. Pre registráciu skenov je možné použiť prirodzené objekty ako roviny, steny, rohy a iné. Avšak pre zaručenie presnejších výsledkov je vhodné použiť umelé referenčné objekty ako sféry alebo šachovnicové papierové terče. V jednotlivých skenoch môžu byť kombinované oba druhy umelých referenčných objektov. [4]

Všeobecné zásady [4] :

- Zabezpečenie minimálne troch korešpondujúcich bodov v dvoch skenoch, avšak vyšší počet referencií zlepší výsledok registrácie.
- Použitie cieľov s nereflexným povrchom.
- Rozmiestnenie referenčných objektov tak aby boli ľahko a jasne viditeľné v skenoch.
- Referenčné objekty by nemali byť rozmiestnené symetricky, mali by tvoriť mnohouholník okolo skeneru. Mali by sa nachádzať v rôznych vzdialenostiach od skeneru a taktiež v rôznych výškach.
- Ak nie je možné objekty umiestniť v adekvátnej vzdialenosti je potrebné zvýšenie rozlíšenia skenovania alebo zväčšiť veľkosť terčov.
- Vzdialenosť medzi jednotlivými objektmi by nemala byť menšia než 1 m.
- Referenčný objekt ktorý je viditeľný iba na jednom skene je zbytočný pre registráciu.

2.2.1 Sféry

- Referenčné sféry by nemali byť čiastočne zakryté inými objektmi ale celé viditeľné.
- V závislosti od zvoleného rozlíšenia skenovania a od vzdialenosti prekračujúcej určitú hodnotu môže byť detekcia sfér pri registrácii nespoľahlivá. Napríklad pri skenovaní s rozlíšením 1/4 a pri použití sfér s priemerom 145 mm, vzdialenosť od

skeneru by nemala byť väčšia než 18 m. Pri použití sfér s väčším priemerom, 200 mm, vzdialenosť by nemala prekračovať 45 m. [4]



Obr. 8: Referenčná sféra

2.2.2 Terče

- Použitie len laserovej tlačiarne pre tlač papierových šachovnicových terčov.
- Uhol dopadu medzi laserovým lúčom a šachovnicovým terčom by nemal byť menší než 45° .
- V závislosti od zvoleného rozlíšenia skenovania a od vzdialenosti prekračujúcej určitú hodnotu môže byť detekcia terčov pri registrácii nespoľahlivá. Napríklad pri použití šachovnicových terčov o veľkosti formátu A4 a pri skenovaní s rozlíšením $1/4$, vzdialenosť od skeneru by nemala prekročiť 15 m. V prípade väčších vzdialeností je vhodné zväčšiť šachovnicový terč alebo zvýšiť rozlíšenie skenovania.
- Terče by nemali byť pootočené o 45° voči osi skeneru.
- Je potrebný dostatočný počet skenovaných bodov na šachovnicových terčoch – štyri a viac na každý kvadrant terča.
- Terče by nemali byť pripojené k zakrivenému povrchu. [4]



Obr. 9: Referenčný šachovnicový terč [4]

2.3 Rozdelenie skenovacích prístrojov

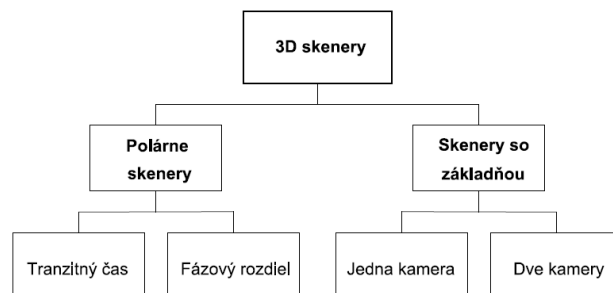
Skenovacie systémy je možné rozdeliť do nasledujúcich niekoľkých kategórií. Základné rozdelenie skenerov je na statické a kinematické. [2]

2.3.1 Statické skenery

Medzi statické skenery patria tie prístroje, ktoré sa počas zberu dát nepohybujú voči Zemi. Tieto prístroje môžu byť taktiež ďalej delené a to podľa princípu zberu dát, podľa dosahu, presnosti alebo rýchlosti skenovania. [2]

Rozdelenie podľa princípu zberu dát [1] :

Ako už bolo spomínané prístroje sa môžu líšiť metódou merania. Podľa tohto faktoru ich môžeme roztriediť do kategórií vyplývajúcich z obrázku (Obr. 10) :



Obr. 10: Rozdelenie skenerov podľa princípu zberu dát [1]

Rozdelenie podľa dosahu na systémy [1] :

- s veľmi krátkym dosahom D1 (0,1 m – 0,2 m)
- s krátkym dosahom D2 (2 m – 10 m)
- so stredným dosahom D3 (10 m – 10 m)
- s dlhým dosahom D4 (100 až stovky m)

Rozdelenie podľa presnosti v závislosti na ich dosahu [1] :

- Skenery s vysokou presnosťou P1 (0,01 mm – 1 mm)
 - ide o skenery s malou základňou, určené pre kratšie vzdialenosti skenovania D1, ich presnosť podstatne klesá so vzrastajúcou vzdialenosťou
- Skenery s presnosťou P2 (0,5 mm – 2 mm)
 - patria sem skenery s veľkou základňou a polárne skenery s krátkym dosahom skenovania D2
- Skenery s presnosťou P3 (2 mm – 6 mm)
 - polárne skenery so stredným dosahom D3 pri ktorých dochádza k nepatrnému poklesu presnosti merania s narastajúcou vzdialenosťou
- Skenery s presnosťou P4 (10 mm – 100 mm)
 - polárne skenery s dlhým dosahom skenovania

Rozdelenie podľa rýchlosti skenovania na systémy [1] :

- s veľmi vysokou rýchlosťou R1 (viac než 100 000 bodov za sekundu)
 - patria sem napríklad niektoré základňové skenery, polárne skenery používajúce fázové diaľkomery
- s vysokou rýchlosťou R2 (5000 – 100 000 bodov za sekundu)
 - väčšina polárnych skenerov využívajúcich tranzitný čas pre určovanie dĺžok
- so strednou rýchlosťou R3 (100 – 5 000 bodov za sekundu)
- s nízkou rýchlosťou R4 (do 100 bodov za sekundu)
 - medzi prístroje so strednou a nízkou rýchlosťou patria predovšetkým tie prístroje ktoré nie sú primárne určené na zber veľkého množstva dát, ako napríklad totálne stanice so skenovacím modulom

2.3.2 Kinematické skenery

Patria sem skenery umiestnené na pohybujúcich sa nosičoch, ktoré sú vhodné pre efektívne získavanie priestorových dát veľkých území. Súčasťou kinematických systémov je laserový skener, INS/GNSS jednotka k určeniu pozície a orientácie, riadiaci počítač a kamery. Ich základné delenie je na terestrické kinematické systémy a letecké kinematické systémy. Ďalšie delenie je možné podľa druhu nosiča a to na nosiče používané pri pozemných systémoch (napr. osobné automobily, železničné vozne, vodné plavidlá, vozíky

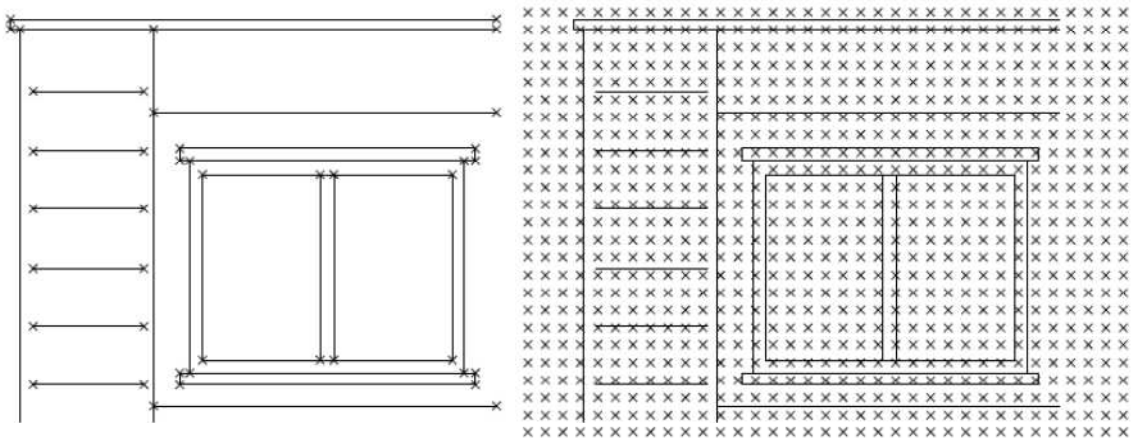
s ručným pohonom, robotické vozíky, človek) a nosiče používané pri leteckých systémoch (napr. lietadlá, helikoptéry). [1]

2.4 Porovnanie rôznych metód s metódou laserového skenovania

Na rozdiel od typických geodetických metód, je laserové skenovanie neselektívna metóda zberu dát. Pri geodetických metódach, sú získavané vybrané charakteristické body objektov, ako napríklad hrany, zlomy, vrcholy a iné. [1]

Pri fotogrametrii sa obrazovým záznamom zachytí celý objekt, s podrobnosťou odpovedajúcou veľkosti pixelu na objekte. Zber dát fotogrametrickým spôsobom je teda neselektívny, ale pre vyhodnotenie je týmto obrazom poskytnutý spojitý vnem. Tento vnem umožňuje obvyklé nepočítané určenie bodov záujmu, programom alebo operátorom. Presnosť výrazne klesá so zväčšujúcou sa vzdialenosťou. [1]

Naopak pri metóde laserového skenovania, nie sú merané charakteristické body objektu, ale body sú neselektívne, rovnomerne, rozmiestnené v pravidelnom uhlovom rozostúpení (**Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**). Charakteristické body objektu nie sú priamo merané, ale je získavajú sa modelovaním. [1]



Obr. 11: Rozdiel medzi geodetickým meraním a skenovaním [1]

Podobne ako aj pri fotogrametrii, je laserové skenovanie metóda, ktorá je typická relatívne krátkou dobou merania. Avšak následné spracovanie je podstatne dlhšie.

Výhody laserového skenovania [5] :

- veľké množstvo získaných dát za krátku dobu,

- vysoká podrobnosť,
- možnosť spojenia s obrazovými dátami,
- okamžité výsledky.

Nevýhody laserového skenovania [5] :

- diskkrétne body,
- častá strata podrobných detailov,
- veľké množstvo dát,
- rýchly vývoj,
- vysoká cena.

2.5 Využitie laserového skenovania

Laserové skenovanie má v praxi široké využitie. Používa sa v stavebníctve pri zameriavaní zložitých technologických konštrukcií, pri zisťovaní reálneho stavu budov, mostov, priehradných hrádzi, alebo pre získanie podkladov na výstavbu, rekonštrukciu či údržbu líniových stavieb. Ďalej sa používa pri topografickom mapovaní terénnych útvarov, pre mapovanie jaskýň a dolov. Táto metóda nachádza uplatnenie obzvlášť pri dokumentácií pamiatok, v architektúre, vo filmovom priemysle a taktiež v archeológii. [1]

Veľkou výhodou je získanie množstva informácií o tvarovo veľmi zložitom objekte, ktoré by bolo ťažké získať napríklad polárnou metódou, metódou pretínania alebo fotogrametriou. Rýchlosť a podrobnosť laserového skenovania je podstatným prínosom pri meraní v rizikových prostrediach alebo v prípadoch kedy je počas merania nutné odstavenie prevádzky. [1]

Špeciálnym prípadom je dokumentácia sôch. Množstvo historických sôch je na konci svojej životnosti a preto je ich dokumentácia veľmi žiadaná. Geodetické zameranie a dokumentácia je veľakrát nedostačujúca, pretože umožňuje len získanie základných rozmerov. Na zameriavanú sochu je potrebné nalepiť terčíky pre vláčovacie a sledované body. Avšak tieto terče musia byť umiestňované tak, aby nedochádzalo k deštrukcii daného objektu. Pri použití fotogrametrie je zase problematické vyhľadávanie bodov, ktoré určujú tvar. [3]

3 FARO FOCUS 3D S 120

Spoločnosť FARO® vyvíja a predáva prenosné súradnicové meracie prístroje a 3D zobrazovacie zariadenia. Technológia používaná touto spoločnosťou umožňuje vysoko presné 3D meranie a jej zariadenia sa používajú pre kontrolu komponentov a zostáv, plánovanie výroby, dokumentovanie veľkých objemových priestorov alebo štruktúr v 3D a mnohých ďalších. Hlavné sídlo spoločnosti sa nachádza v Lake Mary na Floride, ale má aj množstvo ústredí a pobočiek po celom svete (USA, Kanada, Mexiko, Brazília, Nemecko, Anglicko, Francúzsko, Španielsko, Taliansko, Poľsko, Turecko, Holandsko, Švajčiarsko, India, Čína, Malajzia, Thajsko, Južná Kórea, Austrália a Japonsko). [6]

Laserový skener FARO Focus 3D S 120 (Obr. 12) je vysokorýchlostný trojrozmerný prístroj, určený pre podrobné meranie a dokumentáciu. Tento skener vďaka laserovej technológii získava mimoriadne detailné priestorové modely okolia, a to v priebehu len niekoľkých minút. Výsledný model je zostavený z miliónov meraných 3D bodov, nazývaných mračná bodov. [4]



Obr. 12: FARO Focus 3D S 120 [4]

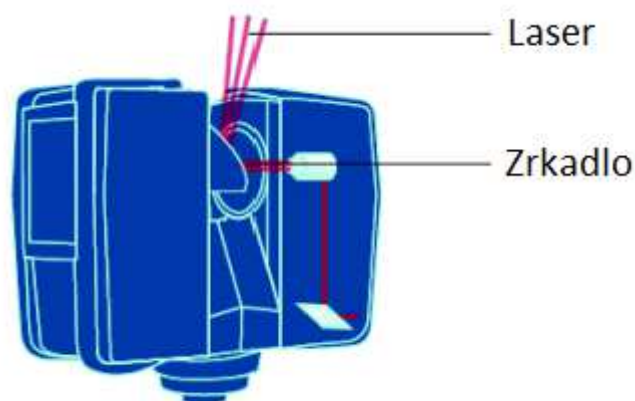
3.1 Podrobnosti prístroja

Medzi hlavné charakteristiky patrí [4] :

- Hypermodulácia
- Vysoká presnosť
- Vysoké rozlíšenie

- Vysoká rýchlosť
- Intuitívne ovládanie prostredníctvom dotykového displeja
- Vysoká mobilita vďaka malej veľkosti, nízkej hmotnosti a rýchlemu nabíjaniu batérie
- Integrovaná farebná kamera umožňuje fotorealistické farebné skenovanie
- Integrovaný dvojosí kompenzátor
- Integrovaný kompas a výškomer
- WLAN pre diaľkové ovládanie skenera

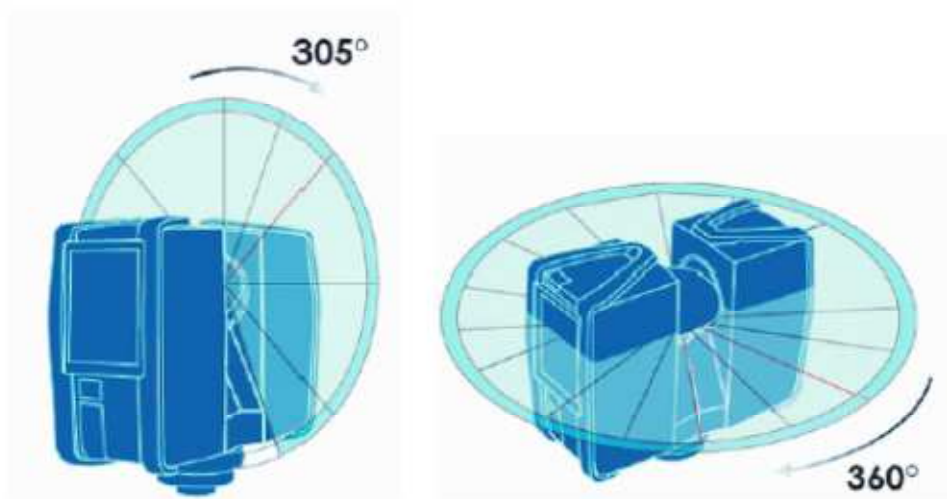
FARO Focus 3D S 120 funguje na princípe vysielania infračerveného laserového lúča do stredu rotujúceho zrkadla, ktoré tento lúč odráža pozdĺž vertikálnej osy rotácie na skenované okolie (Obr. 13). Laserový lúč dopadne na skenovaný objekt a následne je odrazený naspäť do skenera. [4]



Obr. 13: Znážornenie princípu merania [4]

Základným princípom pri meraní vzdialeností je určovanie fázového posunu. Vlny infračerveného svetla s rôznymi vlnovými dĺžkami sú skenerom premietané na objekt, a po kontakte s ním sú naspäť odrazené. Výsledná dĺžka je určená na základe fázového rozdielu vyslaných a prijatých infračervených vln. [4]

Počas merania dochádza k rozmetaniu laserového lúča pomocou rotácie odrazového zrkadla a postupného horizontálneho otočenia skeneru (Obr. 14). Tieto uhly sú zaznamenávané súčasne s meranou dĺžkou. [4]



Obr. 14:Rozsah rotácie odrazného zrkadla a otočenia skeneru [4]

Meraná vzdialenosť, horizontálny uhol (daný postupným otočením skeneru), vertikálny uhol (uhol rotácie zrkadla), nám slúžia pre výpočet polárnych súradníc (δ , α , β), ktoré sú následne transformované na kartézské súradnice (X,Y,Z). [4]

Ďalej je zaznamenávaná aj intenzita odrazeného lúča, ktorá závisí na vlastnostiach odrazovej plochy. Vo všeobecnosti platí že svetlé povrchy odrážajú väčšiu časť vyžarovaného svetla než tmavé povrchy. Na základe tejto intenzity sú jednotlivým bodom priradované odpovedajúce stupne šedej farby. [4]

Za jednu sekundu je meranie jednotlivých bodov opakované až 976 000 krát. Výsledkom toho je mračno bodov (Point Cloud), teda trojrozmerná množina údajov o skenovanom objekte. Počet bodov v každom mračne závisí od zvoleného rozlíšenia. Jednotlivé mračná môžu obsahovať až milióny bodov. [4]

3.2 Nastavenia skeneru

Po zapnutí prístroja tlačidlom *Power*, sa zobrazí domovská obrazovka (Obr. 15).



Obr. 15: Domovská obrazovka operačného systému [4]

Pred začatím samotného skenovania, je potrebné nastaviť parametre skenovania ako rozlíšenie, kvalita, uhlový rozsah skenovania a ďalšie (Obr. 16). Toto je možné urobiť dvomi spôsobmi. Buď priamo vybrať preddefinovaný profil s už nastavenými parametrami, alebo manuálne nastaviť jednotlivé parametre. [4]



Obr. 16: Zmena parametrov skenovania [4]

3.2.1 Výber profilu skenovania

Preddefinované profily sú rozdelené podľa použitia prístroja v interiéri a v exteriéri a podľa vzdialenosti skenera od objektu záujmu (Obr. 17). Nastavenia týchto preddefinovaných profilov nie je možné meniť, ale je možné vytvorenie vlastných profilov merania.



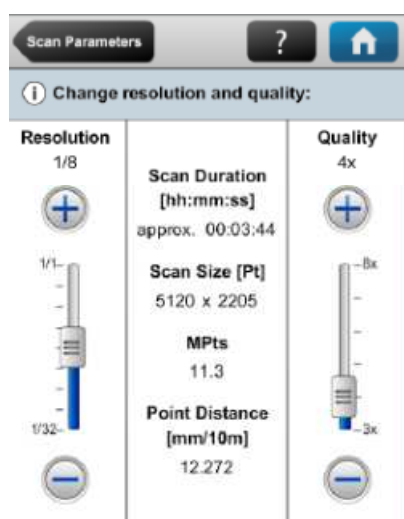
Obr. 17: Preddefinované profily skenovania [4]

3.2.2 Nastavenie rozlíšenia a kvality

Rozlíšenie skenovania je možné nastaviť na jednu z hodnôt 1/1, 1/2, 1/4, 1/5, 1/8, 1/10, 1/16, 1/20 alebo 1/32.

Nastavenie kvality skenovania ovplyvňuje taktiež aj dĺžku času skenovania. Je možné zvoliť jednu z hodnôt od 3x až po 8x (Tab. 1).

Po nastavení týchto parametrov sa zobrazí výsledný čas skenovania, počet bodov v horizontálnom aj vertikálnom smere (Scan Size [Pt]), celkový počet skenovaných bodov (MPts) a vzdialenosť susedných bodov v mm / 10 m (Obr. 18).



Obr. 18: Nastavenie rozlíšenia a kvality skenovania [4]

Resolution		Quality	Speed (kpt/sec)	Noise Compression	Net Scan Time (full scan)	pt/360°
Mio. Pts (full scan)						
710.7	1/1	1x	976	-	0:14:19	40,96
710.7	1/1	2x	488	-	0:28:38	40,96
710.7	1/1	3x	244	-	0:57:16	40,96
710.7	1/1	4x	122	-	1:54:32	40,96
177.7	1/2	1x	976	-	0:03:35	20,48
177.7	1/2	2x	488	-	0:07:09	20,48
177.7	1/2	3x	244	-	0:14:19	20,48
177.7	1/2	4x	122	-	0:28:38	20,48
177.7	1/2	6x	122	2x	1:54:32	20,48
44.4	1/4	1x	976	-	0:00:54	10,24
44.4	1/4	2x	488	-	0:01:47	10,24
44.4	1/4	3x	244	-	0:03:35	10,24
44.4	1/4	4x	122	-	0:07:09	10,24
44.4	1/4	6x	122	2x	0:28:38	10,24
44.4	1/4	8x	122	4x	1:54:32	10,24
28.4	1/5	2x	488	-	0:01:09	8,192
28.4	1/5	3x	244	-	0:02:17	8,192
28.4	1/5	4x	122	-	0:04:35	8,192
28.4	1/5	6x	122	2x	0:18:20	8,192
1.11	1/8	2x	488	-	0:00:27	5,12
1.11	1/8	3x	244	-	0:00:54	5,12
1.11	1/8	4x	122	-	0:01:47	5,12
1.11	1/8	6x	122	2x	0:07:09	5,12
1.11	1/8	8x	122	4x	0:28:38	5,12
7.1	1/10	3x	244	-	0:00:34	4,096
7.1	1/10	4x	122	-	0:01:09	4,096
7.1	1/10	6x	122	2x	0:04:35	4,096
7.1	1/10	8x	122	2x	0:18:20	4,096
2.8	1/16	3x	244	-	0:00:13	2,56
2.8	1/16	4x	122	-	0:00:27	2,56
2.8	1/16	6x	122	2x	0:01:47	2,56
2.8	1/16	8x	122	4x	0:07:09	2,56
1.8	1/20	4x	122	-	0:00:17	2,048
1.8	1/20	6x	122	2x	0:01:09	2,048
1.8	1/20	8x	122	4x	0:04:35	2,048
0.7	1/32	4x	122	-	0:00:07	1,28
0.7	1/32	6x	122	2x	0:00:27	1,28
0.7	1/32	8x	122	4x	0:01:47	1,28

Tab. 1: Nastavenie rozlíšenia a kvality skenovania [4]

3.2.3 Nastavenie rozsahu skenovania

Východzie nastavenie rozsahu horizontálneho uhlu je 0° až 360° a vertikálneho uhlu je -60° až 90° (Obr. 19). Tieto hodnoty je možné zmeniť podľa potreby.



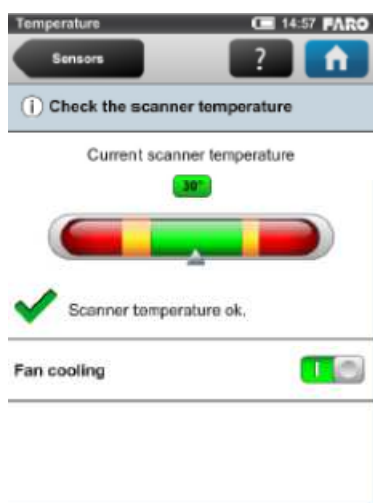
Obr. 19: Nastavenie rozsahu skenovania [4]

3.2.4 Nastavenie senzorov

V ďalších podkapitolách budú uvedené senzory ktoré sú súčasťou prístroja FARO Focus 3D S 120 a ich stručné vysvetlenia.

3.2.4.1 Snímače teploty

Skener má niekoľko integrovaných snímačov teploty, ktoré merajú teplotu v rôznych častiach skeneru. Na obrazovke sa zobrazí momentálne najkritickejšia hodnota teploty zaznamenaná jedným zo snímačov (Obr. 20). [4]



Obr. 20: Teplotný senzor [4]

Ak je indikátor v žltej oblasti, teda tesne pod alebo nad kritickou hodnotou, skenovanie bude stále možné, avšak teplota môže mať negatívny vplyv na kvalitu skenovania. Preto je odporúčané skener schladiť alebo zohriať, aby bol indikátor opäť v zelenej oblasti. [4]

V prípade ak bude teplota príliš vysoká alebo nízka, indikátor bude nachádzať v červenej oblasti. [4]

3.2.4.2 Úchylkomer

Zabudovaný dvoj-osí kompenzátor je používaný pre automatické urovnanie nasnímaných dát. Presnosť kompenzátoru je určená pre sklony do 5°, pri väčších sklonoch sa presnosť zníži. Sklon každého skenu je elektronikou meraný a zaznamenávaný a tieto hodnoty budú použité pri registrácii skenov. [4]

Na obrazovke sa zobrazia sa tri libely, tak ako keby boli umiestnené na vrchu skeneru (Obr. 21). V prípade ak je bublina vo vnútornom, najmenšom kruhu krabicovej libely, je vertikálna osa skeneru urovnaná. Ak je bublina vo väčšom kruhu, ktorý je vyznačený na krabicovej libele, pozadie bude stále zelené a sklon skeneru bude do 5°. Keď bude sklon prístroja väčší, pozadie sa zmení na červené a bude znížená presnosť merania sklonu. Ďalšie dve trubicové libely napomáhajú k lepšiemu porozumeniu smeru sklonu. [4]



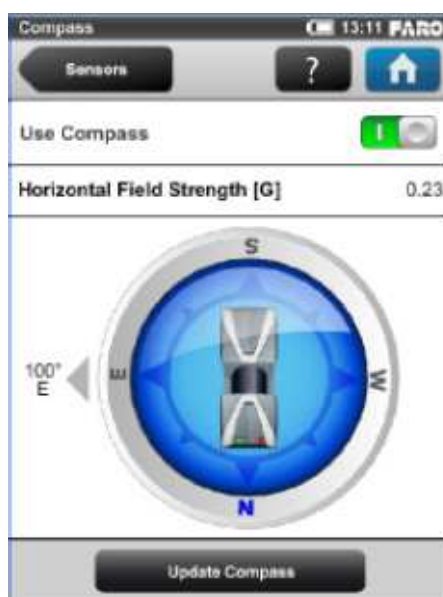
Obr. 21: Úchylkomer [4]

3.2.4.3 Kompas

Pomocou elektronického kompasu je meraná orientácia skeneru na povrchu Zeme (Obr. 22). Táto informácia je zaznamenaná ku každému skenu a môže byť užitočná pri registrácii skenov. [4]

Pre získanie orientácie je potrebné aktualizovať kompas tlačidlom *Update Compass*. Prístroj sa otočí o 360° a určí svoju orientáciu. Toto manuálne určovanie orientácie nie je počas merania potrebné, pretože je pri skenovaní vykonávané automaticky. [4]

Ak sa prístroj nachádza v blízkosti silného magnetického pola, ktoré by pravdepodobne ovplyvnilo meranie, je možné pre získanie najspoľahlivejších výsledkov, vypnúť túto funkciu. [4]



Obr. 22: Kompas [4]

3.2.4.4 Výškomer

Barometrický výškomer určuje nadmorskú výšku aktuálnej pozície skeneru, na základe merania atmosférického tlaku (Obr. 23). Zistená nadmorská výška je pripojená ku každému skenu. [4]



Obr. 23: Výškomer [4]

3.3 Technické parametre

Dĺžkové meranie [4] :

- dosah : 0,6 až 120 m v interiéroch alebo exteriéroch, pri nízkom okolitom svetle, pri kolmom dopade na povrch s 90% odrazivosťou,
- rýchlosť merania (počet bodov za sekundu) : 122 000 / 244 000 / 488 000 / 976 000,
- presnosť : ± 2 mm na vzdialenosť 10 m a 25 m s 90% a 10% reflexivitou.

Uhlové meranie [4] :

- horizontálne zorné pole : 360° ,
- vertikálne zorné pole : 300° ,
- uhlový krok : $0,009^\circ$,
- max. rýchlosť vertikálneho skenovania : 5 820 otáčok za minútu alebo 97Hz.

Parametre laseru [4] :

- výkon : 20 mW ,
- vlnová dĺžka : 905 nm,
- divergencia lúča : $0,011^\circ$ (0,19 mrad),
- priemer lúča pri vyslaní : 3,0 mm, kruhový.

Fotografie [4] :

- rozlíšenie : až 70 MPx,
- funkcia dynamickej farby : automatické prispôsobenie jasu.

Ukladanie dát a ovládanie [4] :

- ukladanie : SD, SDHC, SDXC; do 32GB,
- ovládanie : dotyková obrazovka, WiFi.

Parametre senzorov [4] :

- kompenzátor : presnosť 0,015°, rozsah $\pm 5^\circ$,
- výškový senzor : prostredníctvom elektronického barometru môže byť určená relatívna výška k pevnému bodu a pridaná ku skenu,
- kompas : pomocou elektronického kompasu je skenu priradená orientácia.



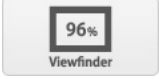


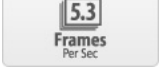




4 CANON EOS 60D

Canon EOS 60D (Obr. 24) je pokročilý, vysoko výkonný jednooký zrkadlový fotoaparát. [7]



Obr. 24: Canon EOS 60D [7]

Výhody fotoaparátu [7] :

-  18 mpx snímač CMOS,
-  kvalitné snímky aj za slabého osvetlenia,
-  veľký a jasný pohľad na scénu,
-  zaisťuje správne exponované snímky za všetkých svetelných podmienok,
-  výber bodov AF pre kreatívne možnosti vytvárania kompozície,
-  kontinuálne snímanie,
-  výkonné spracovanie obrazu pomocou procesoru DIGIC,
-  filmy v rozlíšení 1080p,
-  otočný displej,
-  veľký a jasný displej pre jasné zobrazenie,



možnosť použitia kreatívnych filtrov,



výber pomeru strán fotografií,



režim základnej zóny,



vyrovnanie fotoaparátu pre dosiahnutie rovných horizontov,



úprava a spracovanie snímok typu RAW vo fotoaparáte,



možnosť diaľkového ovládania bleskov.

Príslušenstvo :

Objektív Tamron SP AF

Tento objektív je určený pre digitálne zrkadlovky, pokrývajúci rozsah 17-50mm, čo znamená 25-75 mm pri prepočítaní na 35 mm film. Ponúka vysokú obrazovú kvalitu a svetelnosť F/2,8 v celom rozsahu, nevyhnutnú pre portrétnu fotografiu. [8]

5 3D TLAČ

3D tlač je proces tvorby fyzického modelu na základe digitálnej predlohy, teda 3D modelu. [9]

5.1 História 3D tlače

Atramentové tlačiarne boli vynájdené už v roku 1976 a na ich základe neskôr vznikla metóda 3D tlače. V roku 1984 bola patentovaná prvá technológia stereolitografie Charlesom W. Hullom a prvý krát boli vytlačené 3D dáta. Firma 3D Systems, ktorej zakladateľom bol už spomínaný Charles W. Hull, v roku 1992 začala vyrábať a predávať prvé komerčne dostupné 3D tlačiarne. [9]

5.2 Technológie 3D tlače

Existuje niekoľko technológií na základe ktorých pracujú 3D tlačiarne [9] :

- SLA (Stereolithography) – je najstaršou technológiou, dochádza pri nej k vytvrdzovaniu fotocitlivej živice laserovým lúčom
- SLS (Selective Laser Sintering) – laserové spekanie plastového prachu
- FDM (Fused Deposition Modeling) – nanášanie roztaveného materiálu v tenkej vrstve
- DMLS (Direct Metal Laser Sintering) – spekanie kovového prachu
- Solidcape – tlač voskových modelov
- ProJet – tlač farebných modelov z prášku
- Mcor – tlač farebných modelov z papiera



Obr. 25: 3D tlačiareň technológie FDM [9]

5.3 Materiály technológie FDM

Medzi najpoužívanejšie materiály pre tlač typu FDM patria [9] :

ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)

Ide o jeden z najpoužívanejších materiálov 3D tlače. ABS je veľmi stály plast s vysokou pevnosťou. Tento materiál je schopný vydržať bez straty na pevnosti teploty až do 100°C a jeho teplota tlače je približne 250°C. Avšak nevýhodou je veľká teplotná rozťažnosť, v porovnaní s inými materiálmi, čo môže spôsobiť deformáciu objektov počas tlače.

PLA (Polyactic Acid)

Materiál je vyrobený z kukuričného škrobu a vďaka tomu je biologicky odbúrateľný v priebehu niekoľkých mesiacov. Má veľmi nízku teplotnú rozťažnosť, čo umožňuje tlač objektov o veľkosti nad 20 cm, bez veľkých deformácií. Materiál je podstatne krehkejší a objekty z neho vytlačené vydržia bez deformácie teploty do 60°C.

PET (Polyethylene Terephthalate)

Podstatnou výhodou tohto materiálu je jeho pevnosť, stálosť a nízka teplotná rozťažnosť. Objekty vydržia teploty väčšie než 100°C a teplota tlače sa pohybuje okolo

250°C. Nevýhodou je dostupnosť len čírej varianty materiálu a jeho vyššia cena oproti ABS materiálu.

5.4 Využitie 3D tlače

Zo začiatku bola 3D tlač využívaná výlučne pre výrobu prototypov, a preto ju dodnes môžeme nájsť aj pod označením Rapid Prototyping. Avšak príchod lacnejších technológií a finančná dostupnosť, umožnili rozšírenie využitia 3D tlače aj do iných oblastí. [9]

Tento spôsob tlače vie nájsť uplatnenie napríklad v automobilovom a leteckom priemysle, strojárstve, zbrojárskom a obrannom priemysle, architektúre, vede, medicíne, umení, v zábavnom a filmovom priemysle. [10]

Príklady využitia 3D tlače :

- Architektúra – prezentácia konceptu na základe fyzického modelu (Obr. 26).



Obr. 26: Využitie 3D tlače v architektúre [11]

- Strojárstvo – vytvorenie modelov určených pre presné odlievanie (Obr. 27, Obr. 28).



Obr. 27 Model pre odlievanie [10]



Obr. 28: Oceľový odliatok [10]

- Dizajn – výroba rôznorodých produktov (Obr. 29).



Obr. 29: Dizajnová lampa [10]

- Medicína – vytváranie rôznych protéz a implantátov (Obr. 30, Obr. 31).



Obr. 30: 3D tlač v stomatológii [12]



Obr. 31: Model chodidla pre predoperačné plánovanie [13]

6 MERAČSKÉ PRÁCE

Predmetom merania bola busta (Obr. 33) svetovo uznávaného českého skladateľa klasickej hudby, Leoša Janáčka (Obr. 32). 3D model tejto busty mal byť vyhotovený na základe jej zamerania pomocou metódy laserového skenovania a následne aj pomocou série fotografií.

Bustu Leoša Janáčka poskytol brnenský umelecký sochár, pán Jaromír Gargulák.



Obr. 32: Leoš Janáček [14]



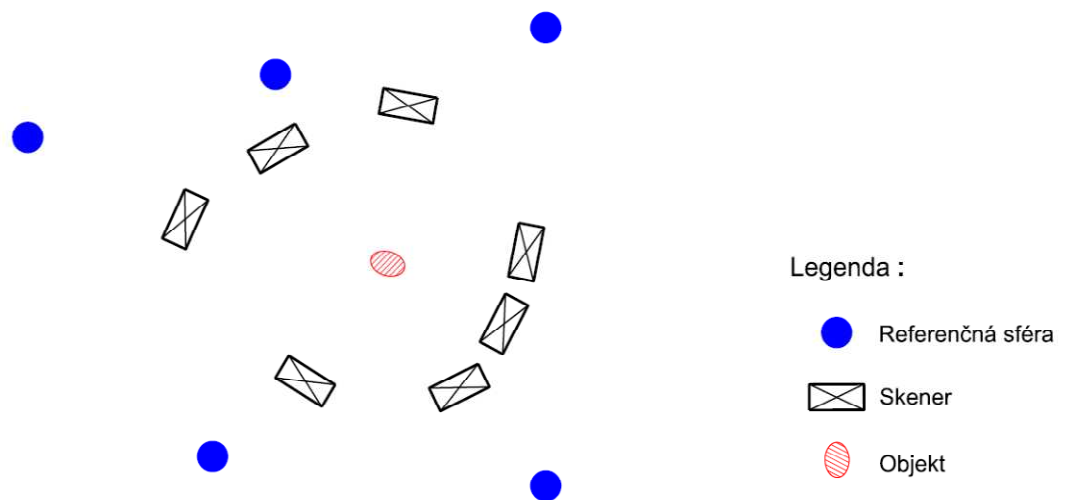
Obr. 33: Busta Leoša Janáčka

6.1 Priebeh laserového skenovania

Ako prvé prebehlo laserové skenovanie busty. Táto busta nebola vyvážená a preto ju nebolo možné umiestniť na rovný povrch bez ďalšej opory. Pomocou otvoru na spodnej strane, bola pevne umiestnená na fotografický statív tak, aby počas celého merania nedošlo k jej posunu.

Pred začatím samotného merania bolo potrebné rozmiestniť referenčné objekty. Keďže vzdialenosť od skeneru dosahovala maximálne pár metrov postačovali menšie referenčné sféry s priemerom 145 mm. Pri ich rozmiestňovaní bol dávany dôraz na to, aby neboli rozmiestňované symetricky, aby sa nachádzali v rôznych výškach a aby v priestore medzi nimi a objektom záujmu, bol dostatočný priestor pre manipuláciu so skenerom a podľa ďalších už spomínaných zásad (Obr. 34).

Skenovanie prebehlo zo 7 rôznych stanovísk, ktoré boli volené tak, aby na každom skene boli viditeľné minimálne tri referenčné objekty (Obr. 34). Ďalej pri voľbe polohy skeneru bol uvažovaný fakt, že výsledné skeny musia pokrývať celú bustu. Preto bolo potrebné skener umiestňovať v rôznych výškach, tak aby zameral ako vrchnú, tak aj spodnú časť a niektoré záhyby.



Obr. 34: Náčrt rozmiestnenia referenčných sfér a polohy skeneru

Nastavenie parametrov skenovania bolo nasledujúce :

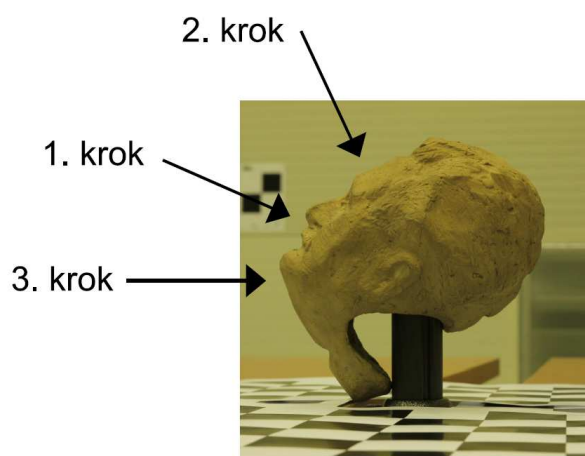
	Profil	Interiér do 10m
Rozsah zorného poľa	Horizontálne	0° až 360°
	Vertikálne	90° až -60°
	Rozlíšenie	1/8
	Kvalita	6x
	Rýchlosť skenovania	122 bodov za sekundu
	Čas skenovania	0:08:09
	Počet bodov	5154 x 2134

Tab. 2: Nastavenie parametrov skenovania

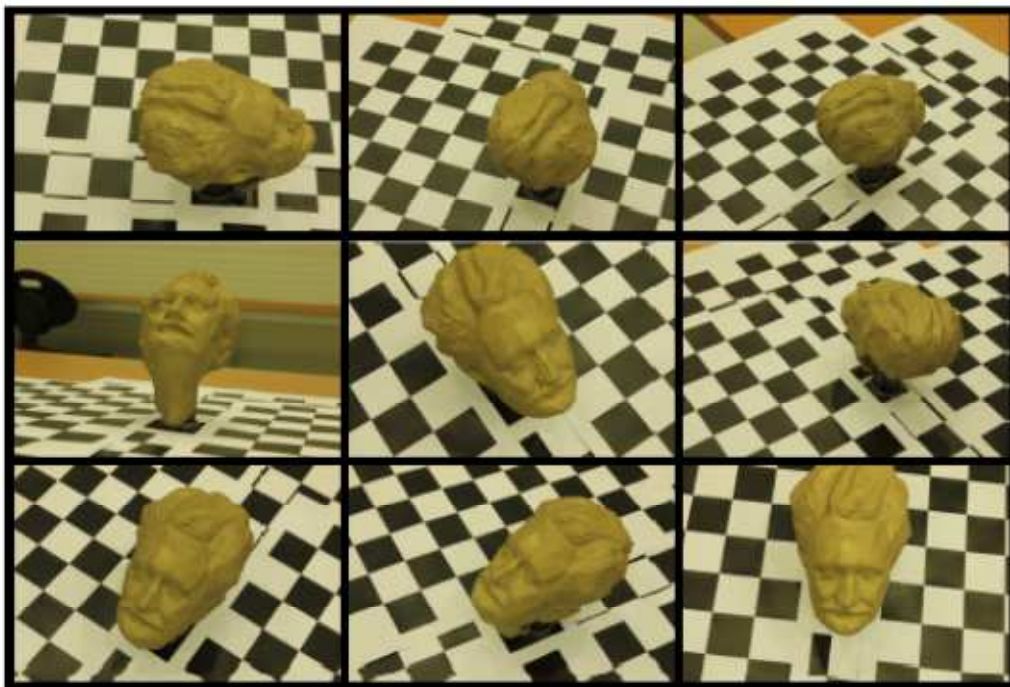
6.2 Pribeh fotografovania

Busta bola opäť rovnako inštalovaná na fotografickom statíve. Avšak bolo potrebné zaistiť referenčné body v blízkosti fotografovaného objektu. Preto boli po stranách statívu prisunuté stoly, na ktoré boli umiestnené šachovnicové terče.

Pri samotnom fotografovaní sa postupovalo v niekoľkých krokoch. Zakaždým bola snaha o to aby fotografie boli zhotovované pod rovnakým uhlom, v rovnakom rozostupe a v rovnakej vzdialenosti od objektu, z toho dôvodu, aby nedochádzalo k potrebe preostrenia. V prvom kroku bolo vyhotovených 39 fotografií, v druhom kroku 10, v treťom 26. V poslednom štvrtom kroku boli fotografované podrobné detaily busty, pod rôznymi uhlami a ich počet je 8. Jednotlivé smery prvých troch krokov fotografovania sú znázornené na obrázku (Obr. 35).



Obr. 35: Znárodnenie smerov fotografovania v jednotlivých krokoch



Obr. 36: Príklady vyhotovených fotografií

Nastavenia fotoaparátu boli nasledovné :

čas expozície	1/80 s
rýchlosť ISO	ISO-500
ohnisková vzdialenosť	50 mm
blesk	vypnutý

Tab. 3: Nastavenia parametrov fotoaparátu

7 SPRACOVATELSKÉ PRÁCE

Ako prvé sa pristúpilo k čiastočnému spracovaniu merania laserovým skenovaním, potom k spracovaniu fotografickej dokumentácie až napokon k vytvoreniu oboch modelov a ich upraveniu a spoločnému porovnaniu. V tejto kapitole budú opísané jednotlivé postupy práce v použitých a vyskúšaných programoch.

7.1 Registrácia mračien bodov a ich úprava

Pre tieto úkony bol využitý program FARO SCENE 5.5. Ide o komplexný nástroj pre spracovanie a správu 3D mračien bodov. Umožňuje prezeranie a prácu s rozsiahlymi dátami s vysokým rozlíšením. Tento program ponúka niekoľko funkcií a nástrojov ako je filtrovanie, automatické rozpoznávanie objektov, registrácia skenov, sfarbenie mračna bodov, vizualizácia 3D a iné. [15]

7.1.1 Založenie projektu a import bodov

Pred začatím samotného spracovávanía mračien bodov, je potrebné po otvorení programu SCENE, založiť nový projekt. To je možné urobiť cez *File – New – Project*. Po zvolení miesta uloženia a názvu, bol tento projekt následne otvorený.

Skenované dáta sú ukladané na SD kartu. Jednou z možností je automatické importovanie skenov. Po vložení SD karty do počítača, je táto karta programom automaticky rozpoznaná a zobrazí sa otázka či chceme previesť import skenov. Po jej odsúhlasení sa skeny automaticky prevedú. Druhou možnosťou je manuálny import mračien bodov. Pomocou *File – Import* je vyhľadovaný požadovaný priečinok s príslušnými skenmi a odsúhlasením je importovaný.

7.1.2 Načítanie skenov do operačnej pamäte

Ak chceme importované mračná bodov zobrazíť a následne ich spracovávať, je nutné ich načítať do operačnej pamäte. Po otvorení kontextovej ponuky daného skenu je zvolená možnosť *Loaded*. Ďalšou možnosťou ako načítať skeny je ich otvorenie v jednom z ponúkaných zobrazení. Ak je sken načítaný, zobrazí sa pri ňom znak zeleného štvorca.

7.1.3 Možnosti zobrazenia mračna bodov

Ako už bolo spomenuté na výber je niekoľko zobrazení. Po otvorení kontextovej ponuky a zvolení *View* sú zobrazené nasledovné ponuky zobrazenia [15] :

Quick View - Zobrazuje obsah jedného skenu. Skenovanú oblasť pozorujeme z polohy skeneru. Tento náhľad je možné spustiť aj dvojklikom na príslušný sken v štruktúrovanom zobrazení.

Planar View - Ide o rovinné zobrazenie jedného skenu, pričom daný sken už musí byť načítaný.

3D View - Touto možnosťou sa dá dosiahnuť trojrozmerné zobrazenie vybraného skenu alebo aj všetkých skenov naraz.

7.1.4 Registrácia mračien bodov

Registrácia mračien bodov je proces, kedy sa určí priestorový vzťah medzi jednotlivými skenmi navzájom. Základom registrácie je identifikácia referenčných bodov v skenoch. Tá môže prebehnúť automaticky alebo manuálne. [15]

7.1.4.1 Automatická identifikácia

Táto identifikácia sa vyvolá pri jednotlivých skenoch v kontextovom okne *Operations – Find object*. Na výber je niekoľko možností referenčných objektov ako šachovnicové terče, sféry, rohové body, plochy, obdĺžniky a línie. Tento spôsob vyhľadávania referenčných bodov, vie byť užitočný pri veľkom množstve registrovaných skenov, vďaka urýchleniu procesu. Avšak je odporúčané skontrolovať výsledky tejto identifikácie, pretože sa môže stať, že program chybné vyhodnotí referenčný objekt.

7.1.4.2 Manuálna identifikácia

Pri spracovaní tejto práce bola z dôvodu väčšej kontroly, použitá manuálna identifikácia. Po otvorení skenu v *Quick View* alebo *Planar View* sú v paneli nástrojov *Identify Objects Toolbar* tieto voľby identifikácie: kruhový objekt, šachovnicový terč, sféra, rovina, doska, bod. Zvolená bola možnosť identifikácie sfér. Vyhľadaná sféra bola označená kliknutím do stredu objektu. Následne sa zobrazí tabuľka s parametrami

označenia. Tu bol vyplnený názov konkrétnej sféry a sledované parametre označenia (Obr. 37). Kvalita označenia je symbolizovaná semaformi.

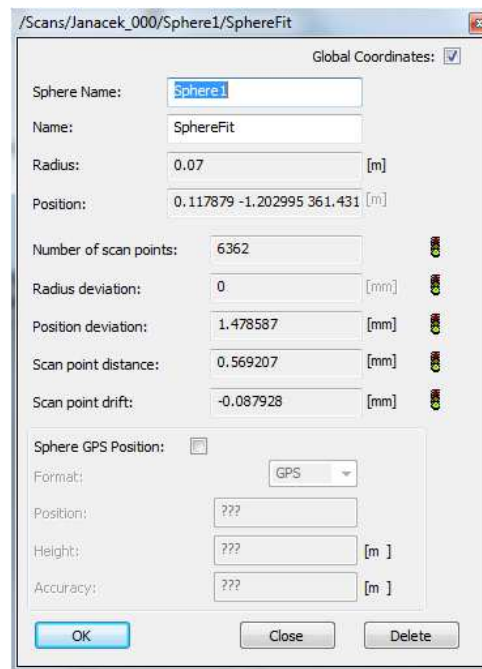
Význam týchto farieb je nasledovný [15] :

zelené – všetky kritéria sú splnené,

oranžové – aspoň jedno kritérium je ohrozené,

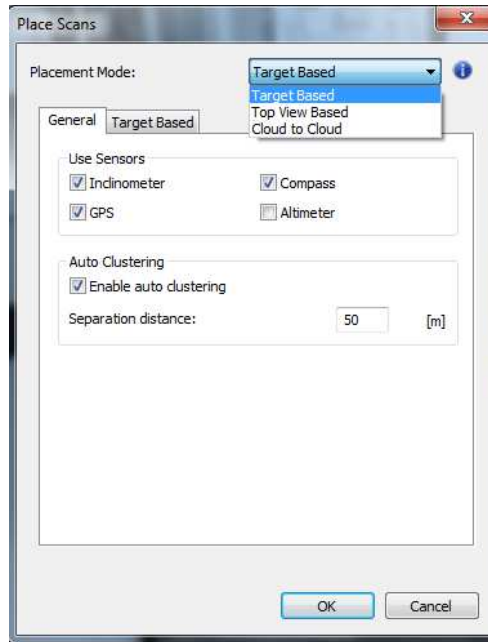
červené – najmenej jedno kritériu je vážne ohrozené.

Ak boli tieto parametre nevyhovujúce, označenie bolo zrušené a nanovo opakované. Týmto spôsobom prebehlo označenie všetkých viditeľných sfér vo všetkých skenoch. Konkrétna sféra mala rovnaké označenie v každom zo skenov.

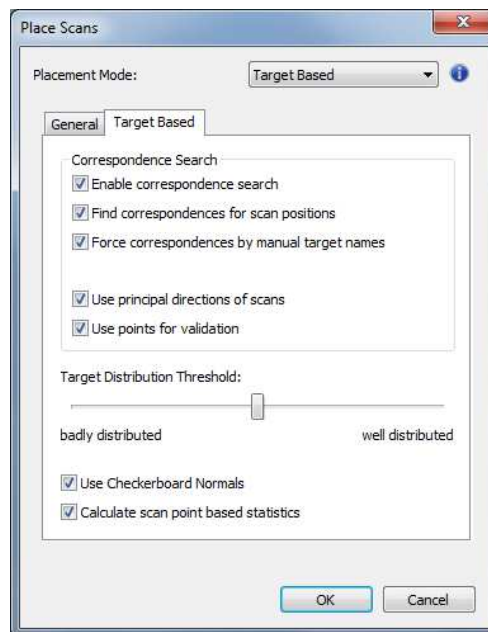


Obr. 37: Označovanie sfér

Ďalším krokom bolo vytvorenie Scan Manageru, z kontextovej ponuky *New – Scan Manager*. V kontextovej ponuke Scan Manageru bola zvolená možnosť *Update Scans*. Zobrazilo sa okno s možnosťami nastavenia spojenia skenov (Obr. 38). Bola zvolená možnosť *Target Based* (Obr. 39).

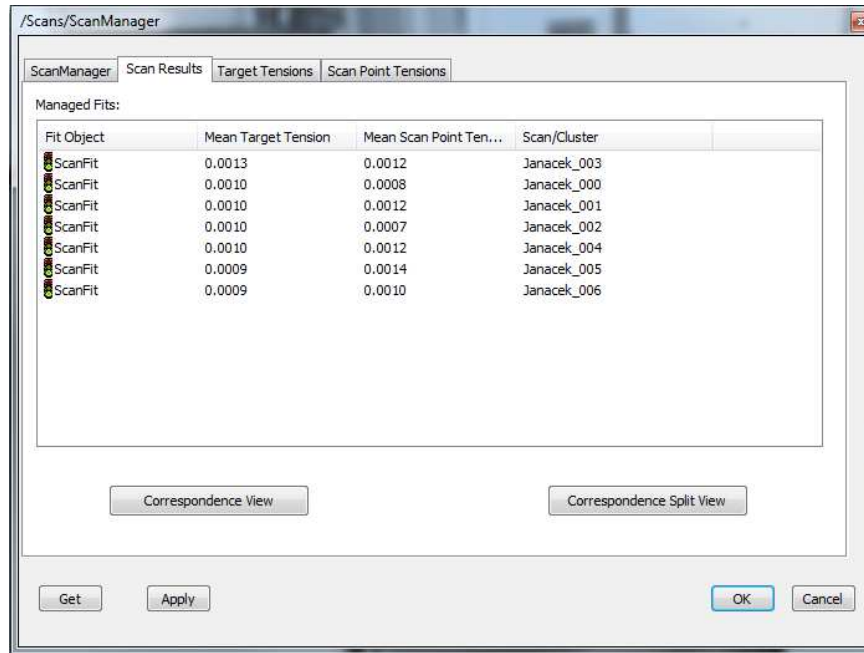


Obr. 38: Možnosti spojenia skenov



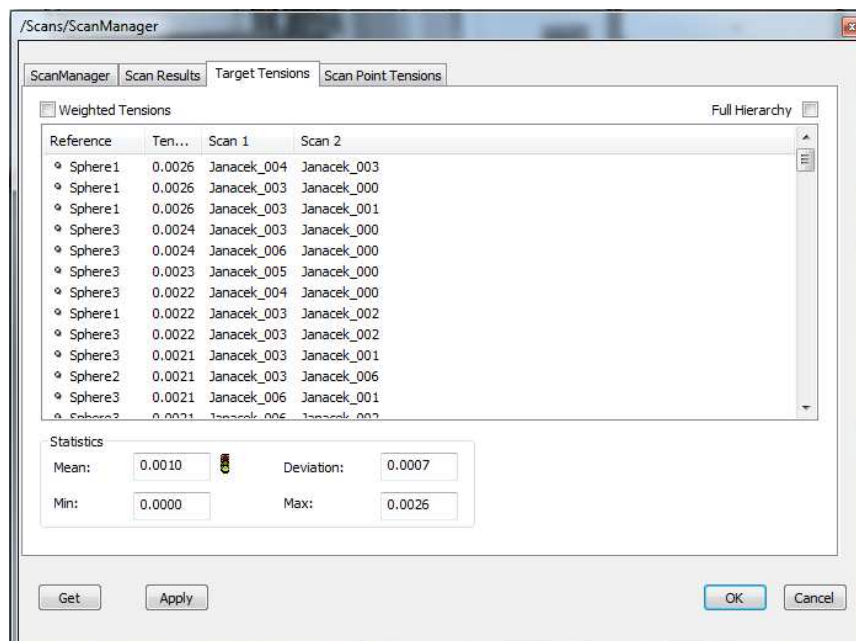
Obr. 39: Nastavenia spojenia skenov

Po zvolení parametrov spojenia a jeho odsúhlasení, sa zobrazí okno s výsledkami registrácie skenov. V záložke *Scan Results* (Obr. 40) je možné vidieť zoznam skenov s príslušnými hodnotami napätia (odchýlky medzi polohou a orientáciou) referenčných sfér, pričom výsledky sú opäť symbolizované semaformi. Tu je možné ľahko zistiť ktoré registrácie zlyhali a ktoré majú zlé výsledky.



Obr. 40: Scan results

V ďalšej záložke *Target Tensions* (Obr. 41) sú zobrazené všetky referenčné dvojice použité pre umiestnenie skenov, triedené podľa ich napätia. Z týchto výsledkov sa dajú ľahko vyhodnotiť dvojice referenčných bodov ktoré spôsobujú problémy pri registrácií.



Obr. 41: Target tensions

7.1.5 Úprava mračien bodov

Pred exportom dát je vhodné mračná bodov vyčistiť od nechcených naskenovaných bodov, prípadne celých oblastí a priradiť im farbu.

7.1.5.1 Filtrácia mračien bodov

Pre odstránenie šumu v mračnách bodov sa dajú použiť filtre. Tie sa líšia podľa toho akou metódou identifikujú nesprávny naskenovaný bod a protiopatrenie ktoré následne vykoná. Na výber ich je niekoľko [15] :

- Stray – odstráni naskenované body ktoré vznikli v dôsledku zasiahnutia dvoch objektov alebo nezasiahli žiaden objekt (napríklad oblohu),
- Distance Based – pracuje na základe vzdialeností, dochádza k odstráneniu bodov v určitej vzdialenosti od skeneru,
- Dark Scan Points – pre odstránenie bodov s príliš veľkým šumom,
- Smooth – minimalizuje šum na povrchu.

7.1.5.2 Orezanie mračien bodov

Keďže predmetom záujmu bola len busta a nie celá naskenovaná miestnosť, bolo potrebné skeny orezať. Pre označenie určitej oblasti bol využitý nástroj *Polygonal selection*. Ďalej bol ponúknutý výber, teda ktorá časť má byť vymazaná. Či vnútorná v polygone alebo vonkajšia. Týmto postupom bolo dosiahnuté toho, že v konečnom dôsledku mračno bodov pozostávalo len z bodov pokrývajúcich bustu.

7.1.5.3 Ofarbenie mračien bodov

Okrem informácií o vzdialenosti môže skenovanie obsahovať aj informácie o odrazivosti (stupňoch šedej farby) alebo aj o farbe jednotlivých nasnímaných bodov. Pomocou *Operations – Color / Pictures – Apply Pictures* sa skenovaným bodom priradí farba na základe fotografií získaných skenerom počas skenovania. V prípade tejto práce bola možnosť vytvárania fotografií vypnutá z niekoľkých dôvodov. Skenovaný objekt bol jednofarebný, vypnutím došlo k urýchleniu prací a výsledný model bol plánovaný pre tlačiareň ktorá pracuje s jednofarebným filamentom.

7.1.6 Export mračna bodov

Posledným úkonom v tomto programe bol export upravených dát. V kontextovej ponuke bola vybraná možnosť *Import / Export – Export Scan Points*. V zobrazenom okne bolo zadané miesto uloženia, vybraný formát (e57, wrl, dxf, xyz, xyb, igs, pts, ptx, pod, fls) a hodnota pre riadok a stĺpec. Mračno bodov bolo vyexportované vo formátoch wrl a pod, pričom bol zadaný export bodov z každého riadku a každého stĺpca.

7.2 Vytvorenie 3D modelu na základe fotografií

Autodesk Remake umožňuje vytvorenie podrobných 3D objektov na základe fotografií. Proces vytvorenia modelu bol relatívne rýchly a jednoduchý. Autodesk Remake umožňuje vytváranie modelov dvomi spôsobmi. Buď online odoslaním fotografií do cloudu, alebo offline priamo pomocou počítača. Výhodou online spracovania je že nie je potrebný veľmi výkonný počítač, ako je tomu pri zvolení offline možnosti. Keďže takýto výkonný počítač bol dostupný, bola zvolená možnosť offline spracovania. Taktiež pri offline spracovaní je možná kontrola niektorých parametrov rekonštrukcie ktoré pri online spôsobe možné nie sú. [16]

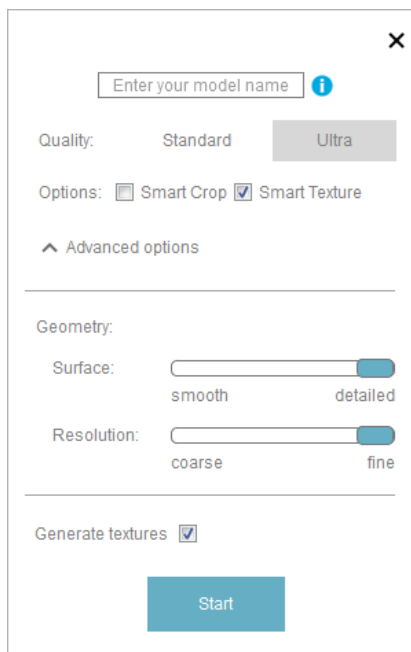
Po zvolení offline možnosti bol vyhláadaný a otvorený priečinok s fotografiami. Po načítaní fotografií sa objavia ich náhľady a je možné odobrať tie ktoré nie sú vhodné pre spracovanie (rozmazané, nedostatočná kvalita, chybná fotografia,...). Po zvolení *Create model* sa zobrazí okno s nastaveniami (Obr. 42).

Na výber sú dva stupne kvality [16] :

- Ultra – generuje model s najvyššou možnou kvalitou geometrie a štruktúry.
- Standard – táto rekonštrukcia je obmedzená na 125 snímok a jej výsledkom je model s nižšou kvalitou.

Pokročilé nastavenia [16] :

- Smoothness – definuje ako hladký bude povrch, viac hladké znamená menej pórov.
- Resolution – znamená koľko pixlov bude použitých na rozdelenie geometrie, vysoké rozlíšenie znamená viac podrobností.



Obr. 42: Možnosti nastavenia

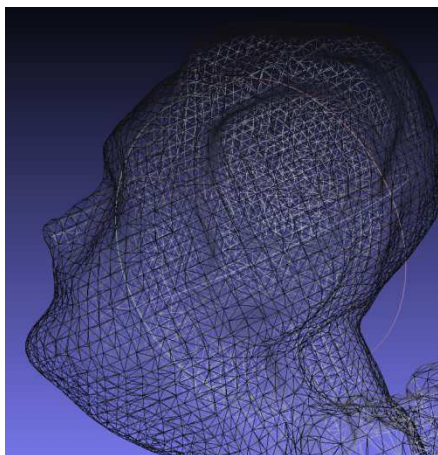
Pri spracovávaní bola zvolená kvalita *Ultra*, hodnota *Surface – detailed*, a *Resolution – fine*. Zvolením *Start* bola rekonštrukcia spustená. Po vytvorení trojuholníkovej siete (meshu) bolo opäť potrebné odstrániť časti ktoré neboli priamo súčasťou objektu. Nepotrebné časti boli najskôr označené jedným z nástrojov *Window*, *Lasso/Fence*, *Brush* a následne boli vymazané. Posledným krokom bol export objektu pomocou funkcie *Export model* kde bol zvolený stl formát.

7.3 Vytváranie a úprava trojuholníkových sietí

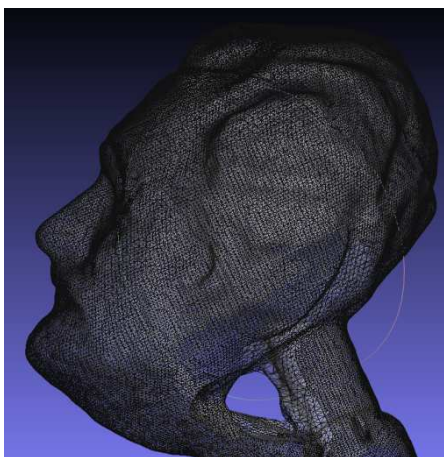
MeshLab je open source program, určený na základné spracovanie a úpravu trojuholníkových sietí. Obsahuje nástroje pre úpravu, čistenie, opravovanie, kontrolu, textúrovanie a konverziu trojuholníkových sietí. Ponúka aj funkcie pre prípravu modelov pre 3D tlač. Program MeshLab nie je vhodný pre spracovanie veľkých mračien bodov (mračná obsahujúce rádovo milióny bodov), avšak v prípade tejto práce kedy počet bodov sa pohybuje v státisícoch je možné rýchlo získať kvalitné výsledky. [17]

Pomocou *File – Import Mesh* bolo ako prvé načítané mračno bodov získané pomocou laserového skenovania. Pred samotnou rekonštrukciou povrchu bolo potrebné previesť výpočet normál bodov. To prebehlo pomocou *Filters – Normals, Curvatures and Orientation – Compute normals for point sets*. Do zobrazeného okna bola zadaná hodnota

Number of neighbors - 10, čo znamená počet bodov použitých pre odhad dotykovej roviny v každej sade bodov. Po výpočte normál sa pristúpilo k tvorbe trojuholníkovej siete a to cez *Filters – Remeshing, Simplification and Reconstruction – Surface Reconstruction: Position*. Opäť bolo potrebné zadať určité hodnoty a to *Octree Depth* a *Solver Divide*. Tieto hodnoty ovplyvňujú podrobnosť vytváraného meshu. Pri prvom meshi (Obr. 43) boli použité východzie hodnoty 6 a 6. Ďalší obrázok (Obr. 44) znázorňuje vzhľad meshu pri nami zadanými hodnotami 8 a 10, ktoré sa javili ako najviac vhodné. Hodnoty *Samples per Node* a *Surface offsetting* boli ponechané vo východzom nastavení a to na hodnote 1.



Obr. 43: Mesh pri nastavení Octree Depth 6, Solver Divide 6



Obr. 44: Mesh pri nastavení Octree Depth 8, Solver Divide 10

Ďalším krokom bola úprava tohto vytvoreného meshu. Použitím *Filters – Smoothing, Fairing and Deformation – Laplacian Smooth* došlo k vyhladeniu povrchu na princípe, že pre každý vrchol bola prepočítaná priemerná poloha z najbližších vrcholov.

Export meshu prebehol cez *File – Export Mesh As...*, kde bolo zadané miesto uloženia, názov a vybratý formát uloženia stl.

Následne rovnakým spôsobom prebehol import meshu vytvoreného na základe fotografií, vyhladenie jeho povrchu a samotný export.

Ďalším použitým programom, ktorý umožňuje upravovať a tvarovať stávajúce modely, načítané z formátov obj, stl, ply, amf, je Autodesk Meshmixer. Ponúka aj možnosť kombinácie rôznych modelov navzájom do nových spojitých tvarov. Obsahuje niekoľko predvolených 3D objektov ktoré je možné ďalej upravovať a kombinovať. [18]

Cez *File – Open* bol ako prvý načítaný model busty z laserového skenovania. Meshmixer obsahuje niekoľko funkcií pre úpravu meshov. Z ponuky bol vybraný nástroj *Sculp – Brush*, ktorý umožňuje manuálnu úpravu meshov. Je možné ľubovoľne meniť jeho veľkosť a silu a taktiež aj konkrétny druh nástroja *Brush*. Týmto spôsobom sa dajú odstrániť nedokonalosti pôvodného meshu, ako napríklad drobné hrbolce, jamky alebo zjemniť niektoré ostré hrany. Nastavenia tohto nástroja je možné rozšíriť pomocou otvorenia *Refinement*, kde sú tieto parametre [18] :

- *Refine* – kontroluje maximálnu dĺžku hrany, pričom hrany o dĺžke väčšej než je maximálna budú rozdelené. Táto hodnota sa kombinuje s veľkosťou nastavenia *Brush*.
- *Reduce* – kontroluje minimálnu dĺžku hrany, pričom hrany ktorých dĺžka je príliš malá zaniknú.
- *Smooth* – kontroluje stupeň vyhladzovania.
- *Adaptivity* – ak táto hodnota nie je nastavená na 0, tak ovplyvňuje spôsob opravy trojuholníkovej siete. A to takým spôsobom že môže dôjsť k zníženiu alebo naopak zhlukovaniu jednotlivých hrán tejto siete.

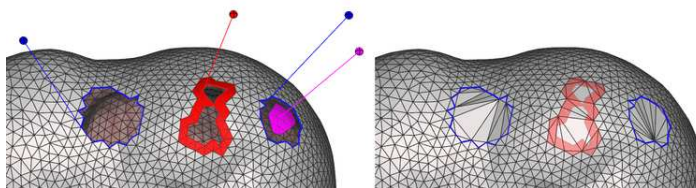
Rôznou kombináciou týchto nastavení boli upravené menšie chyby trojuholníkovej siete.

Ďalším použitým nástrojom bol *Analysis – Inspector*, ktorý je používaný pre opravu chýb trojuholníkovej siete a zabezpečuje že výsledný model bude „vodotesný“ a pripravený na samotnú tlač. Tento nástroj vyhledá všetky medzery, diery, alebo

„plávajúce“ oblasti na skúmanom modeli. Pomocou farieb sú rozlišované tri druhy chýb [18] :

- Modrá – predstavuje otvory v sieti, ktoré sa pri oprave vyplnia.
- Červená – vyznačuje oblasti otvorov ktoré sú medzi sebou spojené minimálne dvomi trojuholníkmi siete. Pri oprave dochádza najskôr k vymazaniu oblasti vyznačenej červenou farbou a otvor je následne vyplnený.
- Ružová – nájdené malé „plávajúce“ oblasti sú pri oprave vymazané a tieto otvory sú vyplnené.

Po vyhľadani chýb a zvolení *Auto Repair All* sú všetky nájdené chyby automaticky opravené. Názorné vyznačenie vyhľadaných chýb a ich opravenie je možné vidieť na obrázku Obr. 45. Export modelu prebehol cez *File – Export* kde bol zvolený formát *.stl*.



Obr. 45: Príklad vyhľadania a opravy chýb trojuholníkových sietí [18]

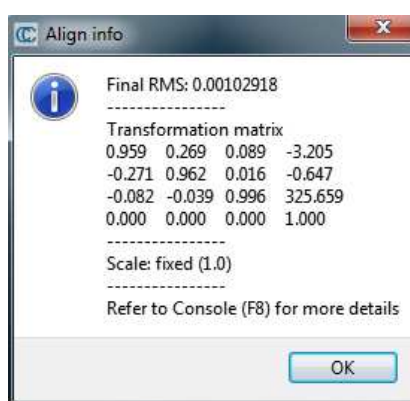
Celý tento postup úpravy chýb a vyplnenia otvorov bol aplikovaný aj na model vytvorený na základe fotografií. Oba modely sú týmto definitívne upravené a pripravené pre 3D tlač.

7.4 Porovnanie výsledných modelov

Cloud Compare je softvér na úpravu a spracovanie 3D mračien bodov. Pôvodne bol navrhnutý k vykonávaniu priamych porovnaní hustých a rozsiahlych mračien bodov. Neskôr bolo užívateľom umožnené taktiež porovnanie 3D mračien bodov s trojuholníkovými sieťami a ďalšie možnosti spracovania mračien bodov (prevzorkovanie, riadenie farieb, výpočet štatistiky, interaktívna alebo automatická segmentácia,...). [19]

Po spustení programu boli cez *File – Open* postupne načítané oba výsledné modely. Vybraný model z fotografií bol pomocou nástroja *Translate/Rotate* presunutý do blízkosti modelu zo skenovania a natočený do rovnakého smeru.

K tomu aby mohli byť oba modely navzájom porovnané je potrebné ich zosúladiť nástrojom *Align*. Nástroj umožňuje používateľovi vybrať niekoľko párov ekvivalentných bodov v každom mračne alebo v trojuholníkovej sieti a následne ich zosúladiť. Najskôr sa zobrazí okno s voľbou fixného meshu, kde bol za fixný vybratý model vytvorený z laserového skenovania. Po tom čo boli vybrané ľahko identifikovateľné odpovedajúce si body na oboch modeloch a zvolená možnosť bez zmeny mierky, bola táto transformácia odsúhlasená. Následne sa zobrazia výsledky transformácie (Obr. 46).

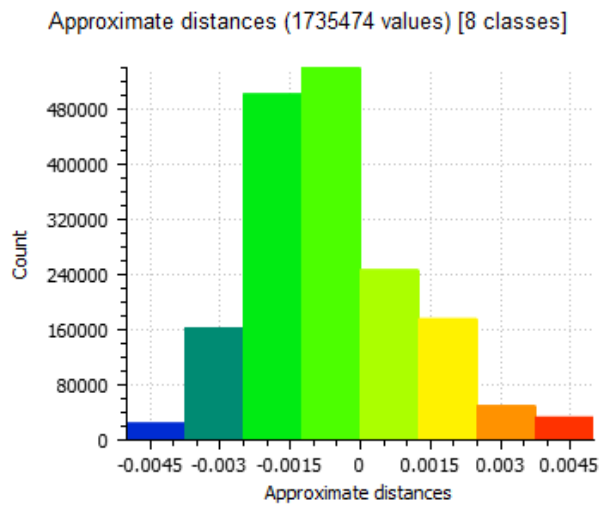


Obr. 46: Výsledok transformácie

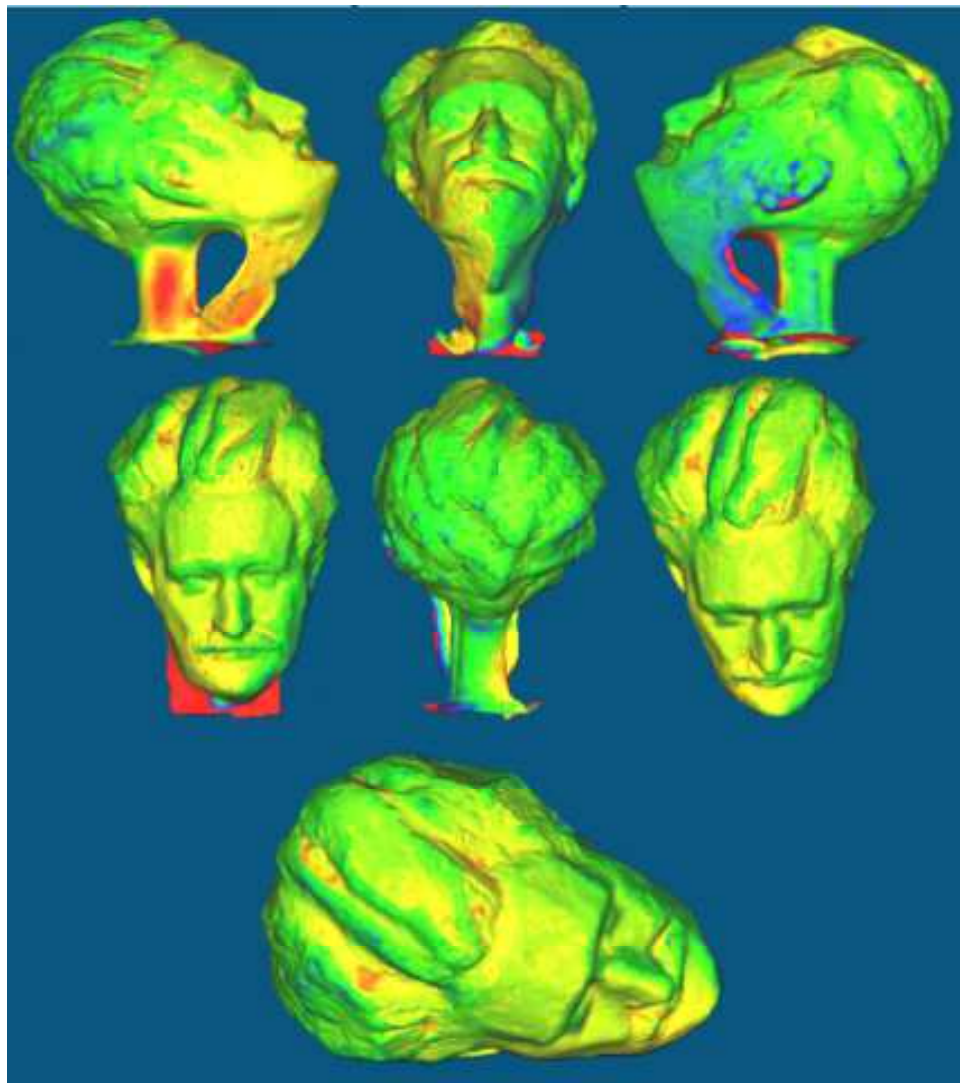
Porovnanie prebieha na princípe určovania vzdialeností medzi jednotlivými bodmi porovnávaného meshu s vyhľadávanými najbližšími bodmi referenčného meshu. Pre tento úkon bolo zvolené *Compute cloud/mesh distance*. Porovnávaných bolo 1 735 474 hodnôt. Väčšina týchto vzdialeností spadá do intervalu $\langle -0,005 \text{ m}; +0,005 \text{ m} \rangle$. Vzdialeností, ktoré dosahovali väčších hodnôt, bolo minimálne množstvo a je možné ich považovať za odľahlé. Podrobnejšie výsledky tohto porovnania sú uvedené v Tab. 4 a taktiež sú znázornené pomocou histogramu (Obr. 47) a súvisiacej série obrázkov (Obr. 48). Ďalšou možnosťou porovnania by mohlo byť napríklad vytvorenie niekoľkých rezov modelmi.

počet porovnávaných hodnôt	1 735 474
interval hodnôt	$\langle -0,005 \text{ m}; +0,005 \text{ m} \rangle$
stredná hodnota	-0,0006 m
smerodajná odchýlka	0,0017 m

Tab. 4: Porovnanie trojuholníkových sietí



Obr. 47: Histogram znázorňujúci odchýlky medzi modelmi



Obr. 48: Farebné zobrazenie odchýlok

7.5 Zváženie využitia ďalších programov

V zadaní tejto práce boli spomenuté dva nasledujúce programy. Budú v krátkosti popísané a bude taktiež zvážená ich využiteľnosť.

7.5.1 Autodesk 3ds Max

Autodesk 3ds Max je jedným zo svetovo najrozšírenejších animačných a vizualizačných programov. Umožňuje tvorbu vizuálnych efektov, animáciu postáv, tvorbu počítačových hier a architektonické, dizajnové vizualizácie. Tým pádom má využitie v oblastiach architektúry, dizajnérstva, nábytkárstva, vývojárstva počítačových hier, filmového priemyslu, súdnej rekonštrukcie, simulácie, lekárstva a v iných oblastiach. [20]

Na rozdiel od väčšiny použitých programov, tento software nie je voľne dostupný. Taktiež ostatné programy umožňovali priamo úpravy a kontroly pre 3D tlač. Preto napriek jeho komplexnosti nebol použitý pri spracovaní tejto práce.

7.5.2 AutoCAD

AutoCAD je taktiež produktom firmy Autodesk a patrí medzi najvyužívanejšie CAD programy. Často slúži ako platforma pre beh nadstavbových aplikácií vyvíjanými nielen Autodeskom. Je využívaný v rôznych oblastiach ako napríklad strojárstve, stavebníctve, architektúre, elektronike, chémii, astronómii, archeológii ale aj v geodézii a ďalších iných. [21]

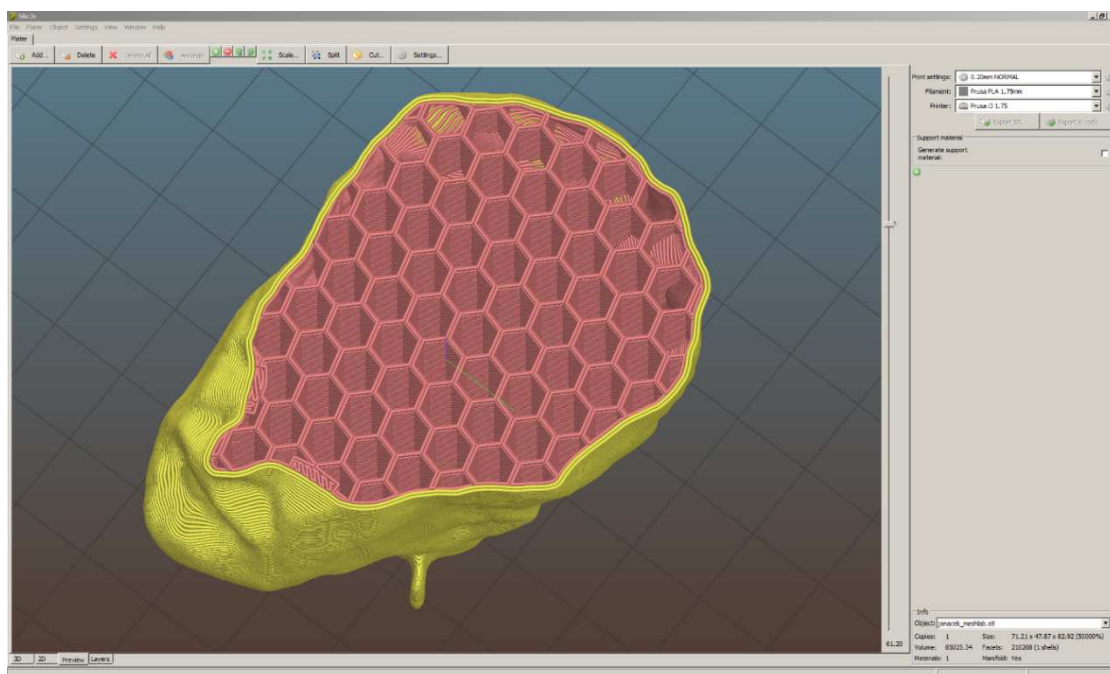
Avšak opäť tento program oproti ostatným neumožňuje úpravu a kontrolu modelov pre 3D tlač. Rovnako ako Autodesk 3ds Max tiež nie je voľne dostupný. Z týchto dôvodov nebol vyhodnotený ako najpraktickejší a najvhodnejší pre účel tejto práce.

7.6 Nastavenia 3D tlačiarne

Pred samotným poslaním 3D modelu na tlač je potrebné najskôr tento model otvoriť v programe Slic3r. Ide o nástroj, ktorý umožňuje konverziu 3D modelu do programovacieho jazyka, G – kódu. Týmto jazykom sú dané tlačové pokyny pre 3D

tlačiareň. Program rozdeľuje model na vodorovné rezy (vrstvy), vytvára dráhy nástrojov na vyplnenie a vypočítava množstvo materiálu, ktorý bude použitý na tlač.[22]

Pred vygenerovaním G – kódu je možné nastaviť jednotlivé parametre tlače. Pre úsporu materiálu sa pri tlačiarňach technológie FDM volí hrúbka povrchovej škrupiny, pričom vnútro modelu ostáva duté. Automaticky sú taktiež umiestňované podpery na vonkajšej ploche, ktoré umožňujú tlač všetkých častí modelu. Tieto podpery sa po vytlačení objektu dajú jednoducho odstrániť. Vo vnútri objektu sú vytvárané výstuže, ktoré vytlačený model spevňujú. Taktiež sa dá voliť horizontálna rezová rovina, čo umožňuje tlač len tej časti objektu ktorá je potrebná.



Obr. 49: Prostredie programu Slic3r

8 ZÁVER

Cieľom tejto práce bolo naskenovanie zadanej busty a vytvorenie jej 3D modelu. Tento objekt bol taktiež zdokumentovaný pomocou série fotografií a na ich základe bol tiež vytvorený 3D model. Oba tieto modely boli vzájomne porovnané.

Prvá časť spracovania sa týkala laserového skenovania. Konkrétne, získané 3D mračná bodov boli upravené a vzájomne pospájané. Pre registráciu mračien boli použité referenčné sféry. Tieto úkony boli vykonané v programe FARO SCENE 5.5.

Ďalej sa pristúpilo k vytvoreniu trojuholníkovej siete v programe MeshLab. Táto sieť bola následne upravovaná.

V druhej časti práce bola z fotografií pomocou programu Autodesk Remake vytvorená trojuholníková sieť. Tento mesh bol upravený rovnakým spôsobom ako aj predchádzajúci, vytvorený na základe laserového skenovania.

Posledná časť práce bola zameraná na vzájomné porovnanie týchto dvoch modelov. Toto porovnanie prebehlo v programe Cloud Compare, pomocou určovania vzdialeností medzi bodmi na buste z laserového skenovania a na druhej, vytvorenej z fotografií. Týmto porovnaním bolo zistené že 95% rozdielov medzi spomínanými dvomi modelmi spadá do intervalu $(-4,0 \text{ mm}; +2,8 \text{ mm})$.

Pre bežného používateľa môže byť 3D model, vytvorený z fotografií, svojou presnosťou postačujúci. Taktiež môže byť výhodou rýchle a nenáročné získavanie dát potrebných pre tvorbu modelu. Ďalšiu výhodu poskytovanou programom Autodesk Remake, je možnosť využitia online spracovania fotografií. Vďaka tomu nie je vyžadovaný vysoko výkonný počítač pri tvorbe 3D modelu. Jednou z možností ako by sa dali výsledky tejto metódy spresniť, by bolo použitie kalibrovaného fotoaparátu. Program Autodesk Remake ale možnosť zadania kalibračných údajov neposkytuje.

Avšak ak sú požadované presné rozmerové a polohové informácie o zameriavanom objekte je podstatne vhodnejšie využitie metódy laserového skenovania. Výhodou je taktiež aj to, že laserové skenovanie nie je závislé od osvetlenia objektu, na rozdiel od toho, ako je tomu pri fotografovaní. Spracovanie je ale naopak o niečo náročnejšie a vyžaduje použitie vysoko výkonného počítača.

Požadovaná podrobnosť výsledného modelu závisí nielen od formy následného použitia tohto modelu, ale taktiež aj od mierky v akej bude tento model vytlačený. V prípade podstatného zmenšenia modelu nemusia byť niektoré detaily vytvorené. Ďalšou skutočnosťou, ktorú je vhodné zvážiť, sú možnosti danej 3D tlačiarne a technológie ktorú používa. Teda do akej miery bude možné vytvorenie podrobných detailov.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

[1] ŠTRONER, Martin. 3D skenovací systémy. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013. ISBN 978-80-01-05371-3

[2] ŠTRONER, Martin a Jiří POSPÍŠIL. Terestrické skenovací systémy. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008. ISBN 978-80-01-04141-3

[3] PAVELKA, Karel a Jindřich HODAČ. Fotogrammetrie 3: digitální metody a laserové skenování. Praha: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-03978-6

[4] FARO LASER SCANNER FOCUS 3D [online]. 2011, ©FARO Technologies Inc. [cit. 2.5.2017]. Dostupné z: doarch332.files.wordpress.com/2013/11/e866_faro_laser_scanner_focus3d_manual_en.pdf

[5] PAVELKA, Karel. Laserové skenování – nová technologie sběru prostorových dat. V Praze: České vysoké učení technické, 2006. Habilitační přednášky. ISBN 80-01-03501-8

[6] FARO Company Profile [online]. ©FARO Technologies Inc. [cit. 7.5.2017]. Dostupné z: <http://www.faro.com/en-us/about-faro/facts/company-profile>

[7] Canon EOS 60D [online]. 2017, [cit. 4.5.2017]. Dostupné z: http://www.canon.cz/for_home/product_finder/cameras/digital_slr/eos_60d/#specification

[8] TAMRON [online]. 2017, [cit. 4.5.2017]. Dostupné z: <http://www.tamron-objektivy.cz/default.asp?cls=stoitem&stiid=12525&whisperword=17-50>

[9] ZÁKLADY 3D TISKU [online]. 2014, ©Prusa Research s.r.o. [cit. 22.4.2017] Dostupné z: <http://www.prusa3d.cz/kniha-zaklady-3d-tisku-josefa-prusi/>

[10] Technológia [online]. 2015, © Sethal [cit. 7.5.2017]. Dostupné z: <http://sethal.sk/technologia>

[11] ARCHITEKTURA [online]. 2016, ©3Dwiser s.r.o. [cit. 4.5.2017]. Dostupné z: <https://3dwiser.com/vyuziti-v-praxi/architektura/>

[12] DEHUE, Robert. Revolutionary 3D Printed Dental Prosthesis [online]. 2017, © 3DPrinting.com [cit. 4.5.2017]. Dostupné z: <https://3dprinting.com/dental/patients-extremely-satisfied-with-revolutionary-3d-printed-teeth-prosthesis/>

[13] THURZO, Andrej. 3D tlač v medicíne [online]. 2015, [cit. 4.5.2017]. Dostupné z: <http://lekar.pluska.sk/clanky/3d-tlac-v-medicine>

[14] BLACHUT, Beno. Leoš Janáček [online]. 2017, [cit. 6.5.2017]. Dostupné z: <http://www.narodni-divadlo.cz/cs/umelec/leos-janacek>

[15] SCENE 5.5 - USER MANUAL [online]. 2015, ©FARO Technologies Inc. [cit. 7.5.2017]. Dostupné z: <http://www2.faro.com/downloads/files/scene/>

[16] AUTODESK REMAKE – GETTING STARTED GUIDE [online]. 2016, ©AUTODESK [cit. 7.5.2017]. Dostupné z: https://remake.autodesk.com/assets/Autodesk_ReMake_Guide_01.pdf

[17] MeshLab [online]. 2016,[cit. 7.5.2017]. Dostupné z: <http://www.meshlab.net/>

[18] MM MANUAL [online]. 2017,[cit. 7.5.2017]. Dostupné z: <http://www.mmmanual.com/>

[19] Introduction [online]. 2016,[cit. 7.5.2017]. Dostupné z: <http://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Introduction>

[20] Autodesk 3ds Max [online]. 2017,[cit. 7.5.2017]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz/3dsmax?gclid=C1atkvOngdQCFaEW0wodTO8D0Q>

[21] AutoCad (AutoCAD 2018) [online]. 2017,[cit. 7.5.2017]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz/autocad>

[22] Slic3r [online]. 2017,[cit. 7.5.2017]. Dostupné z: <http://slic3r.org/about>

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1: Znázornenie metódy priestorového pretínania vpred [2]	12
Obr. 2: Znázornenie priestorovej polárnej metódy [2]	13
Obr. 3: Elektronické určovanie dĺžky [1]	13
Obr. 4: Metóda fázového posunu [1]	14
Obr. 5: Optoelektronické určovanie dĺžky [1]	15
Obr. 6: Rozmetanie zväzku lúčov pomocou zrkadla [1]	16
Obr. 7: Rozmetanie zväzku lúčov pomocou hranolu [1]	16
Obr. 8: Referenčná sféra	18
Obr. 9: Referenčný šachovnicový terč [4]	19
Obr. 10: Rozdelenie skenerov podľa princípu zberu dát [1]	19
Obr. 11: Rozdiel medzi geodetickým meraním a skenovaním [1]	21
Obr. 12: FARO Focus 3D S 120 [4]	23
Obr. 13: Znázornenie princípu merania [4]	24
Obr. 14: Rozsah rotácie odrazného zrkadla a otočenia skeneru [4]	25
Obr. 15: Domovská obrazovka operačného systému [4]	26
Obr. 16: Zmena parametrov skenovania [4]	26
Obr. 17: Preddefinované profily skenovania [4]	27
Obr. 18: Nastavenie rozlíšenia a kvality skenovania [4]	27
Obr. 19: Nastavenie rozsahu skenovania [4]	29
Obr. 20: Teplotný senzor [4]	29
Obr. 21: Úchylkomer [4]	30
Obr. 22: Kompas [4]	31
Obr. 23: Výškomer [4]	32
Obr. 24: Canon EOS 60D [7]	34
Obr. 25: 3D tlačiareň technológie FDM [9]	37
Obr. 26: Využitie 3D tlače v architektúre [11]	38
Obr. 27 Model pre odlievanie [10]	39
Obr. 28: Oceľový odliatok [10]	39
Obr. 29: Dizajnová lampa [10]	39
Obr. 30: 3D tlač v stomatológii [12]	40
Obr. 31: Model chodidla pre predoperačné plánovanie [13]	40

Obr. 32: Leoš Janáček [14]	41
Obr. 33: Busta Leoša Janáčka	41
Obr. 34: Náčrt rozmiestnenia referenčných sfér a polohy skeneru.....	42
Obr. 35: Znázornenie smerov fotografovania v jednotlivých krokoch.....	43
Obr. 36: Príklady vyhotovených fotografií.....	44
Obr. 37: Označovanie sfér	47
Obr. 38: Možnosti spojenia skenov	48
Obr. 39: Nastavenia spojenia skenov.....	48
Obr. 40: Scan results	49
Obr. 41: Target tensions.....	49
Obr. 42: Možnosti nstavenia.....	52
Obr. 43: Mesh pri nastavení Octree Depth 6, Solver Divide 6.....	53
Obr. 44: Mesh pri nastavení Octree Depth 8, Solver Divide 10.....	53
Obr. 45: Príklad vyhľadania a opravy chýb trojuholníkových sietí [18]	55
Obr. 46: Výsledok transformácie.....	56
Obr. 47: Histogram znázorňujúci odchýlky medzi modelmi.....	57
Obr. 48: Farebné zobrazenie odchýlok	57
Obr. 49: Prostredie programu Slic3r.....	59

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1: Nastavenie rozlíšenia a kvality skenovania [4]	28
Tab. 2: Nastavenie parametrov skenovania	43
Tab. 3: Nastavenia parametrov fotoaparátu	44
Tab. 4: Porovnanie trojuholníkových sietí.....	56

ZOZNAM PRÍLOH

Elektronická podoba :

Príloha č. 1: Digitálny model busty vytvorený na základe laserového skenovania vo
formáte stl