

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ –
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

Hornicko – geologická fakulta

Institut geodézie a důlního měřičství

**POROVNÁNÍ 3D MODELU VYHOTOVENÉHO
FOTOGRAMMETRICKY A 3D SKENOVÁNÍM**

Diplomová práce

Autor:

Bc. Bugajová Viera

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Peter Pisca, Ph.D.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut geodézie a důlního měřictví

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Viera Bugajová**
Studijní program: N3646 Geodézie a kartografie
Studijní obor: 3646T007 Inženýrská geodézie
Téma: **Porovnaní 3D modelu objektu vyhotoveného fotogrammetricky a 3D
skenováním**
**Comparison of 3D Object Model Prepared by Photogrammetry and 3D
Scanning**

Zásady pro vypracování:

1. Vyberte vhodný objekt
2. Proveďte kalibraci fotoaparátu
3. Nasnímejte vybraný objekt
4. Zaměřte vybraný objekt 3D skenerem
5. Zpracujte měření
6. Proveďte tabulkové a grafické porovnání výsledků

Seznam doporučené odborné literatury:

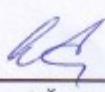
GÁL, P.; GREGOR, V.: *Fotogrametria. Doplnujúce state a inovácie*, ES SVŠT Bratislava, 1989
GÁL, P.: *Fotogrametria*, SNTL Bratislava 1965
BITTERER, L.: *Analytické fotogrametrické vyhodnotenie priestorových zmien dopravných objektov,*
V. Ú. III-2-4/03 *Meranie deformácií vysokých železničných násypov a návrhy na zmenšenie deformácií,*
VŠDS 1985
<http://www.geotech.sk/Produkty/Laserove-skenery-HDS/Leica-ScanStation-C10.html>

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

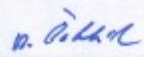
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Peter Pisca, PhD.**

Datum zadání: 31.10.2012

Datum odevzdání: 30.04.2013


Ing. Pavel Černota, Ph.D.
vedoucí institutu




prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.
děkan fakulty

Prohlášení

Celou diplomovou práci včetně příloh jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

Byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).

Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>.

Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 30. 4. 2013

Bc. Viera Bugajová

Bugajová

Poděkování

Chtěla bych poděkovat všem, kteří mi jakkoliv pomohli při tvorbě této diplomové práce. Zvláštní poděkování patří vedoucímu mé diplomové práce Ing. Petrovi Piscovi, PhD. za podporu a odbornou pomoc při tvorbě této diplomové práce a dále Ing. Jozefovi Beňavovi za vysvětlení postupu při tvorbě modelu v programu Leica Cyclone a dále firmě Leica Geosystem a Ing. Miroslavovi Kováčovi za poskytnutí programu a licence.

Anotace

Obsahem diplomové práce je teoretické porovnání 3D modelu vyhotoveného fotogrammetricky a 3D skenováním a zpracování skenování suterénu Žilinské Univerzity. Teoretická část diplomové práce je složena ze dvou kapitol. První kapitola je věnována teorii fotogrammetrie. Je zde popsána základním rozdělením, metodami, orientací snímků a digitální fotogrammetrií. Ve druhé kapitole je popsána teorie laserového skenování. V praktické části je podrobněji popsán postup pro měření, vyhotovení obou metod a jejich porovnání, dále jsou zmíněny podrobné informace o použitých přístrojích a softwarech. Další kapitola je věnovaná zpracování mračna bodů 3D modelu suterénu v programu Leica Cyclone.

Klíčová slova

PhotoModeler, digitální fotogrammetrie, snímky, 3D laserový skener, mračno bodů, Leica Cyclone

Annotation

The thesis contains a theoretical comparison of the 3D model made out by photogrammetric and 3D scanning and processing of scanning the basement of the University of Žilina. First part of the work consists of two parts. The first half is devoted to the theory of photogrammetry. It is described by a fundamental division, by the methods, the orientation of images and digital photogrammetry. The second half consists of the theory of laser scanning, which includes development, principle, distribution and use of laser scanner. The second part describes in detail the procedure for measuring, copies of both methods and comparison of methods. There are detailed information about the devices and software. The third part is devoted to the cloud 3D cloud model of the basement in the Leica Cyclone programme.

Keywords

PhotoModeler, digital fotogrammetry, images, 3D laser scanner, point cloud , Leica Cyclone

Úvod	7
1. Teorie fotogrammetrie	8
1.1. Pojem a úloha fotogrammetrie	8
1.2. Využití fotogrammetrie	8
1.3. Rozdělení fotogrammetrie	9
1.4. Metody fotogrammetrie	10
1.4.1. Průseková fotogrammetrie	10
1.4.2. Stereoskopie	12
1.5. Základní pojmy fotogrammetrie	12
1.5.1 Orientace snímky	13
1.6. Digitální fotogrammetrie	15
2. Laserové skenování	16
2.1 Vývoj 3D skeneru	16
2.2 Princip laserového skenování	17
2.3 Druhy laserových skeneru	18
2.4 Využití 3D skeneru	20
2.5 Vlivy působící na měření laserových skenerů	20
3. Teoretické porovnání 3D modelů a jejich zpracování	22
3.1 Tvorba 3D modelu v PhotoModeler scanner	23
3.1.1 Snímání objektu výběrem vhodných snímků	24
3.1.2 Postup při tvorbě 3D modelu v PMS	25
3.1.3 Stanovení přesnosti modelu	30
3.2 Tvorba 3D modelu v programu Leica Cyclone	31
3.2.1 Skenování objektu	32

3.2.2 Postup při tvorbě 3D modelu v programu Leica Cyclone.....	33
3.2.3 Stanovení přesnosti modelu	41
3.3 Porovnání 3D modelů	42
4. Vyhotovení 3D modelu –suterénu v Leica Cyclone	45
4.1 Postup měření.....	45
4.2 Postup při vyhotovení 3D modelu.....	47
Závěr	49
Seznam zkratk	51
Seznam literatury	52
Seznam obrázků	54
Seznam tabulek	55
Seznam příloh	57

Úvod

Nejčastěji používanou metodou sloužící k dokumentaci objektů je metoda fotogrammetrie, v minulosti především analogová, v současnosti nahrazována digitální fotogrammetrií. Novou metodou, stále častěji využívanou v této oblasti, je laserové skenování moderními laserovými skenery schopnými zaměřit v krátkém čase několik tisíc bodů sledovaného objektu. Obě moderní metody mají své výhody i nevýhody, které určují jejich konkrétní využití při zachovávání kulturního a architektonického dědictví.

Cílem mé diplomové práce je poukázat na jedno z mnoha využití fotogrammetrie a laserového skenování v praxi.

Práce je rozdělena na čtyři části, kde první a druhá kapitola je věnována teoriím fotogrammetrie a laserového skenování. Třetí kapitola se zabývá teoretickým porovnáním modelů vyhotovených pomocí digitálních snímků a laserového skenování. V této části jsou podrobněji vysvětleny postupy pro vyhotovení modelu. V závěru třetí kapitoly je porovnávána metoda a software pro vyhotovení 3D modelu. Čtvrtá kapitola je věnována vyhotovení 3D modelu laserového skenování, jedná se o model suterénu nacházejícího se v areálu Žilinské univerzity.

Při zpracování diplomové práce byly použity informace z různých podkladových materiálů a zdrojů. Při definování pojmů a objasnění teorie fotogrammetrie a laserového skenování se vycházelo především z odborné literatury. Praktická část práce se zakládá jak na informacích získaných při vlastním zpracování 3D modelu, tak z různých učebních textů a závěrečných prací.

1. Teorie fotogrammetrie

Úvodní kapitola se zabývá objasněním fotogrammetrie jakožto vědního oboru, vysvětlením některých základních pojmů fotogrammetrie a její využití v praxi. Zároveň pro lepší pochopení celé problematiky jsou v této části vysvětleny fotogrammetrické metody, na jejichž principu je založen i software, ve kterém je zpracována část mé diplomové práce.

1.1. Pojem a úloha fotogrammetrie

Cituji dle Bitterer fotogrammetrie je vědní obor zabývající se získáváním velkého množství informací o předmětech na základě exaktního měření. Je to soubor metod pro získání kartografických nebo geodetických souřadnic, rozměrových souřadnic staveb, budov, místností a jednotlivých objektů na základě analogové, nebo digitální fotografie. Využívá optické, fotogrammetrické a geometricko-matematické metody. V minulosti se používaly hlavně analogové metody optické a geodetické měření. Jelikož dnes je používána především digitální fotografie a souřadnice jsou zpracovávány digitálně, můžeme tyto metody považovat za digitalizační.[2]

Úkolem je převést informace z centrální projekce snímku na ortogonální projekci (např. půdorys, nárys profily atd.). Tohoto můžeme docílit různými metodami nebo různými grafickými, optickými nebo mechanickými a analytickými prostředky. Takovým způsobem můžeme přímé měření v terénu nebo na objektech nahradit měřením na snímcích, resp. optických nebo geometrických modelech, vytvořených dvojicí vzájemně závislých snímků.

1.2. Využití fotogrammetrie

Fotogrammetrie má mnoho uplatnění a to nejen v oboru geodézie a kartografie, kde je využívána jako důležitá mapovací metoda, ale i v různých jiných oblastech lidské činnosti. Mezi nejužívanější patří:

- lesnictví – při odhalování a odstraňování škod vzniklých požáry, vichřicemi,
- zemědělství – při úpravě pozemků (např. při dělení pozemků),
- armáda – zjišťování nepřátelských pozic, tzv. špionáž,
- strojírenství – proměřování výrobků přesného strojírenství,
- vodní hospodářství – určování digitálního modelu terénu,
- policie – kriminalistika, dokumentace těžkých dopravních nehod.

1.3. Rozdělení fotogrammetrie

Fotogrammetrie se během svého vývoje rozdělila na různé typy podle:

- polohy stanoviště (podzemní, letecká a družicová fotogrammetrie),
- počtu vyhodnocovaných snímků (jedno-, více-snímková fotogrammetrie),
- způsobu zpracování (analogová, digitální fotogrammetrie),
- typu výstupu (grafické, číselné).

A, Podzemní fotogrammetrie

Principem této metody je, že stanoviště je nepohyblivé a umístěné na zemi. Při fotografování můžeme určit přesné geodetické souřadnice stanoviště a prostorový orientační snímek. Nedostatkem podzemní fotogrammetrie je však to, že jednotlivé předměty měření jsou vzájemně zakrývány a snímek obsahuje často značnou část nevyhodnotitelných oblastí.[6]

B, Letecký fotogrammetrie

V metodě letecké fotogrammetrie je stanoviště předem získaného snímku umístěno v letadle, nebo v jiném dopravním prostředku (balón, vrtulník). Na leteckém snímku se zobrazí docela větší plocha, než na snímku podzemní fotogrammetrie. Značnou nevýhodou je, že není možno určit prostorovou polohu snímku. Způsob pořízení i zpracování jsou složitější než při použití podzemní fotogrammetrie. Letecká fotogrammetrie má v současnosti obrovský potenciál využití (např. zemědělství).[6]

C, Družicová fotogrammetrie

Družicová fotogrammetrie vznikla na základě špionážních a interpretačních snímků specializovaných družic. Uplatnění družicových snímků přišlo po startu družice Sport-1, jelikož tato družice byla vybavena elektronickým skenerem. Takto získané snímky však nebylo možno vyhodnotit na běžném zařízení, a proto bylo nutno vytvořit speciální programové vybavení v oblasti digitální fotogrammetrie.

1, Jedno-snímková fotogrammetrie

Při jedno-snímkové fotogrammetrii se využívá pouze samostatných měřičských snímků. Na jednom snímku můžeme měřit pouze rovinné souřadnice a můžeme vyhotovit pouze obraz roviny, a to buď půdorys, nebo nárys. Podzemní fotogrammetrie využívá jedno-snímkové metody pro tvorbu fotoplánů rovinných objektů např. nepříliš členěných

fasád domů. V letecké fotogrammetrii bývá osa záběru převážně svislá, proto je možné jedno-snímkovými metodami získat polohopisnou složku mapy rovinného území.

2. Více-snímková fotogrammetrie

Cituji dle Pavelka více-snímková fotogrammetrie slouží pro 3D zpracování a vyžaduje vždy nejméně dva vzájemně se překrývající snímky. Z jednoho snímku lze určit pouze 2D souřadnice a při přechodu na 3D souřadnice je potřebné využití dalšího měření, tím pádem i dalšího snímku. Předmět měření musí být současně zobrazen na obou snímcích a ze snímkových souřadnic objektu na obou snímcích tak můžeme vypočítat jeho prostorou 3D polohu.

Stereoskopii lze využít, pokud mají snímky alespoň přibližně rovnoběžné osy záběrů. Na vyhodnocení obsahu snímků se používá umělého stereoskopického vjemu, který umožňuje vytvořit prostorový model předmětu měření. Stereofotogrammetrie je dnes nejvíce využívanou.

Pokud osy záběrů snímků jsou navzájem konvergentní, hovoříme o více-snímkovém prostorovém prolínání, technologicky se jedná o průsekovou metodu. Konvergentní množinu orientovaných snímků lze vyhodnotit pouze bodově za předpokladu, že stejný bod či objekt lze identifikovat minimálně na dvou snímcích [1].

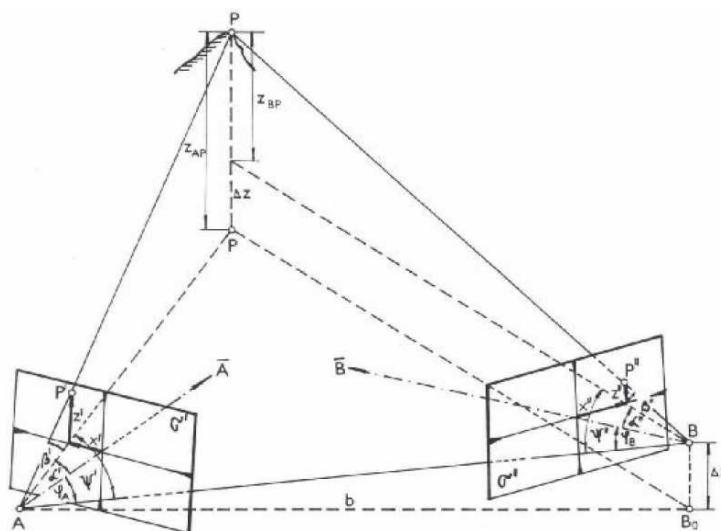
1.4. Metody fotogrammetrie

Dle diplomové práce Hladiš cituji dnešní programy používané ve fotogrammetrii ke zpracování a vyhodnocování různých úkolů vycházejí ze základních metod fotogrammetrie. Jinak tomu není ani v případě softwaru PhotoModeler Scanner (PMS), ve kterém skutečným zpracování jednoduchého objektu. Proto v následujících řádcích budou stručně vysvětleny principy některých z metod klasické fotogrammetrie. Software PMS využívá hned dvě fotogrammetrické metody, a to metodu průsekové fotogrammetrie a metodu stereoskopie.[11]

1.4.1 Průseková fotogrammetrie

Průseková fotogrammetrie patří mezi nejstarší metody, v současnosti je metodou nejčastěji používanou. V principu se jedná o úlohu protínání vřed, řešená pomocí měřeckých snímků, jak můžeme vidět na *0br.1*. Poloha jednotlivých bodů se určuje rigonometricky. Rozhodujícím faktorem v rozvoji pozemní fotogrammetrie bylo

vynalezení a vývoj podzemní fotokamery, tzv. fototeodolitu. Ve fototeodolitech se zhodnocují snímky, které se potom vyhodnocují graficky, nebo graficko – počítařsky. Objekt zájmu se snímá ze dvou, nebo třech stanovišť, které jsou obvykle určeny geodeticky polohově i výškově. Nevýhodou této metody je, že jsou základnice dlouhé a identifikace bodů na snímcích je velmi obtížná. Průseková fotogrammetrie dnes nachází své uplatnění hlavně při snímcích architektonických děl. Další uplatnění má ve vysokohorských oblastech a hlavně tam, kde nejsou přístupné speciální vyhodnocovací přístroje.[6]



Obr. 1 Průseková fotogrammetrie [2]

Princip této metody spočívá v tom že, známe geodetické souřadnice stanovišť a průsečíky os záběru, můžeme tak vypočítat směrníky \overline{AP} a \overline{BP} . Připočtením či odečtením úhlu na pravém a levém stanovišti lze určit směry pro protínání vřed ze směru. Nadmořské výšky se určují jako při trigonometrickém měření dvakrát. Na snímcích se měří monokulárně, a proto vznikají problémy s identifikací stejných bodů na pravém a levém snímku [2].

Moderní metoda průsekové fotogrammetrie využívá pouze metody založené na technologii průsečíku na podrobném bodu. U komor a analytického řešení odpadá jakékoliv geodetické měření na stanovišti (potřebné hodnoty se vypočítají při iteraci). Jedinou nutností je co nejlepší zaměření nadbytečného počtu lícovacích bodů (6 – 8 identifikovatelných a dobře konfigurovaných lícovacích bodů pro model) [3].

1.4.2 Stereoskopie

Cítuji podle Bitterera stereoskopie je technologie, která umožňuje prostorový zrakový vjem vyvolaný dvourozměrnou předlohou např. pomocí stereoskopických brýlí. Je známo přirozené a umělé vidění.

Přirozené vidění - je založeno na současném pozorování předmětu oběma očima. Pozorování jedním okem se nazývá pozorování monokulární a pozorování oběma očima je pozorování binokulární. Binokulární pozorování krajiny nebo stereoskopických snímků dává člověku vzácnou možnost automaticky určovat relativní vzdálenost předmětu. Tohoto lze přibližně docílit i monokulárním pozorováním pouze na základě představy o velikosti objektů [2].

Umělé vidění - pokud pozoruji dvojici snímků, které mají horizontální paralaxy, pak při binokulárním pozorování vzniknou na oční sítnici odpovídající podráždění, které v mozku vyvolají umělý prostorový vjem (stereoefekt). Podmínkou stereoskopického vidění je, aby každému oku byl předložen samostatný obraz, ten musí obsahovat horizontální paralaxy. Snímky je potřeba předložit tak, aby pozorované paprsky ležely v uzlových rovinách. Mezi základní pomůcky potřebné pro umělé stereoskopické vidění můžeme zařadit stereoskopy, které dělíme na čočkové, zrcadlové a hranolové.

Stereoskopie se využívá pro zobrazování 3D filmů, vědeckých dat (chemie, geologie) nebo v robotické chirurgii.

1.5. Základní pojmy fotogrammetrie

Teoretickým základem fotogrammetrické metody je skutečnost, že fotografický snímek je centrální perspektivou, kterou můžeme různými grafickými, optickými nebo mechanickými prostředky transformovat na ortogonální projekci. Tato skutečnost umožňuje měření v terénu nahradit měřením na snímku. Fotografický snímek je středový průmět předmětu do roviny, přičemž střed promítání je středem objektivu fotokomory a obrazovou rovinou je fotografická deska nebo film. Paprsky spojující body fotografovaného předmětu přes projekční centrum s odpovídajícími body na snímku, nazýváme určovacími paprsky. Jejich soubor v rámci jednoho snímku pak fotogrammetrickým svazkem paprsků.[12]

1.5.1 Orientace snímky

Geometrickým principem vzniku fotografického a tedy i fotogrammetrického (měřičského) snímku je centrální projekce. Vztah mezi předmětem a jeho fotogrammetrickým snímkem v době expozice definuje tzv. fotogrammetrický svazek paprsků přecházející středem promítání. Když známe tvar a polohu fotogrammetrického svazku paprsků, můžeme rekonstruovat tvar a velikost předmětů zobrazených na snímku [2].

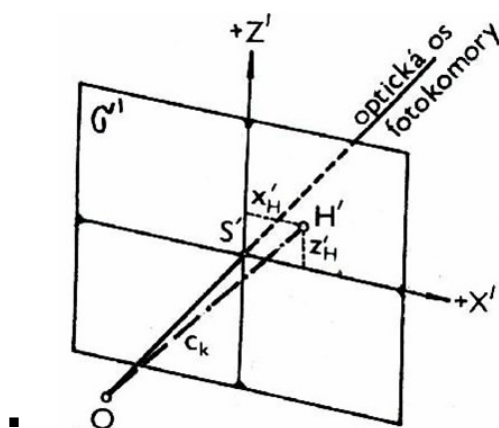
Prvky *vnitřní orientace snímku* nám určují tvar fotogrammetrického svazku paprsků. Jeho polohu v prostoru určují prvky *vnější orientace snímku*. Snímkovými souřadnicemi vyjadřujeme polohu jednotlivých předmětů zobrazených na snímku.

Vnitřní orientace

Chceme-li na získaném snímku provádět měření, musíme znát jeho prvky vnitřní orientace. Můžeme obnovit tvar fotogrammetrického svazku paprsků, který se podílel na vzniku snímku. Dané prvky vyjadřují vztah, který je mezi středem promítání a obrazovou rovinou (obr. 2). Prvky vnitřní orientace snímku se určují kalibrací.

Danými prvky jsou:

- *Hlavní snímkový bod H'* = stopník kolmice spuštěné ze středu promítání na rovinu měřičského snímku. Jeho polohu vyjádříme v systému snímkových souřadnic.
- *Konstanta fotokomory ck* = vzdálenost projekčního centra od hlavního snímkového bodu. Měřičské komory jsou trvale zaostřené na nekonečno. Konstanta fotokomory je proto velmi blízká ohniskové vzdálenosti f a často se s ní i zaměňuje.
- *Zkreslení objektivu* = při pozemních fotogrammetrických objektivách je většinou tak malé, že ho můžeme zanedbat. Při digitální fotogrammetrii jej zanedbat nemůžeme. Určuje se kalibrací.

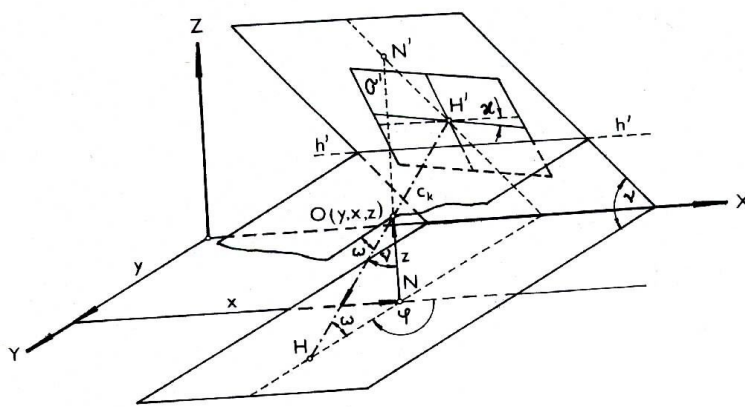


Obr. 2 Vnitřní orientace[2]

Vnější orientace

Prvky vnější orientace snímku definují polohu fotogrammetrického svazku paprsků v prostoru (obr. 3). V pozemní fotogrammetrii mezi prvky vnější orientace řadíme:

- *prostorové souřadnice fotogrammetrického stanoviště* = souřadnice středu promítání $O(y, x, z)$,
- *stočení snímku* φ = představuje úhel mezi vodorovným průměrem osy záběru a daným směrem v horizontální rovině,
- *sklon osy záběru* ω = úhel, který svírá osa záběru s vodorovnou rovinou,
- *pootočení snímku* χ = představuje úhel, který svírá spojnice protilehlých rámových značek s určitým směrem, nebo přímkou.



Obr. 3 Vnější orientace

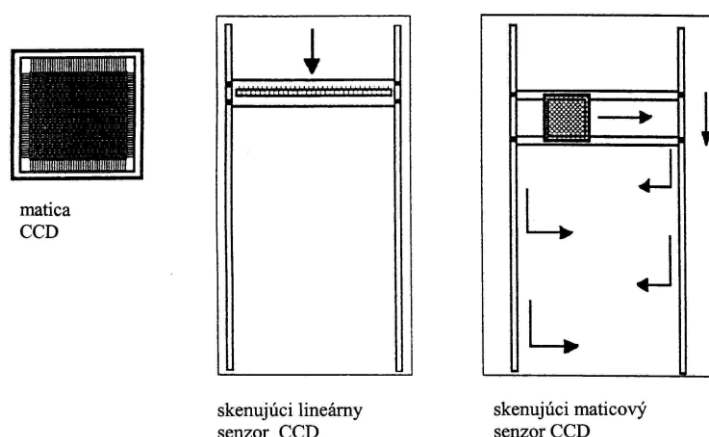
1.6. Digitální fotogrametrie

Na základě digitální fotogrametrie zpracovává program PhotoModeler údaje, které byly získány digitalizací obrazu, resp. snímku, proto je tato podkapitola věnována digitálnímu snímku resp. obrazu.

Digitální snímek (obraz) je záznam elektronických prvků. Světlo odražené od předmětů je usměrněno do ohniskové roviny komory, kde dopadá na mikroelektronické součástky, které reagují na intenzitu povrchového náboje světlo-citlivého elementu. Intenzita náboje se vyjadřuje číselně a zaznamenává se ve dvojkové soustavě. Kvalita rozlišovací schopnosti snímku závisí na počtu světlo-citlivých prvků, které digitálně charakterizuje záznam snímaného objektu.

Digitální obraz je záznam elektronických prvků. Primární získání digitálního obrazu je umožněno konstrukcí snímacího zařízení. Čidlo přímo registruje radiometrické veličiny z oblasti zdroje záření a zapisuje je v číselné podobě ve dvojkové soustavě. Jako čidla se dnes využívají zařízení matice CCD (ChargeCoupledDevice), nebo zařízení CMOS (Compementary Metal Oxid Semiconductor). Jedná se o mikroelektronické křemíkové čipy detekující elektromagnetické záření, které převádějí na napěťový signál. CCD bývají ve formě řádků, nebo matice. CCD senzor se skládá z mikroskopických buněk fotodiod, které obvykle obsahují amorfní (beztvarý) fotocitlivý křemík. Po dopadu světla vytváří fotodioda na svém povrchu elektrický náboj, který je adekvátní jasu elementu na snímku. Rozlišovací schopnost digitálního obrazu je dána rozměrem obrazového prvku (pixelu) a je jedním z hlavních parametrů snímacího zařízení. Rozlišení matic CCD je dnes srovnatelné s rozlišením fotografických materiálů. Obsahují množství fotodiod o velikosti 6 - 15 mm. Rozeznáváme tři druhy vytvoření obrazu (obr. 4) [4]:

- použitím matice CCD s jednou expozicí,
- skenováním obrazu, který je vytvořen v ohniskové rovině lineárního senzoru CCD, ten se pohybuje v rámu rychlostí, která je sladěna s rychlostí digitálního záznamu řádku,
- skenováním obrazu, který je vytvořen maticovým senzorem CCD, kde je pohyb složitější.



Obr. 4 Možnosti snímání digitálního obrazu v ohniskové rovině komory [4]

2. Laserové skenování

V této kapitole je popsáno laserové skenování pomocí 3D skenerů. Budu se věnovat laserovým skenerům, tj. jejich vývojem, principem, dělením, využitím a vlivy působícími na jejich měření.

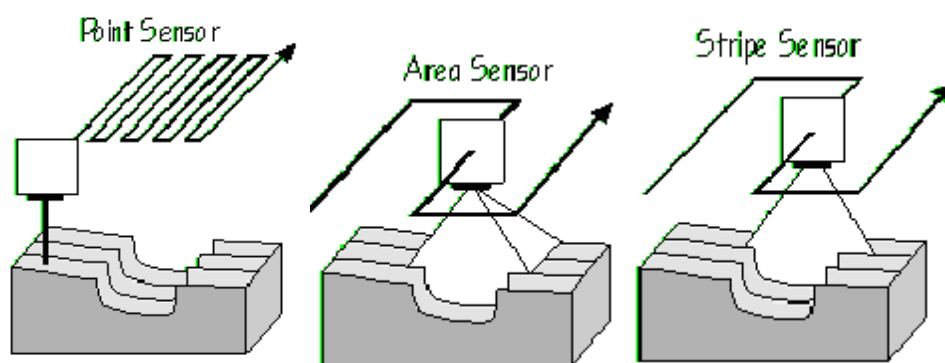
Laserové skenování (laserscanning) je nová technologie umožňující zaměření velkého množství bodů v minimálním rozestupu za krátkou dobu observace (100 000 bodů za sekundu). Tímto způsobem se přenese terén do počítače, vznikne tzv. digitální model terénu s vysokou hustotou zaměřených bodů, které tvoří tzv. mračno bodů. To je možno dále zpracovávat, identifikovat a vektorizovat z něj potřebné hrany, linie, profily i celé trojrozměrné objekty bez nutnosti jejich podrobného měření v terénu klasickými metodami. Nasnímaný objekt může být pomocí softwaru zobrazen ve formě mračen bodů, na jejichž základě může být vytvořen model objektu, který lze přenést do CAD systému. Většina skenovacích systémů využívá nejmodernější pulzní laserovou technologii pro měření délek a určuje polohu bodů prostorovou polární metodou.

2.1 Vývoj 3D skeneru

Vývoj 3D skenerů je spojen s vývojem výpočtové techniky a hlavně se zvyšujícím se výkonem schopných reálných 3D zobrazení. V prvotních pokusech o 3D digitalizaci byla největší překážkou složitost prostorového povrchu a jeho měření v prostoru. V osmdesátých letech minulého století byla vyvinuta dotyková sonda. Pomocí ní bylo možné vytvářet detailní modely. Hlavní nevýhodou byla velmi pomalá digitalizace. Proto

se další vývoj zaměřil na optickou technologii, která je oproti dotykové sondě rychlejší. Opticky se dá povrch snímat třemi způsoby.[15]

- *Bodové snímání povrchu* - je nejpomalejší způsob optického snímání, jelikož najednou pokryje jen malou plošku povrchu. Na pokrytí celého povrchu je nutné vykonat mnoho pohybu.
- *Plošné snímání povrchu* - je náročná metoda. Najednou dokáže zachytit velkou část povrchu. Pro její náročnost byla málo využívána ve skenerech při jejich vývoji. Dnes se tato metoda v optických systémech využívá.
- *Snímání povrchu pásem světla* – vyzařování pásu využívá skupinu bodů procházejících nad povrchem. Je to méně náročný způsob než vyzařování plochy, a zároveň méně pracný než vyzařování bodů. Tato technologie splňovala všechny požadavky na rychlost a přesnost skenování povrchu. Proto se vývoj optických skenerů soustředil na tuto technologii.



Obr. č. 5 a.) bodové snímání b.) plošné snímání c.) snímání pasem světla

2.2 Princíp laserového skenování

Princip laserového skenování je obdobný jako u radaru tzn., skener vyšle laserový impuls a „poslouchá“ jeho odraz.

Z doby mezi vysláním impulsu a přijetím jeho odrazu je možné spočítat vzdálenost k místu odrazu. Svazek světla je v případě laseru mnohem užší než svazek vysílaný radarem, umožňuje tak přesnější zaměření objektu. Pracujeme s výkony o několik řádů menšími než radar, jsme tedy schopni sledovat odraz jen blízkých objektů (řádově v km). Na jeden

vyslaný impuls můžeme získat i několik odrazů (např. vegetace, terén). Impulsy jsou vysílány opakovaně, pokaždé jiným směrem. Skener vyprodukuje velké množství dat v poměrně krátkém čase, je schopen změřit tisíce až statisíce bodů za sekundu.

2.3 Druhy laserových skeneru

Druhy laserových skenerů:

- Podzemní (statický)- na stativu
- Letecký - nesený letadlem, vrtulníkem
- Mobilní – nesený automobilem, lodí, drezínou, apod.

Statické skenování

Metoda statického laserového skenování představuje inovační postup získávání dat v oblasti geodézie a dovoluje řešení geodetických projektů, které by při použití klasické metody zaměřování byly neúměrně nákladné či technicky nerealizovatelné. Statický skener Leica ScanStation c10 umožňuje za velice krátkou dobu pořízení velkého množství geodetických dat, která se vyznačují maximální přesností a vysokou hustotou měřených bodů.

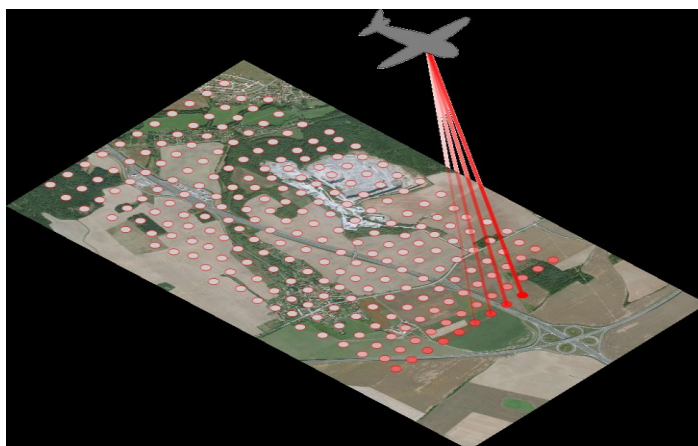
Velkou výhodou tohoto skenování je vysoká míra automatizace při zpracovávání naměřených dat, která dovoluje během relativně krátké doby vytvořit velké množství výstupů dle požadavků zákazníka (animace a 3D, vizualizace terénu, výškové analýzy, vektorové mapy, 3D modely terénu, sledování posunu terénu, objektů a mnoho dalších).[]



Obr. 6 Statické skenování

Letecké laserové skenování

Laserové skenování (zkráceně LIDAR z angl. Light Detection and Ranging) patří k nejnovějším technologiím pro pořizování prostorových dat o území. Nachází své využití zejména při vytváření přesných digitálních modelů terénu a povrchu. Uplatnění nalezneme v městských informačních systémech, GIS, provozních systémech pro inženýrské sítě (liniové sítě - plyn, voda, komunikace, elektrické vedení, telekomunikace), při výškových analýzách území, analýzách odtokových poměrů, v archeologii a ve 3D vizualizacích. Výhody laserového skenování jsou velká hustota naměřených dat v krátkém časovém intervalu, možnost použití za tmy a vysoká přesnost získaných dat.



Obr. 7 Letecké laserové skenování

Mobilní laserové skenování

Mobilní skenování a mapování terénu přináší oproti doposud používané statické metodě řadu výhod. Namísto pouhého zaměření jednotlivých budov či objektů umožňuje naskenování celých měst, či stovek, dokonce tisíců kilometrů dálnic a jejich okolí. To vše za zlomek času oproti klasickému měření pomocí statické totální stanice.

Mobilní skener LYNX V200, opatřený několika senzory, je schopen jet rychlostí mezi 80 km/h a 120 km/h (v závislosti na požadované hustotě skenování) skrze danou oblast a díky snímačům vyhodnocovat veškeré své okolí. Data získaná tímto způsobem jsou následně využita pro vytvoření mimořádně přesné a komplexní 3D mapy, která je sestavena z několika desítek tisíc bodů. Výhodou systému je i fakt, že není nutno se spoléhat na denní světlo, jelikož tento systém umožňuje měření v noci při minimálním provozu na komunikacích.[18]



Obr. 8: Mobilní skenování – skener LYNX V 200

2.4 Využití 3D skeneru

Skenery 3D se v současnosti používají k různým účelům, a to nejen v geodézii, ale i v jiných rozličných odvětvích. Mezi základní patří využití v/e:

- *umění* - využívají se na skenování uměleckých děl, která jsou charakteristická vysokou tvarovou náročností,
- *medicině* - pomáhají při vytváření kloubních implantátů. Tvarová složitost kostí zamezuje použití klasického přístupu vytvoření 3D modelu. Implantát musí být přesně vyroben. 3D skener přesně naskenuje místo, kde náhrada přijde. Pomocí získané přesné geometrie specializovaní konstruktéři dokážou navrhnout vhodnou náhradu kloubu. Další možností použití 3D skenerů v medicíně je digitalizace lidských tkání,
- *filmu a počítačových hrách* - pro vytvoření animovaných postav se používají 3D skenery. V ateliérech se nakreslí podoba postavy. Z ní se vytvoří 3D model, který se naskenuje. Ve specializovaných programech se tento 3D model animuje. Touto technikou byl například vytvořen film Jurský park.

2.5 Vlivy působící na měření laserových skenerů

Cituji dle diplomové práce Palaková základní vlivy působící na laserové skenování můžeme rozdělit na dvě složky, a to vnitřní a vnější vlivy.

Vnitřní vlivy

Mezi tyto vlivy patří chyby měření skeneru, tj., chyby měření vodorovných a zenitových úhlů chyby měření délky. Náhodné složky jsou popsány směrodatnými odchylkami. Skenery jsou zatíženy i systematickými chybami, jejichž původ je přímo závislý na principu skeneru. Mezi tyto chyby patří měření délek a chyby měření úhlů. Tyto vlivy je možno odstranit kalibrací systémů [5].

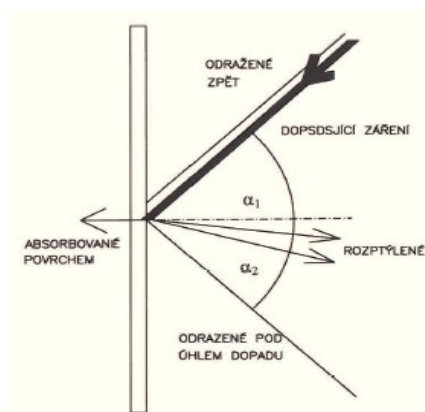
Vnější vlivy

Tyto vlivy dělíme:

- vliv geometrie skenovaných objektů na měření,
- vliv povrchu skenovaných objektů na měření,
- vlivy působící na přesnost měření.

Vliv geometrie skenovaných objektů na měření

Při laserovém skenování může dojít k problematice měření na rovině cíle. Tato problematika může nastat, pokud normála není rovnoběžná s dráhou svazku. Pokud, že je odchylka normály a dráhy svazku veliká, nedochází k odrazu zpět směrem na skener (obr. 9) [5].



Obr. 9 Dopad světelného záření na obecný povrch [5]

Vliv povrchu skenovaných objektů na měření

Povrch skenovaného objektu působí na měření prostřednictvím své schopnosti odrážet optické záření. Tato schopnost závisí na polarizaci dopadajícího záření, vlnové délce a na materiálových a geometrických vlastnostech povrchu [5].

Vlivy působící na přesnost měření

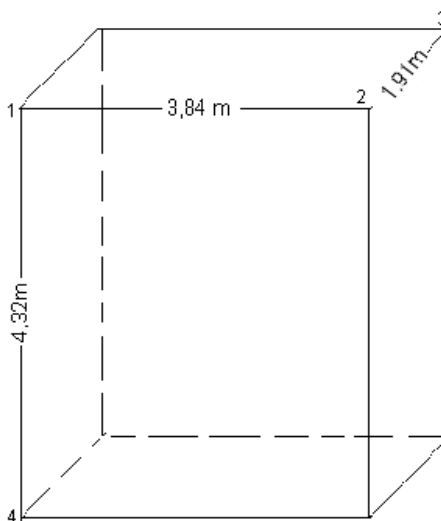
Na přesnost měření působí přesnost určení uhlů a vzdáleností. Mezi tyto vlivy můžeme zahrnout atmosférické podmínky, které působí na prostorovou trajektorii laserového svazku a na vlastní aparaturu. Pokud je měření složeno z více skenů, které jsou pomocí vlicovacích bodů spojované do jednoho celku, nepřesnost v jejich určení se přenáší do transformovaných bodů. Vliv na přesnost má nejen určení vlicovacích bodů, ale i na geodetické zaměření [5].

3. Teoretické porovnání 3D modelů a jejich zpracování

Tato kapitola se zabývá podrobnému vyhotovení 3D modelu jednoduchého objektu skřínky pomocí digitální fotogrammetrie a skenování. Podrobněji jsou vysvětleny principy vyhotovení 3D modelů, obě metody jsou vyhotoveny v různém softwaru, následně jsou porovnány a zhodnoceny.



Obr. 10 Vybraný objekt k porovnání modelů



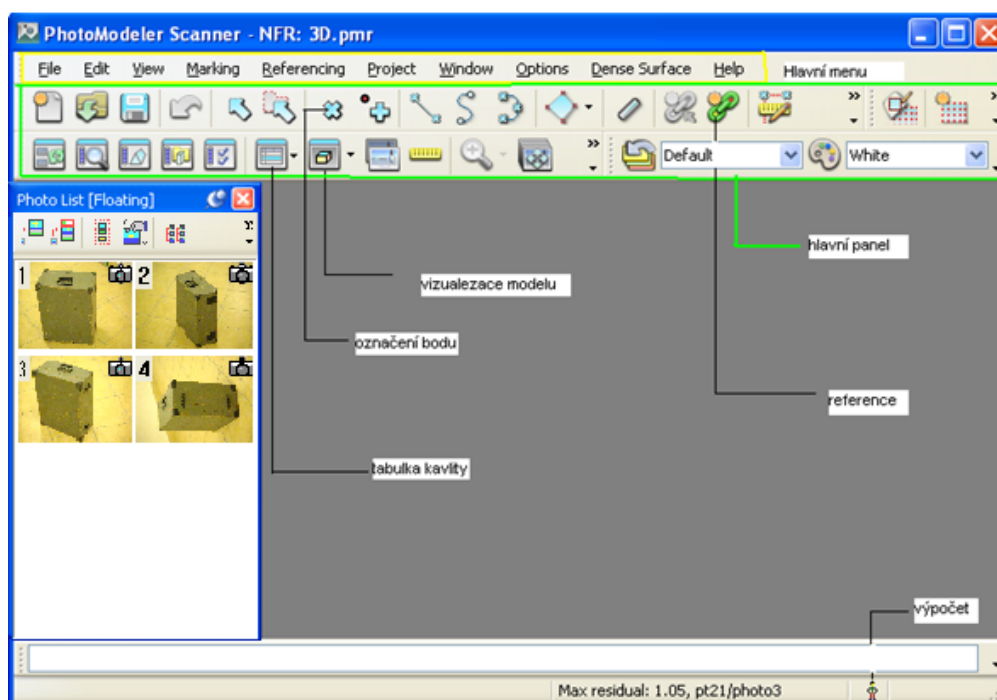
Obr. 11 Měrné míry skřínky odměřené pomocí pásma

3.1 Tvorba 3D modelu v PhotoModeler scanner

Software PhotoModeler Scanner (PMS) je vyvíjen kanadskou společností Eos Systems Inc. se sídlem ve Vancouveru, která byla založena v roce 1990. Poslední verzí tohoto programu je PhotoModeler Scanner 2010. Jedná se o fotogrammetrický software, který dokáže vytvářet 3D model objektu ze snímků. V krátké době je schopen získat mnoho informací ze snímků daného objektu. Umožňuje převést snímkové souřadnice x , y na souřadnice prostorové X , Y , Z . Tento software je založen na principu metody průsekové fotogrammetrie. Nejdůležitější vlastností PMS je, že dokáže ve vytvořeném modelu přímo měřit. Umožňuje zpracovat fotografie z různých typů digitálních fotoaparátů a přijímá obrazy různých formátů (např. JPEG, TGA, GIF, ...). Má uplatnění nejen v geodézii ale i jiných odvětvích jako: architektuře, archeologii, kriminalistice, filmu [6].

Pracovní prostředí PMS tvoří (obr. 12):

- hlavní menu,
- hlavní panel, nejčastěji využívané ikony: označení bodu, reference bodu, vizualizace 3D modelu, výpočet projektu, tabulka kvality,
- dialog se simkami,
- hlavní pracovní plocha.

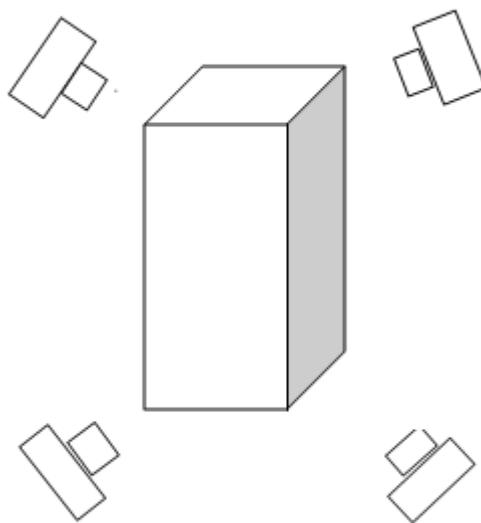


Obr. 12 pracovní prostředí PMS

3.1.1 Snímání objektu výběrem vhodných snímků

Jedná se o nejjednodušší část a také nejdůležitější, aby byla zabezpečena kvalita konečného výsledku. Platí tu přímá úměra - čím lepší a kvalitnější snímky jsou zhotoveny, tím přesnější bude model objektu. Pro vznik kvalitnějších fotografických digitálních snímků je důležité i osvětlení. Důležitou úlohou při snímání je i výběr vhodných stanovišť, ze kterých jsme vyhotovili snímky daného objektu (obr. 10). Pokud chceme získat co nejkvalitnější 3D model objektu musí být při volbě stanoviště dodrženo několik zásad:

- osy záběru by měly svírat pravý úhel,
- všechny důležité body by měly být zobrazeny nejméně na třech snímcích,
- snímky by měly být udělány s maximálním překrytím.



Obr. 13 Stanoviště pro snímání skřínky

Vhodnými snímky jsou ty, kde lze vidět překrytí mezi jednotlivými dvojicemi snímků. Pro mou práci byly vyhotoveny 4 snímky, vzhledem k tomu, že se jedná o jednoduchý objekt, není více snímků potřeba. Nejlepší je vyhotovit si nadbytečný počet snímků, aby nenastala potřeba opakování snímkování některých částí objektu.

3.1.2 Postup při tvorbě 3D modelu v PMS

Model vznikl pomocí bodů ve 3D prostoru. Tyto body jsou navzájem propojeny různými geometrickými subjekty, jako jsou trojúhelníky, tvary zakřivených ploch. Body objektu mají přiřazené souřadnice v kartézském souřadnicovém systému.

Tvorbu 3D modelu v PMS lze zahrnout do následujícího kroku:

- kalibrace fotoaparátu,
- založení projektu a import vybraných snímků,
- referencování bodů vybraných snímků,
- přesnost výpočtu,
- vizualizace objektu.

Podrobné postupy budou vysvětleny níže. Výsledkem postupu bude 3D model jednoduchého objektu, který bude porovnán s 3D modelem vyhotoveným pomocí skenování.

Kalibrace fotoaparátu

Hlavním úkolem kalibrace je určení vnitřních prvků orientace fotokomory (obr. 10), tj. konstanta fotokomory, hlavní body snímků a zkreslení objektivů, které byly podrobněji vysvětleny v kapitole 1.5.1. Kalibraci je nejlépe provádět v době před fotografováním objektu. Fotoaparát, na kterém byla provedená kalibrace, nám umožní přesnější měření.

Kalibraci jsem prováděla pomocí digitálního fotoaparátu Pentax-K10 D a testovacího pole. Při kalibraci fotoaparátu musí být dodrženo několik následně uvedených zásad. Testovací pole musí být umístěno na rovné podložce, musí být čisté, bez stínů. Fotoaparát musí být nastavený na maximální rozlišovací schopnost se stejnou ohniskovou vzdáleností. Kalibrační pole musí zaplnit maximální plochu snímku.

Následně jsem vytvořila 8 snímků ze 4 stanovišť a to tak, že jsem na každém stanovišti vyhotovila fotografii pod úhlem 45° . Následně jsem fotoaparát pootočila o 90° a vyhotovila další snímek. Stejným postupem jsem pokračovala na všech stanovištích. Kalibrace byla prováděna v programu PMS. Celou kalibraci jsem uložila pod příponou pmr. Podrobné výsledky kalibrace uvádím v příloze 1.

The screenshot shows the 'Name' field set to 'PENTAX K10D' and 'Used by Photos' set to '1,2,3,4,5,6,7,8'. The 'Calibration' section includes 'Type' set to 'Calibrator', 'Focal Length' set to '61.6334', 'Format Size' with 'W: 24.0228' and 'H: 16.0661', 'Principal Point' with 'X: 12.0113' and 'Y: 8.0331', and 'Lens Distortion' coefficients (K1: -7.255e-006, P1: 0.000e+000, K2: 0.000e+000, P2: 0.000e+000, K3: 0.000e+000). The 'Image Size' is 'W: 3872' and 'H: 2592'. The 'Fiducials' section shows 'Type: No Fiducials' and 'Fiducials: mm'. The 'EXIF Fields' section shows 'Make: PENTAX Corporation' and 'Model: PENTAX K100'. The 'Calibration Quality Values' section shows 'Overall Residual RMS: 0.5671', 'Maximum Residual: 1.8328', and 'Photo Coverage (%): 74'. Buttons for 'OK', 'Cancel', and 'Help' are at the bottom.

Obr. 14 Tabulka s kalibračními údaji v programu PMS

Parametry použitého fotoaparátu dané výrobcem použité při kalibraci nebo snímkování
objektu:

Vlastnosti displeje:

- typ displeje – LCD,
- rozlišení - 210000,
- úhlopříčka – 2,5''.

Snímač:

- velikost – APS-C (3:2),
- typ - CCD,
- rozlišení – 10,2 MPx.

Fotografie:

- maximální rozlišení – 3872 x 2592,
- samospoušť – ano
- formát fotek – JPEG, TIFF, RAW.



Obr. 15 Použitý fotoaparát

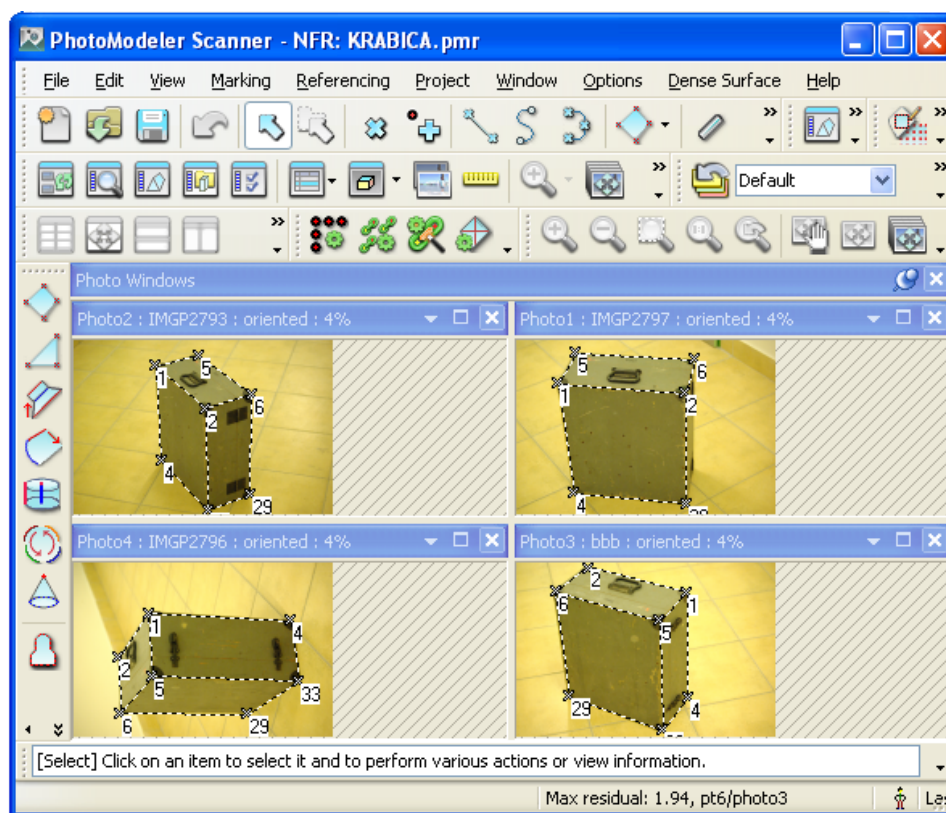
Založení projektu a import snímků

Projekt byl založen pomocí funkce *File* → *Add/Remove Photos*. Následně si program vyžádá přibližnou velikost objektu a parametry použitého fotoaparátu. Tyto parametry převezmeme z kalibrace ze souboru pmr, který byl předtím vytvořen.

Vybrané snímky importujeme pomocí ikony *Add/Remove Photos* přímo z pevného disku nebo jiného paměťového média.

Reference bodů vybraných snímek

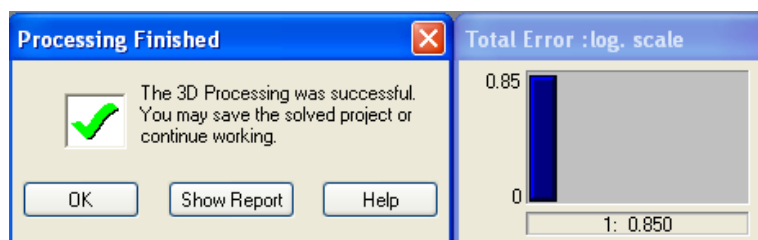
Reference bodů spočívá v tom, že si zvolíme jeden výchozí snímek, podle kterého proběhne samostatná reference (obr. 16). Pro lepší orientaci je zde funkce zobrazení čísel jednotlivých bodů. Při orientaci třech snímků je nutné, aby byly vytvořeny minimálně 4 identické body na každé z fotografií. Jsou-li snímky zorientované, tak nám program při označení bodu na referenčním snímku ulehčí lokalizaci identického bodu na ostatních snímcích pomocí epipolárních linií.



Obr. 16 Reference bodu

Přesnost výpočtu

Po zreferencování identických bodů byla zapnuta funkce pro výpočet celkové chyby Totaleror (obr. 17). Přesnost určení bodů si můžeme zkontrolovat v tabulce kvality, kde je možné podezřelý bod odhalit podle překročené hodnoty. Tyto chyby si můžeme seřadit podle čísel bodů, ke kterým jsou přidělené. Dále se ujistíme, zda jednotlivé chyby splňují povolenou odchylku. Body, které odchylku nesplňují, opravíme buď posunutím, pokud nebyl přesně položený, nebo ho úplně odstraníme. Čím více je bodů na snímcích určeno, tím je přesnost měření vyšší.



Obr. 17 Totaleror

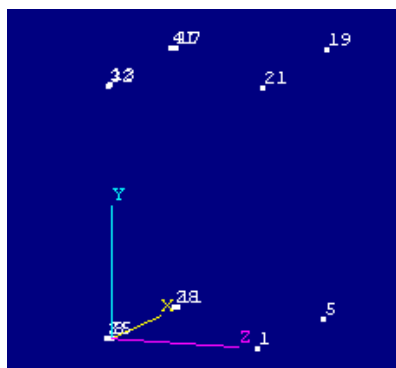
Table Windows [Floating]														
Point table - Quality														
Id	Name	RMS Residual (pixels)	Large Resid (pi...	Photo Largest Residual	Photos (used)	X Precision	Y Precision	Z Precision	Tightness (°)	Angle (deg.)	Use In Proces...	Frozen	Ref. Check Tag	Photos (marked)
21		0.7858...	1.0482...	3	1,3,4	0.0002...	0.0001...	0.0003...	0.0003...	65.778...	yes	no		1,3,4
13		0.6396...	0.8617...	3	2,3,4	0.0002...	0.0001...	0.0002...	0.0003...	89.395...	yes	no		2,3,4
17		0.8361...	0.8489...	4	3,4	0.0001...	0.0002...	0.0002...	0.0003...	64.020...	yes	no		3,4
1		0.4318...	0.7215...	3	1,2,3,4	0.0002...	0.0001...	0.0001...	0.0002...	85.819...	yes	no		1,2,3,4
11		0.6931...	0.7081...	1	1,2	0.0001...	0.0001...	0.0002...	0.0003...	79.924...	yes	no		1,2
19		0.5994...	0.7080...	1	1,3,4	0.0002...	0.0001...	0.0001...	0.0002...	66.085...	yes	no		1,3,4
32		0.6431...	0.6859...	2	2,3	0.0002...	0.0002...	0.0002...	0.0003...	89.968...	yes	no		2,3
28		0.5465...	0.6698...	2	1,2,3	0.0001...	0.0001...	0.0002...	0.0003...	83.793...	yes	no		1,2,3
8		0.4309...	0.5589...	2	1,2,3,4	0.0001...	0.0001...	0.0001...	0.0002...	89.897...	yes	no		1,2,3,4
25		0.5169...	0.5343...	3	1,2,3	0.0001...	0.0001...	0.0002...	0.0002...	89.763...	yes	no		1,2,3
41		0.3076...	0.3131...	4	3,4	0.0002...	0.0002...	0.0002...	0.0001...	64.059...	yes	no		3,4
5		0.2271...	0.2651...	4	1,2,4	0.0001...	0.0001...	0.0002...	0.0001...	79.226...	yes	no		1,2,4

Obr. 18 Tabulka kvality

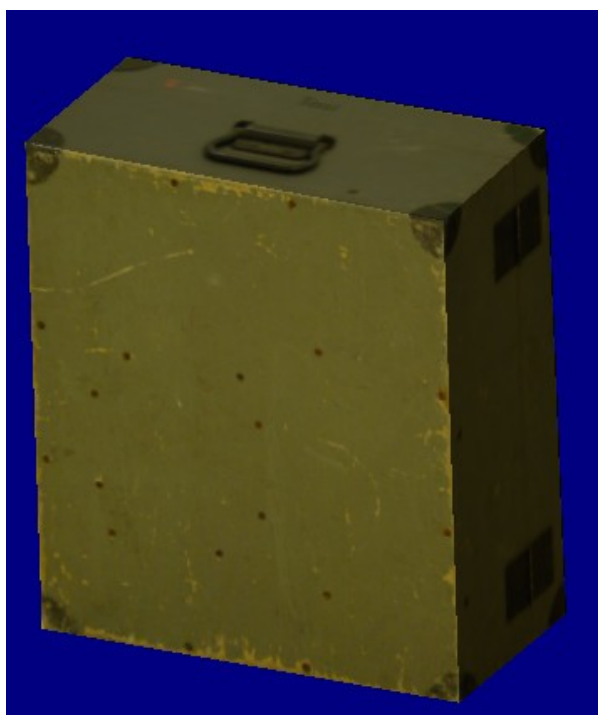
Vizualizace modelu

Dále bylo skutečně spojení jednotlivých bodů pomocí linie dle fotografie, viz obrázek 16. Poté následovalo připojení modulu do měřítka, orientace a definování souřadnic osy.

Závěrem byly připojeny jednotlivé plochy do modelu.



Obr19 Připojení měřítka



Obr. 20 Model skřínky

3.1.3 Stanovení přesnosti modelu

Porovnáme měřené hodnoty pásma s měřenými hodnotami pomocí funkce v programu PhotoModeler. Samotný výpočet je uvedený v tabulce č. 1 Charakteristikou přesnosti je střední chyba prostorového modelu.

Tabulka č. 1 Porovnání délek

vzdálenost	Měřená délka s (m)	Vypočtená délka l (m)	v=s-l	v*v
1-2	3,84	3,84	0	0
2-3	1,91	1,88	3	9
1-4	4,32	4,36	-4	16
4-5	3,84	3,82	2	4
suma Σ				29

Střední chyba prostorového modelu

$$m = \sqrt{\frac{\sum vv}{n}} = 2,69mm$$

3.2 Tvorba 3D modelu v programu Leica Cyclone

Jedná se skenovací program, který umožní pomocí mračen bodů vytvořit 3D model na základě laserově naskenovaných dat. Tímto programem můžeme připravovat projekty, řídit skenovací proces, spájet jednotlivé záběry a modelovat výsledný CAD výkres s následnou konverzí do běžně používaných formátů. Leica Cyclone poskytuje nejvyšší výkon pro projekty laserového skenování. Cyclone umožňuje uživatelům jednoduše zpracovat data v databázích tím, že pracuje souběžně, čímž se sníží potřeba kopírovat nebo přenášet velké soubory budov projektu. Výsledkem je vektorový 3D CAD model, který je možné transformovat do formátu DGN, DWG, DX. Skládá se z jednotlivých softwarových modelů pro různé potřeby.

Cyclone – SCAN je plně kompatibilní se všemi laserovými skenery Leica, tj. i Leica ScanStation C10, zabezpečující kompletní ovládaní procesů měření (skenování) přímo z notebooku.

Cyclone – REGISTER nabízí kogentní sadu nástrojů pro vyrovnání mračen bodů zachycených z různých skenovacích pozic, rychle a přesně. Cyclone REGISTER podporuje použití cílů LeicaGeosystems HDS na geo-referenčních naskenovaných datech jakož i schopnost sladit překrývající se oblasti bodových mračen.

Cyclone – MODEL umožňuje odborníkům použít mračna bodů přímo, zpracovat do předmětů pro CAD (a další aplikace). Cyclone-MODEL má nejširší nabídku nástrojů pro přesné modelování 3D mračen bodů jako geometrie CAD. Umožňuje import bodů a objektů z AutoCad a MikroStation a export z DXF,PTX, JPG, apod.

Cyclone – SERVEY umožňuje jednoduché 3D navigace mračen bodů – měření úhlu, vzdálenosti, převedení souřadnic mezi jednotlivé body. Z naskenovaných mračen bodů umožní vytvoření měřičských zápisníků: Cyclone – Survey je podmnožinou Cyclone – MODEL, je ideální pro geodety.

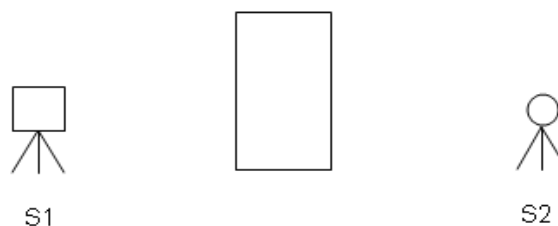
Cyclone – SERVER umožňuje jednotlivým členům týmu souběžný přístup k 3D mračenům bodů nebo modelů. Podporuje současné připojení jednoho až deseti „klientů“ do stejného datového serveru v síťovém prostředí. Výhodou je, že uživatelé mohou spolupracovat na projektu, což výrazně sníží vyhotovení.

Cyclone - PUBLISHER umožňuje rychlé publikace naměřených údajů prostřednictvím internetu [13].

3.2.1 Skenování objektu

Před samotným měřením se předběžně volí vhodné rozmístění stanovisek pro skenování. V našem případě jsme zvolili jen dvě stanoviště z důvodu jednoduchosti objektu (obr. 22). Na stanovišti S1 jsme horizontovali přístroj, odměřili výšku přístroje, na S2 postavili terč HDS odměřili výšku cíle. Tyto výšky jsme předem nadefinovali do přístroje spolu se souřadnicemi. Nastavili rozsah skenování. Obdobný způsob se opakoval i na stanovišti S2.

Během měření byly veškeré údaje automaticky uloženy do paměti přístroje. Výsledkem měřické činnosti je mračno bodů.



Obr. 21 Náčrt měření

Základní informace o použitém přístroji Leica ScanStation c10

Leica ScanStation c10 je dnes nejpopulárnější řadou skeneru ScanStation, která obsahuje vše v jednom celku. Toto zahrnuje krom laserového skenovacího systému i přesný dvouosý kompenzátor, interní baterii, řídicí počítač s dotykovým displejem, integrovaný harddisk, automatickou videokameru, fotoaparát s vysokým rozlišením a laserovou olovnici. Nová technologie Smart X-Mirror umožňuje pomocí rotujícího zrcadla naskenovat celý prostor až do zenitu za několika minut. Navíc nabízí vyšší výkon, univerzálnost a velmi jednoduché ovládání.

Přesnost jednoho měření:

- poloha 6mm
- vzdálenost 4mm
- úhel (horizontální /vertikální) 60úrad /60úrad (12°/12°)
- přesnost automatického určení středu terče 2mm.

Příslušenství skeneru obsahuje: speciální HDS terče a příslušenství k terčům, servisní smlouvu, externí baterii s nabíjecí stanicí, stativy podložky, pásma.[19]



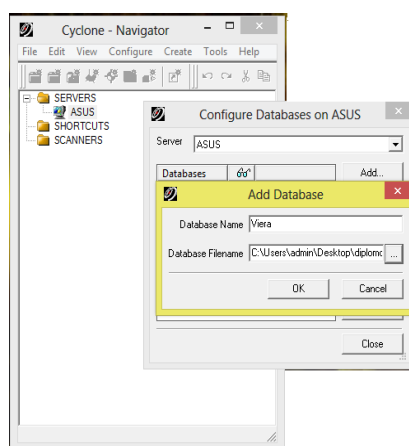
Obr. 22 ScanStation c10 a odrazový HDS terč polokulový

3.2.2 Postup při tvorbě 3D modelu v programu Leica Cyclone

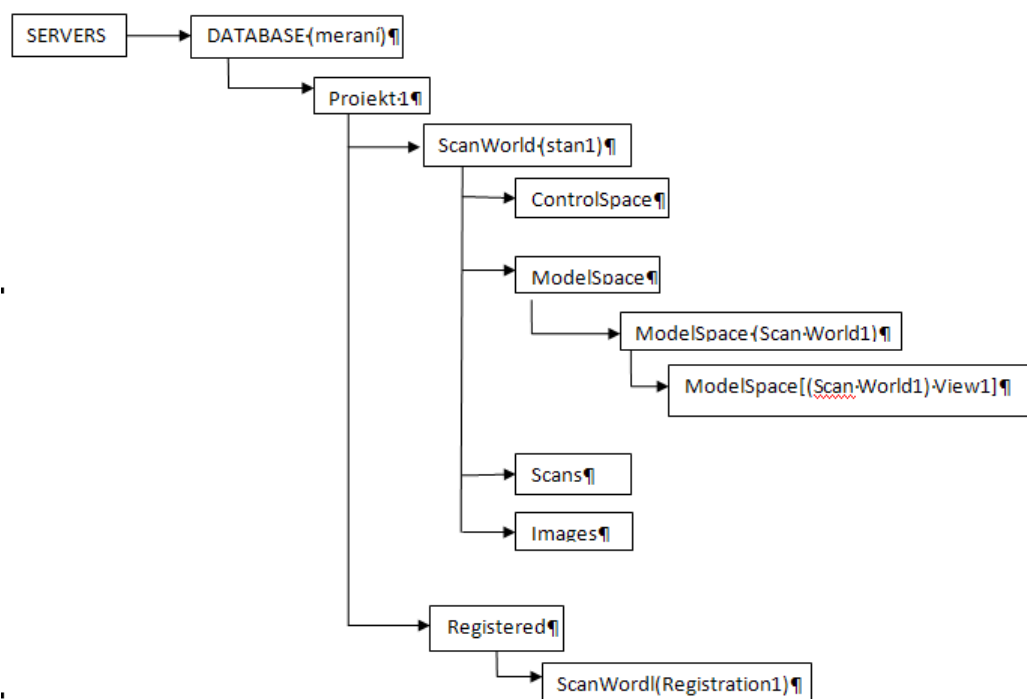
Model vznikl pomocí 3D mračen bodů, body mají přiřazené souřadnicové systémy. Práci s programem Cyclone můžeme rozdělit na tři samostatné části. V první části jde o vytvoření nové databáze, v druhé o vytvoření registrace a ve třetí části jde o podrobnou vizualizaci a zpracování.

Postup při vytváření databáze (obr. 24)

V Cyclone – NAVIGATOR se nachází složka SERVERS, pravým kliknutím na složku se nám objeví roleta nabídek, ze kterých si zvolíme „databases“. Pravým kliknutím se nám objeví dialogové okno „ConfigureDatabases“. Databázi si vybereme za pomoci funkce „Add“, objeví se nám tabulka „AddDatabase“. Pomocí ... si vybereme datový soubor, který je uložen v adresáři „Cyclone Database“. Pokud „DatabaseName“ nevyplníme, tak se nám při vybrání databázovém souboru se autogamicky vyplní.



Obr. 23 Konfigurace databáze



Obr. 24 Hierarchie dat v programu Cyclone

Popis hierarchie:

- ***Servers*** – se nachází seznam databázových serverů,
- ***Databases*** – obsahuje soubor s naměřenými daty
- ***Project*** – ukládají se skenované data
- ***ScanWorld*** – složka projektu, v něm se ukládají jednotlivé scans a images pro jedno stanoviště.
- ***ControlSpace*** – v něm jsou umístěny všechny objekty ze ScanWorld. Používá se na přemístění, odstranění a taktéž doplnění objektu, při odstranění objektu je nemožné používat registrace,
- ***ModelSpace*** – obsahuje soubory, které slouží na zpracování, modelování,
- ***ModelSpaceView*** – soubor pro zpracování mračen bodů a vyhotovení 3D modelu (viz obr. 26 Pracovní prostředí), je podmnožinou *ModelSpace*,
- ***Scans*** – se nachází jedno měření na stanovišti,
- ***Images*** – obsahuje naskenované snímky, které slouží jako textura,
- ***Redistered*** - je proces sloučení ScanWold1 a ScanWold2 [7].

Postup při registraci

Postup při registraci můžeme rozdělit do několika kroků:

- vytvoření objektu registrace – v okně *Cyclone Navigator* si označíme požadovaný projekt, z místní nabídky si zvolíme příkaz *Create Registration*. Registrace nemusí být vyhotovena ve stejném projektu, ale musí být vyhotovena ve stejné databázi,
- přidání *ScanWorlds* – dvojklikem na registraci se zobrazí pracovní prostředí *Registration*. Pomocí příkazu *Add ScanWorld* v menu *ScanWorld* přidáme všechny stanoviště, které chceme registrovat a výběr potvrdíme,
- nastavení Home *ScanWorlds* - je stanoviště, do jehož souřadnicové soustavy budou ostatní stanoviště transformována,
- výběr *Constraints*- zvolíme si *Auto-Add Constraints*, vybereme *constraints*, jsou vidět na kartě *Constraint List*. V této kartě se zkontrolují odchylky na jednotlivých bodech. Odchylky z registrace nemohou překročit 2cm, pokud jsou některé

odchylky výrazně větší než 2cm je to pravděpodobně způsobené hrubou chybou např. v označení identických bodů při měření. Jestliže odchylky nepřekročí hodnotu 2cm, jen některý bod má výrazně větší odchylku než ostatní, je možné, při dostatečném množství identických bodů, bod vymazat.[6]

- registrace *ScanWorlds* se provádí pomocí příkazu *Register*. Příkaz *Register* spočítá transformační klíč shodující se transformace pro každé stanoviště,
- vytvoření registrovaného *ScanWorlds* - po úspěšné registraci se pomocí *Create ScanWorld/Freeze Registration* vytvoří jeden *ScanWorld*, který obsahuje sloučené *ScanWorlds* v jednotném souřadnicovém systému. Objekt registrace je přemístěn pod nový *ScanWorld*.
- vytvoření *ModelSpace* z registrovaných *ScanWorld* - je vytvořený pomocí příkazu *Create ModelSpace/Create and open ModelSpace* nacházející se v menu *Registration*. Vytvořený *ModelSpace* obsahuje všechny původní skeny a objekty z registrovaných *ScanWorlds* [7].

Výsledkem registrace jsou stanoviště spojené v jednom *ScanWorld*, všechna registrovaná mračna mají jednu souřadnicovou soustavu, přičemž lze jednotlivá mračna vybrat.

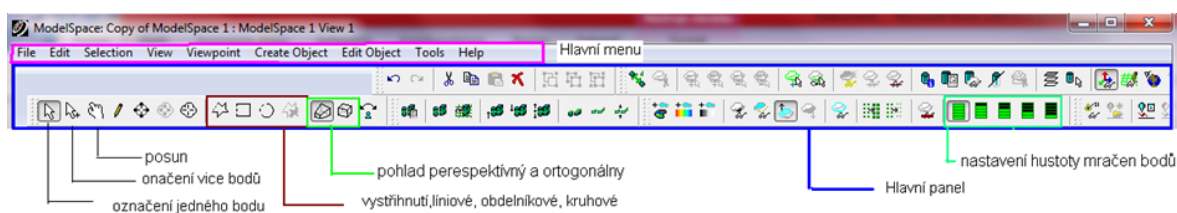
Postup při vyhotovení mračen bodů v ModelSpace (ScanWorld)

Po vytvoření databáze měřených údajů a registrace můžeme přistoupit k vyhotovení 3D modelu mračen bodů. 3D model se vyhotoví v programu *ModelSpace* (*ScanWold*). V rámci jednoho *ModelSpace* může být vytvořeno více *ModelSpace View*.

Na spodní liště okna se nachází informace o aktuálním *ModelSpice* - počet vybraných objektů, vzdálenost a úhel mezi posledně vybranými body a průběh načítání dat.

Pracovní prostředí *ModelSpace View* Leica Cyclone tvoří (obr. 26):

- hlavní menu,
- hlavní panel - nejvíce využívané ikony: označení jednoho nebo více bodů, posun, výřez, skrývání, zobrazení mračen bodů, výplň plochy,
- hlavní pracovní plocha.



Obr. 25 Pracovní prostředí ModelSpace

Postup práce při vyhotovení můžeme rozdělit do následujících kroků:

- ohraničení – výřez (*Fence*)
- čištění mračen bodů
- vyplnění mračen bodů plochou
- přidání objektu textur

Podrobné postupy budou vysvětleny následně. Výsledkem postupu je vyhodnocení 3D mračen bodů objektu, které porovná s 3D modelem vyhotoveným fotogrammetricky. Porovnání jednotlivých metod a softwaru jsou uvedeny v podkapitole 5.1.

Ohraničení- výřez mračen bodů

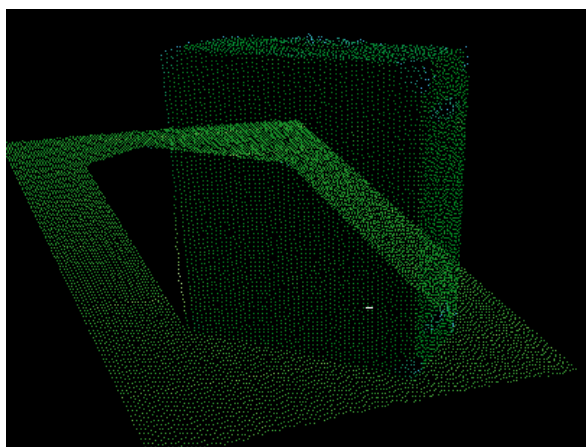
Po registraci a vytvoření nového ModelSpace, jehož postup je podrobněji popsán při registraci, můžeme přistoupit k ohraničení objektu (krabice).

Ohraničení objektu se může provést za pomoci (obr. 27):

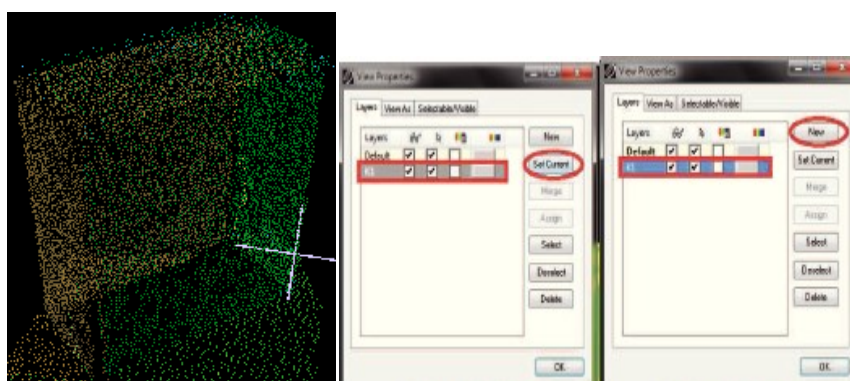
- a) útvaru – kruhový obdélníkový, mnohoúhelníkový
- b) limitu boxu- použití této funkce nemusí vykreslovat objekty mimo vybranou oblast. Polohu a velikost hranic je možno upravit např. pomocí *PickMode*. Po označení se zobrazí oranžové a modré *handles* objektu, kde modré slouží ke změně pozice a oranžové ke změně velikosti *LimitBox* .
- c) výběrem nové hladiny vrstvy- pomocí funkce *Layers*, kde si vytvořím novou hladinu, vyberu *Set Current* a nastavím ji jako aktivní vrstvu. Pomocí funkce *Rectangle Fence Model* označím část mračen bodů a pravým tlačítkem myši zvolím *Point Cloud Sub-Selection*.

Vzhledem na jednoduchost objektu není potřeba vytvořit dokumentaci každé strany, čím je objekt složitější, tím je nutné vyhotovit každou stranu zvlášť. Při složitém objektu je výhodnější si vytvořit nový *ModelSpace View*, v každém *ModelSpace* je možné vytvořit několik *Modelspace View*

Výřez objektu jsme vykonávali pomocí funkce *Fance- Rectangle*, kde jsme ohraničili potřebná mračná bodů na vyhotovení výsledného modelu. Tyto vybraná mračna se uložily do nového *ModelSpace View*, následně *File – Launch-Copy SelektionTo New ModelSace*.



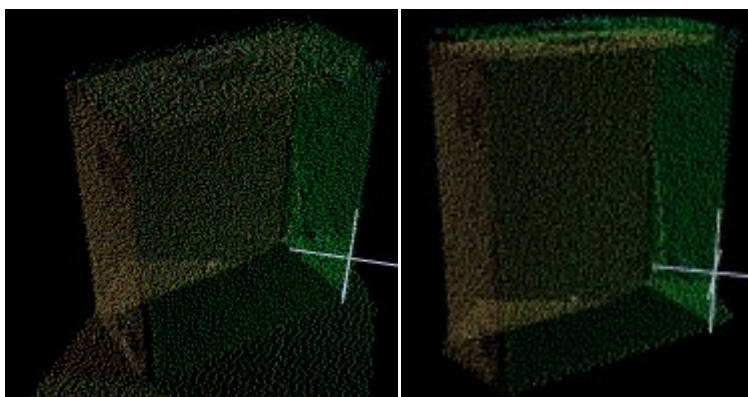
Obr. 26 Mračno bodů



Obr. 27 Ohraničení - výřez objektu a.),b.),c.)

Čištění mračen bodů

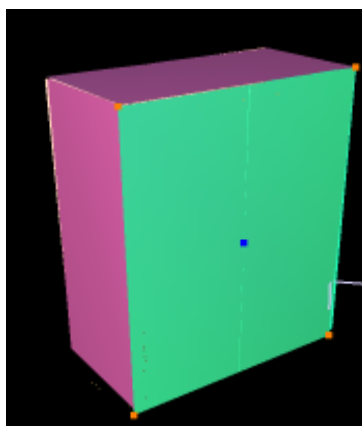
Po ohraničení mračen bodů následuje čištění nepotřebných bodů. Čištění se vykonává následovně. Nejprve si označíme pomocí *Multi – Pick Mode* všechny nepotřebné body ve výřezech a vymažeme je (obr. 19).



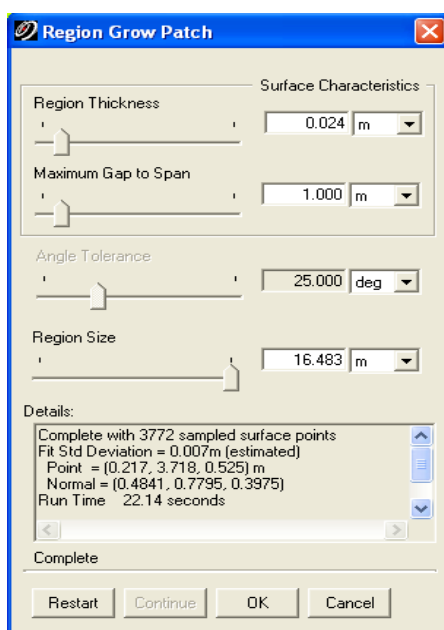
Obr. 28 Objekt před a po očištění

Vyplnění mračen bodů plochou

Když je objekt očištěn od nepotřebných bodů, může se přistoupit k vyplnění mračen bodů pomocí funkce *Patch*. Vybereme si body *Pick Mode*, důležité je, aby vybrané množiny bodů ležely v jedné pohledové rovině. Po označení několika bodů na jedné straně objektu klikneme na *Create Objekt* zvolíme *Fit to Cloud* a vybereme *Patch*, podobným způsobem postupujeme i na ostatních stranách objektu (obr. 31). Při vytváření ploch se musí nastavit v *ModelSpace View* ortogonální pohled. Když objekt neočistíme od nepotřebných bodů je možné pomocí funkce *Region Graw Patch* přidávat nebo ubrat ohraničení plochy (obr. 32).



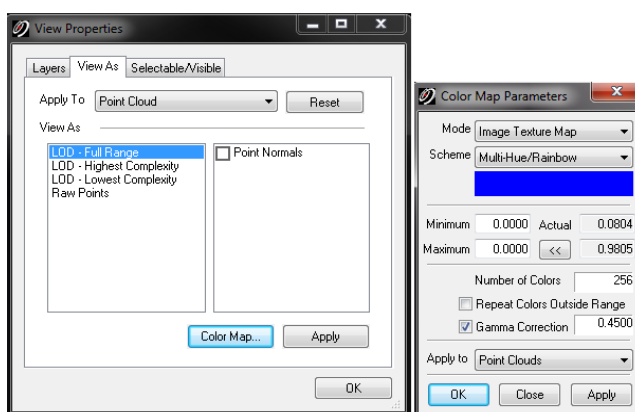
Obr. 29 Vyplnění mračen bodu plochou



Obr. 30 Region Grow Patch

Přidání textur objektu

Otevřeme *ModelSpace* stanoviště, klikneme na *View*, vybereme *Layers*, přepneme si na *View As*. V *Apply To* vybereme *Point Cloud* a označíme *Color Map*. Objeví se nám tabulka *Color Map Parameters* a v *Mode* vybereme *Image Texture Map* a výběr potvrdíme (obr. 32). V daném stanovišti se nám zbarví mračno bobů texturou podle fotografií, které se vyhotovili při skenování. Postup opakujeme na stanovišti 2. Výsledkem je 3D model s texturou (obr. 33).



Obr. 31 Přidání textury modelu



Obr. 32 Textura modelu

3.2.3 Stanovení přesnosti modelu

V této podkapitole bude stanovena přesnost modelu pomocí porovnání délek měřených přímo pomocí pásma a odměřením z modelu vyhotoveného v programu Leica Cyclone. Rozměry objektu jsou uvedené v kapitole 3 obrázek č 11. Samostatný výpočet je uveden v tabulce č. 2. Charakteristikou přesnosti je střední chyba prostorového modelu.

Tabulka č. 2 Porovnání délek

vzdálenost	měřená délka s (m)	vypočtená délka l (m)	v=s-l	v*v
1-2	3,84	3,82	2	4
2-3	1,91	1,91	0	0
1-4	4,32	4,35	-3	9
4-5	3,84	3,82	2	4
suma Σ				17

Střední chyba prostorového modelu

$$m = \sqrt{\frac{\sum vv}{n}} = 2,06mm$$

3.3 Porovnání 3D modelů

V této podkapitole kapitole bude popsáno porovnání 3D modelů vyhotovené různými metodami v různých softwarech. První model je vyhotoven pomocí digitální fotogrammetrie v programu PMS, jehož postup vyhotovení a taky informace o programu jsou podrobněji popsány v kapitole 3.1. Druhý model je vyhotoven pomocí skenování v programu Leica Cyclone, který je podrobněji vysvětlen v kapitole 3.2

Budu porovnávat délky měřené přímo pásmem, které považujeme za přesné s délkami odměřenými ze softwaru PMS a Leica Cyklone. Dále budu porovnávat obsahy vypočtené přímo z délek a vypočítané v PMS a Cyklone. Dále vykonám grafické porovnání obou modelů. Nakonec tyto dvě metody zhodnotím a vysvětlím jednotlivé plusy a minusy metody, která metoda je výhodnější, přesnější a rychlejší.

Porovnání modelů

V této části budu hodnotit přesnost modelů pomocí měřených délek a vypočtení obsahu. Nakonec zhodnotím, která metoda je přesnější.

Tabulkové porovnání

Přesnost modelu pomocí měřených délek

Jde o porovnání délek přímo měřených pásmem a délek měřených v programech PhotoModeler a Cyclone pomocí funkcí, které poskytují programy *Measurements*. V podkapitole 3.1.3 a 3.2.3 uvádím stanovení přesnosti modelu pomocí porovnání délek v tab. č. 1 č. 2. Na základě součinu vektoru oprav vypočítáme střední chybu prostorového modelu pomocí vzorce:

$$m = \sqrt{\frac{\sum vv}{n}}$$

kde $\mathbf{v} \cdot \mathbf{v}$ - součin vektoru oprav, n – počet měřených délek

Chyba prostorového modelu pro PMS je **2,68mm** a pro Leica Cyclone je **2,06 mm**. Na základě střední chyby modelu je možné říct, že dle přesnosti je výhodnější použití metody laserového skenování.

Přesnost modelu pomocí vypočítaných obsahů

Jedná se o porovnání modelů pomocí vypočítání jejich obsahu. Vypočítám obsah z naměřených délek a ten porovná s obsahem vypočteným u obou modelů. Obsahy obou modelů jsem vypočítala v programu AutoCad. Na obrázku č. 6 jsou znázorněny měřené délky, pomocí nich se vypočítá obsah podle vzorce: $S = 2(ab + bc + ca)$

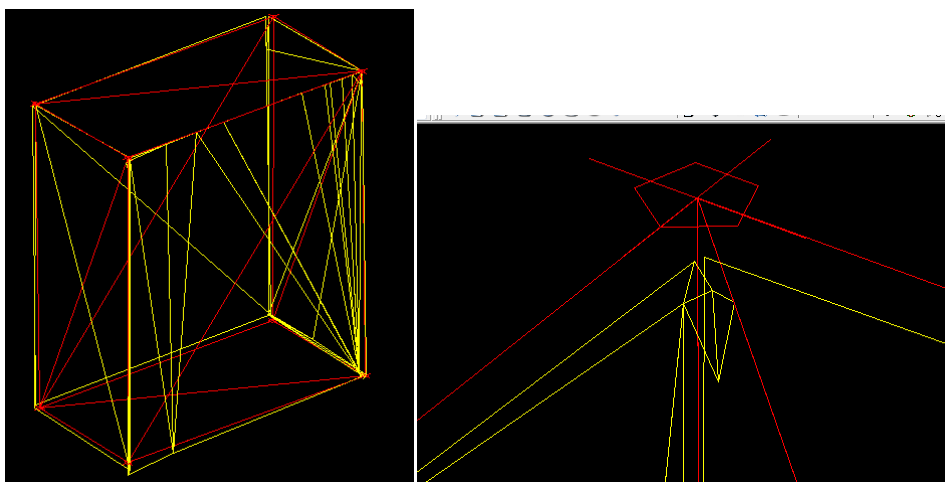
Tabulka č 3 Vypočítané obsahy jednotlivých modelů

Obsah vypočítaný podle vzorce	64,35m ²
Obsah modelů vyhotovený PMS	64,32m ²
Obsah modelu vyhotovený Cyclone	64,33m ²

Podle vypočteného obsahu je možno říci, že z hlediska přesnosti jsou si obě metody rovný.

Grafické porovnání

Grafické porovnání proběhlo v programu *Autocad*. Do něho jsem si importovala oba modely, které byly ve formátu DXF. Sloučení modelu v programu proběhlo tak, že jeden model jsem zkopírovala a vložila tak, abych mohla ještě ve výkresu upravovat měřítko a natočení os x , y , z . Jako první jsem si vypočítala zvětšení jemného modelu, jelikož oba modely nebyly ve stejném měřítku. Po vypočtení jsem pomocí příkazu *měřítko* zadala zvětšení modelu, které bylo potřeba zvětšit. Dále pomocí příkazu *Posun* jsem si zvolila, aby oba modely měly jeden společný bod. Od společného bodu jsem mohla dále natáčet osy jednoho z modelů tak, aby měly stejné směry jako druhý model, k tomuto slouží příkaz *3D natočení*. Musíme otáčet kolem identického bodu, který jsme si zvolili. Nejprve klikneme na identický bod, zvolíme osu otáčení X a natočíme, zvolíme osu Y a otočíme a taktéž osu Z a otáčíme tak, aby byly oba modely vsazené do sebe. Oba modely jsou takto vsazené k sobě, tak aby bylo vidět odchylky jednotlivých měření. Kde červený je znázorněný model v PMS a žlutý model Leica Cyclone. Výstupný formát z AutoCadu je v dwg, který uvádím v příloze.



Obr. 33 Grafické porovnání

Závěrem grafického porovnání modelů můžeme říct, že z hlediska přesnosti vyhodnocení modelu jsou oba programy stejné.

Porovnání použitých metod

V této části se budu zabývat jen porovnáním z hlediska časové a finanční náročnosti.

Porovnání z hlediska časové náročnosti

Fotogrammetrické měření zahrnuje vyhotovení fotografických snímků, jež trvalo cca 10 min. Práce spojená se skenováním na obou stanovištích trvala cca půl hodiny. Vzhledem k jednoduchosti objektu je výhodnější použít na tvorbu 3D modelu metodu digitální fotogrammetrie. Pokud by se jednalo o složitější objekt, čas strávený u obou metod by byl stejný.

Zpracování naměřených údajů je závislé na typu použitého softwaru. V tomto konkrétním případě tvorba 3D modelu proběhla v PhotoModeler při digitální fotogrammetrie a Leica Cyclone při laserovém skenování. Princip obou metod spočívá ve vytvoření vektorového modelu, který obsahuje charakteristické lomové body a linie.

Porovnání z hlediska finanční náročnosti

Z finančního hlediska je značný rozdíl především v počátečních nákladech vynaložených na obstarání hardwaru a softwaru. Zatímco zakoupení digitální kamery a fotogrammetrického softwaru se pohybuje řádově ve statisících, u laserových systémů jde o milióny. Samozřejmě kromě možnosti zakoupení existuje možnost zapůjčení skeneru na

konkrétní měření u distributorů výrobců jednotlivých systémů, což je vhodné zejména při příležitostných projektech.

Při obou metodách jsou další náklady spojené s konkrétními projekty zanedbatelné. Z dlouhodobého hlediska je třeba počítat jen s finančními prostředky nezbytnými k aktualizaci softwaru. [8]

Závěr zhodnocení

Cílem výzkumu bylo zaměření a vyhotovení skříňky metodami laserového skenování a digitální fotogrammetrií. Po vyhodnocení údajů získaných oběma metodami je na základě finálních výstupů možné konstatovat, že z hlediska přesnosti a detailnosti jsou v tomto případě digitální fotogrammetrie a laserové skenování rovnocennými metodami. Každá metoda má své klady a zápory. Není možno říci, že některá metoda je všeobecně vhodnější. Místo toho, abychom volili jednu z nich je vhodným řešením zkombinovat obě metody. Samozřejmě nejvhodnější metoda je ta, se kterou má zpracovatel nejvíc zkušeností, a především ke které má potřebné vybavení.

4. Vyhotovení 3D modelu –suterénu v Leica Cyclone

V této části jde o skenování a vyhotovení 3D modelu. Jedná se o vyhotovení modelu místnosti, která se nachází v areálu Žilinské univerzity na stavební fakultě v podzemních prostorech. Kdysi tyto prostory byly používány jako měřičské místnosti.



Obr. 34 Lokalita objektu (suterénu)

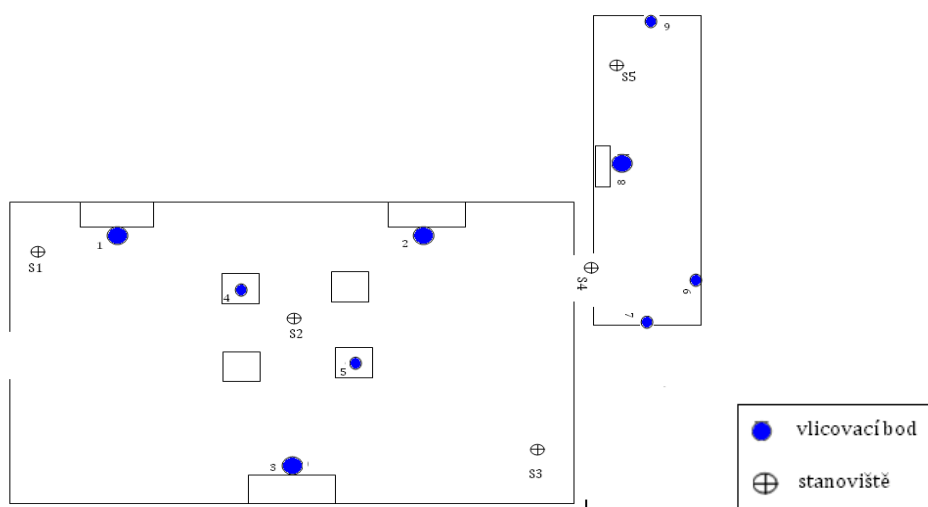
4.1 Postup měření

Ještě před měřením jsem vykonala nejdůležitější část, a to rekognoskaci. Při rekognoskaci jsem si podrobněji prohlédla celou místnost, její tvar a charakteristické

znaky. Pomocí těchto skutečností jsem vycházela při návrhu počtu a pozic stanovišť laserového skeneru Leica ScanStation c 10, základní informace o přístroji jsou uvedeny v podkapitole 3.2.1. Při skenování je důležité zohlednit úhel zorného pole laserového skeneru a dostatečný překryt jednotlivých stanovišť. Dále jsem si při rekognoskaci promyslela, kde umístím vřícovací body, což je nevyhnutné při registraci všech skeneru do výsledného velkého množství bodů. Vřícovací body musí být umístěny po celé kapli tak, aby splnily požadavky pro zpracování 3D modelu.

Rozmístění vřícovacích bodů

Správné umístění vřícovacích bodů je podmínkou pro přesné transformování skenovaného mračna bodů. Jako vřícovací body jsem použila HDS terče 6 a 3 palcové. Vřícovací body jsem umístila po celé místnosti (obr. 35) tak, aby bylo ze stanovišť vidět minimálně na čtyři vřícovací body.



Obr. 35 Půdorys místnosti a rozmístění vřícovacích bodů

Postup skenování

K naskenování celé místnosti (suterénu) jsem vytvořila 5 stanovišť laserového skeneru. Na každém stanovišti jsem dbala na to, aby bylo vidět minimálně na tři vřícovací body. Nejprve se zaměříme na vřícovací body a určíme polohu stanovišť pomocí

průsečíku. Pomocí těchto identických bodů se pak umožní v registraci spojení jednotlivých skenů k sobě. Celé skenování je řízeno programem, ale nejdříve si musíme nastavit skener před skenováním, určit zorné pole a rozlišení skenování. Během měřičských prací byly veškeré měřené hodnoty ukládány do paměti. Výsledkem měření je mračno bodů.

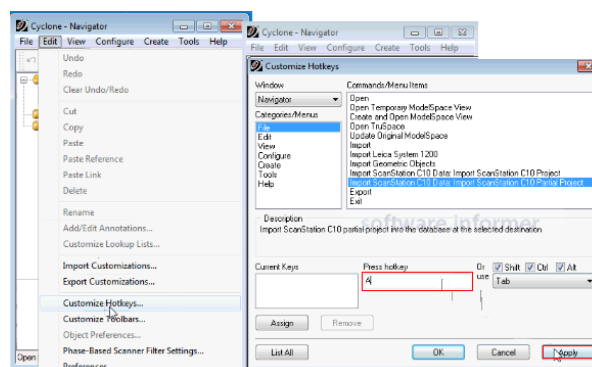
Tabulce č. 4 Parametry skenování

Stanoviště	Počet naskenovaných bodů
1	2 990 855
2	2 463 693
3	2 463 961
4	2 452 555
5	2 464 059

4.2 Postup při vyhotovení 3D modelu

Při tvorbě 3D modelu jsem postupovala stejně, jak uvádím v podkapitole 3.2.2. Nejprve jsem si vytvořila databázi, do které jsem importovala měřená data z pěti stanovišek. Po importování naměřených dat jsem udělala registraci jednotlivých skenů. Výsledkem registrace bylo spojení všech skenů do jemného Model Space View (spojení do hromady).

Na jednoduchost a rychlost zpracování je v programu Cyclne funkce pro nastavení zkratk, kde nejpoužívanějším funkcím přiřadíme zkratku. Pomoci *Edit – Customize Hotkeys*, vybereme si např.. **Import ScanStation data** v *Press hotkey – A -aply* (obr. 36). Postupně jsem si přidala další důležité funkce, (Multi Pick, Frence , Regio Grow Patch ...). Takto definované zkratky nám umožňují rychlé zpracování, nemusíme nic hledat, stačí jednotlivé zkratky pro dané funkce a využití jednoduchého ovládání.

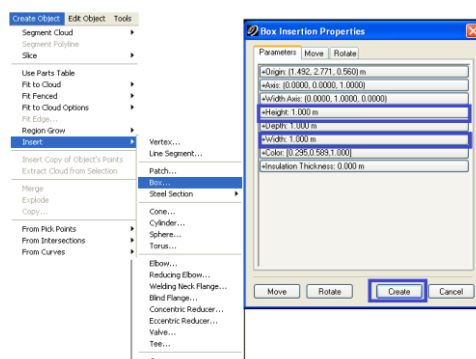


Obr. 36 Definování zkratk

Po nadefinování zkratk můžeme přistoupit k vyhotovování 3D modelu. Nejprve si vyřežeme jednu stěnu suterénu a očistíme ji od nepotřebného bodu. Postup výřezu a očištění bodu uvádím při vyhotovení skřínky. Je dobré při přidávání plochy jednotlivým částím přidat hladinu např. při vytváření stěny si pomocí funkce *Layers – New* přidám novou hladinu – *Set Currentm* hladinu stanovíme za aktivní, viz (obr. 29). Výhodou stanovení hladiny je, že můžeme zapínat a vypínat mračna bodu, definovat hladině barvu.

Při vyhotovení suterénu jsem využila různé funkce programu, např. pro přidání plochy potrubí existuje funkce tzv. *Cylinder*, kde pomocí *Handles*, můžeme rozšířit, roztáhnout, natahovat, otáčet a presovat. Při spojení potrubí tzv. „kolenem“ existuje v programu funkce *Piping – Elbow Connectorm*.

Při vyhotovení sloupu můžeme využít funkci *Box*, kde si nastavíme výšku, šířku sloupu (obr. 38), jestliže jsou sloupy stejné jako v našem případě je možné sloup zkopírovat a přilepit tam, kde je to potřebné. Plochám můžeme přiřadit barvu *Apperarance – Add/Edit Colors*, viz příloha.



Obr. 37 Postup vyhození sloupu

Závěrem této kapitoly je vyhotovení modelu suterénu, který uvádím v příloze. Vyhotovení mračna bodů je velmi pracné, ale i zajímavé. Mračno bodů poskytuje informace o objektu a možnosti pro jeho další využití.

Závěr

Diplomová práce se zabývá teoretickým porovnáním 3D modelu vyhotovených metodou digitální fotogrammetrie a laserového skenování a vyhotovený modelu suterénu metodou LS. Důležitou částí diplomové práce je stanovení výsledku tj. vyhotovení 3D modelu a postup zpracování v programech PhotoModeler a Leica Cyclone, které jsou tu podrobněji popsány.

Nevyhnutným podkladem pro zpracování a porovnání modelu jsou pro digitální fotogrammetrie snímky a pro laserové skenování jednotlivé skeny (mračná bodu). Kuli získány.

Začátek diplomové práce sestává z první a druhé části, kde první půlka je věnována teorii fotogrammetrii. Popsána je základním rozdělením, metodami, orientací snímky a digitální fotogrammetrii. Druhá půlka sestává z teorie laserového skenování, která obsahuje vývoj, princip, rozdělení, využití laserových skenerů a vlivy které působí na měření.

Třetí část diplomové práce je věnována teoretickým porovnáním jednoduchého 3D modelů (krabice), vyhotoveného pomocí digitální fotogrammetrie a laserového skenování. V této kapitole podrobněji vysvětlují principy a postupy při vyhotovení 3D modelů v programech *PhotoModeler* a *Leica Cyclone*. Konec této kapitoly je věnován porovnání 3D modelů. Jde o porovnání tabulkové a grafické. V tabulkovém jde o porovnání prostnosti modelů, které sestává s porovnáváním měřené hodnoty pomocí pásma s měřeními hodnotami modelů vypočtených v programech a s porovnáním modelů pomocí vypočítání obsahu. Chyba prostorového modelu pro *PMS* je **2,68 mm**, pro *Leica Cyclone* je **2,06 mm** a vypočítaný obsah modelu podle vzorce na výpočet kvádru je pro *PMS* **64,32 m²**, *Leica Cyclone* **64,33 m²** a obsah krabice vypočítaný z přímo odměřených délek pomocí pásma je **64,34 m²**. Grafické porovnání jsem prováděla v programu *AutoCad*, kde jsem si modely naimportovala. Grafické porovnání je uvedené v příloze B. Závěrem této části, můžeme říct, že obě metody jsou rovnocenné, co se týká prostnosti či z pohledu tabulkového tak i grafického a volba jedné z nich je vhodným řešením skombinovat obě metody.

Čtvrtá část je věnována vyhotovení 3D modelu suterénu, kteří se nachází v areálu Žilinské Univerzity. Tato část je rozdělená na dvě půlky, první půlka je věnována práci

v terénu. Kde jsem popsala rekognoskaci terénu, rozmístění vřicovacích bodů a nakonec samotný skenování. Na zaměření celého suterénu jsem použila 13 vřicovacích bodů a 5 stanovisek skenování. Celkem jsem naskenovala 2 463 693 bodů.

Druhá půlka je věnovaná vyhotovení 3D modelu v programu *Leica Cyclone*, kde jsem popsala založení databázi, registraci čištění a vyhotovení ploch mračen bodů. Vzhledem k tomu že nejstvue manuál pro softwar Cyclon v Slovenčině a ani v Češtině jsem tuhle část podrobněji popsala. Ukázky vyhotoveného modelu uvádím v příloze E.

Seznam zkratek

CAD	Computer Aided Design - počítačem podporované projektování
VŠB-TUO	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
PMS	PhotoModeler Scanner
CCD	typ snímáče
GIS	geografický informační systém
LSS	laserové skenovací systémy
HDS	high definition system
LCD	liquid-crystal display
DXF,PTX, JPG	výstupné formáty

Seznam literatury

Skripta

- [1] PAVELKA, K.: Fotogrammetrie 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. 191 s.
ISBN 80-01-02649-3.
- [2] BITTERER, L.: Základy fotogrammetrie, Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta, Katedra geodézie 2005.
- [3] ŠTUKA, R.: Bakalářská práce – Tvorba 3D modelu sochy barokového angela od Matyáša Bernarda Brauna fotogrammetrickou metodou obrazové korelace, ČVUT, Stavebná fakulta, 2010.
- [4] PAVELEK, JINŘICH, HODAC.: Fotogrammetrie 3 digitální metody a laserového skenování, ČVUT, Stavebná fakulta.
- [5] PALAKOVÁ, L.: Využití technologie laserového skenování pro dokumentaci hradně kaple, VŠB, 2011.
- [6] PÁTERKOVÁ, V.: Vyhotovení 3D modelu historického objektu, Žilinská Univerzita, Stavebná fakulta, 2011.
- [7] POSPIŠILOVÁ, J.: Příprava vzorkových úloh pro předmět Laserové skenování, ČVUT, 2009.
- [8] HAÁUČKOVÁ, CHELPKOVÁ, KOSTKA.: Posouzení prostnosti metody laserového skenování a digitální fotogrammetrii pro dokumentace historické fasády.
- [9] GAL, GREGOR.: Fotogrammetrie. Doplnující, state a inovace, ES SVŠT Bratislava
- [10] GAL, P.: Fotogrammetrie, SNTL, Bratislava 1965.
- [11] HLADIŠ, L.: Srovnání vhodnosti použití pozemních fotogrammetrických metod pro vizualizaci geomorfologických objektů. Diplomová práce. Olomouc, 2009. 68 s.
- [12] Staněk, V.- Hostinová, G. *Geodézia v stavebníctve*, Jaga group, v.o.s., Bratislava 1999, str.67-68
- [13] HDS Training Manual, Leica Geosystems HDS LLC European office

Internetové stránky

- [14]<http://www.chemgeneration.com/sk/news/perspekt%C3%ADvytechnol%C3%B3gie.ht>
- [15]http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5651
- [16]<http://www.elektrorevue.cz/clanky/03013/index.htm>
- [17]http://www.gis.zcu.cz/projekty/Geomatika_multimedialne/FGM/fgm-lls-principy.pdf

[18]<http://www.geodezieledec.cz/laserove-skenovani>

[19]http://www.geotech.sk/downloads/LaseroveHDS/Leica_ScanStation_C10_Brochure_sk.pdf

Seznam obrázků

Obr. 1 Průřeková fotogrammetrie [2]	11
Obr. 2 Vnitřní orientace[2]	14
Obr. 3 Vnější orientace	14
Obr. 4 Možnosti snímání digitálního obrazu v ohniskové rovině komory	16
Obr.5a.) bodové snímání b.)plošné snímání c.)snímání pasem světla	17
Obr. 6 Statické skenování	18
Obr. 7 Letecké laserové skenování	19
Obr. 8 Mobilní skenování – skener LYNX V 200.	20
Obr. 9 Dopad světelného záření na obecný povrch [5]	21
Obr. 10 Vybraný objekt k porovnání modelu	22
Obr. 11 oměrní míry skřínky odměření pomoc pásma	23
Obr. 12 pracovní prostředí PMS	24
Obr. 13 stanoviska pro snímání skřínky	25
Obr. 14 Tabulka s kalibračními udaji v programu PMS	26
Obr. 15 Použitý fotoaparát	27
Obr. 16 reference bodu	28
Obr. 17 Totaleror	29
Obr. 18 Tabulka kvality	29
Obr. 19 Připojení měřítka	30
Obr. 20 Model skřínky	20
Obr. 21 Náčrt měření	32
Obr. 22 ScanStation c10 a odrazový HDS terčopolokulový	33
Obr. 23 konfigurační databáze	34
Obr. 24 Hierarchie dat v programe Cyclone	34
Obr. 25 Pracovní prostředí ModelSpace	37

Obr. 26 Mračno bodu	38
Obr. 27 Ohraničenie - výrez objektu a.),b.),c.)	38
Obr. 28 objekt před a po očištění	39
Obr. 29 vyplnění mračen bodu	39
Obr. 30 Region GrowPatch	40
Obr. 31 přidání textury modelu	40
Obr. 32 Textura modelu	41
Obr.33 Grafické porovnání modelů	44
Obr. 34 lokalita objektu	46
Obr. 35 půdorys místnosti a rozmístnění vlicovacích bodu	47
Obr. 36 definování zkratk	47
Obr.37 postup vyhotovení sloupů	48

Seznam tabulek

Tabulka č. 1 Porovnaní délek	31
Tabulka č. 2 Porovnaní délek	41
Tabulka č 3 Vypočítané obsahy jednotlivých modelů	43
Tabulka č 4 Parametri skenování	47

Seznam příloh

Příloha A	Výpočet kalibrace
Příloha B	Grafické porovnání modelů
Příloha C	Výstupný formát z AutoCade – CD (grafické porovnání)
Příloha D	Výpis ze skenu suterénu
Příloha E	Znázornění mračien bodu - suterén
Příloha F	3D model suterénu
Příloha G	Video vyhotoveného modelu (suterénu) -CD