



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

ANALÝZA PŘESNOSTI LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ

ANALYSIS OF AN ACCURACY OF LASER SCANNING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

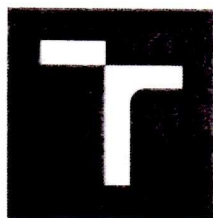
Bc. Dominika Vacová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ VOLAŘÍK

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

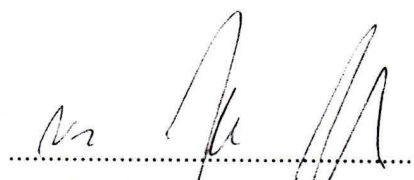
STUDIJNÍ PROGRAM	N3646 Geodézie a kartografie
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3646R003 Geodézie a kartografie (N)
PRACOVISŤE	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIPLOMANT	Bc. Dominika Vacová
NÁZEV	Analýza přesnosti laserového skenování
VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ 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

Barový, 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 Volafík.

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 českých, slovenských a zahraničních časopisech

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Cílem práce je stanovit přesnost registrace mračen bodů s ohledem na konfiguraci referenčních terčů (kouli, šachovnicových terčů) a na základě identických tvarů bez referenčních terčů. Zároveň bude součástí práce analýza přesnosti a shnutí možností transformace mračka do S-JTSK.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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



Ing. Tomáš Volafík

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Cieľom práce je naskenovať mračno bodov a skúmať možnosti jeho spojenia na základe referenčných objektov alebo prírodných objektov. Ďalšou časťou práce je nadväznosť do súradnicového systému S – JTSK. V prvej časti práce je popísaná technika zberu dát laserovým skenovaním a jeho využitie v praxi. V praktickej časti práce sú uvedené namerané výsledky a ich zhodnotenie.

KLÍČOVÁ SLOVA

Laserové skenovanie, mračno bodov, skener FARO FOCUS 3D, software Faro SCENE 5.5, S -JTSK

ABSTRACT

The main goal of this master thesis is processing a point cloud with respect of possibilities of a registration clouds based on reference objects or on objects in general. This thesis studies transformations to the reference coordinate system S –JTSK. The first part of this thesis describes a theoretical background of the laser scanning and its use. A practical part shows the results and the evaluation of whole research.

KEYWORDS

Laser scanning, point cloud, scanner FARO FOCUS 3D, software Faro SCENE 5.5, S -JTSK

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Dominika Vacová *Analýza přesnosti laserového skenování*. Brno, 2017. 55 s.

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 18. 4. 2017

Bc. Dominika Vacová
autor práce

POĎAKOVANIE

Týmto by som sa veľmi rada poďakovala Ing. Tomášovi Volaříkovi za pomoc pri tvorbe diplomovej práce, odbornú konzultáciu a asistovanie pri skenovaní, za rady a pripomienky. Ďalej by som sa chcela poďakovať Veronike Oboňovej za pomoc pri meraní práce. Najväčšia vďaka patrí mojej rodine a blízkym, ktorí mi boli vždy oporou. Ďakujem!

OBSAH

ÚVOD.....	9
1. LASEROVÉ SKENOVANIE.....	10
1.1. História 3D skenovania.....	10
1.2. Súčasnosť laserového skenovania.....	11
1.2.1. Konštrukcie a architektúra.....	11
1.2.2. Digitálne továrne.....	12
2. PRINCÍP SKENERU.....	14
2.1. Metóda priestorového pretínania vpred	14
2.2. Priestorová polárna metóda.....	15
2.3. Určenie vzdialenosti.....	15
2.3.1. Elektronické určenie vzdialenosti.....	15
2.3.2. Optometrické určenie vzdialenosti	16
3. TYPY SKENEROV	17
3.1. Rozdelenie skenerov podľa zorného poľa.....	17
3.2. Rozdelenie skenerov podľa dosahu.....	18
3.3. Rozdelenie skenerov na základe presnosti.....	18
3.4. Rozdelenie skenerov podľa rýchlosti.....	18
4. POUŽITÉ POMÔCKY.....	19
4.1. Skener.....	19
4.2. Referenčné terče a referenčné gule – sféry	22
4.3. Totálna stanica	22
4.4. Technológia GNSS.....	23
5. PRAVIDLÁ SKENOVANIA	24
5.1. Pravidlá pre šachovnicové terče.....	24
5.2. Pravidlá pre sféry –referenčné gule.....	24
5.3. Použitie prirodzených objektov.....	25
6. MERAČSKÉ PRÁCE.....	26
6.1. Skenovanie	27
6.2. Tvorba meračskej siete.....	28
6.3. Meranie totálnou stanicou	28
7. SPRACOVATEĽSKÉ PRÁCE	30
7.1. FARO Scene 5.5.....	30
7.2. Registrácia skenov referenčnými guľami	32

7.3.	Registrácia skenov šachovnicovými terčami	34
7.4.	Registrácia skenov Cloud to Cloud.....	35
7.5.	Vyhodnotenie spájania skenov.....	36
8.	TRANSFORMÁCIA MRAČNA BODOV DO S – JTSK	40
8.1.	Transformácia K1, K2, K3.....	41
8.2.	Transformácia K1, K2, K4, K5	41
8.3.	Spracovanie transformácie	42
8.4.	Získanie súradníc identických bodov získaných z mračna bodov	43
8.5.	Aliasing	46
9.	POROVNANIE PRESNOSTI	47
	ZÁVER	49
10.	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	51
11.	ZOZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKOV	52
12.	ZOZNAM TABULIEK	54
13.	ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK	54
14.	ZOZNAM PRÍLOH	55

ÚVOD

V dnešnej dobe je relatívne novým a rastúcim trendom laserové skenovanie. Jeho využitie nachádza uplatnenie v mnohých odvetviach a odboroch. Od klasických zaužívaných geodetických a fotogrametrických metód má laserové skenovanie výhodu v rýchlejšom, objemnejšom a bezkontaktnom zbere dát. Naskenované dáta sa nazývajú mračná bodov. V mračne bodov má každý jeden bod priestorové súradnice. S takýmto mračnom bodov sa pracuje pri tvorbe 3D modelov, vizualizáciách stavieb, interiérov, historických objektov, v priemysle. Existuje mnoho softwarov, ktoré dokážu s týmito dátami pracovať. V súčasnosti sa toto odvetvie rozvíja a vznikajú nové rýchlejšie software, ktoré chcú dosiahnuť väčšiu automatizáciu.

Táto práca sa venuje zberu dát laserovým skenovaním, jeho spracovaniu a následnému porovnávaniu presnosti mračna bodov v súradnicovom systéme S – JTSK.

Výsledkom skenovania je mračno bodov. Skoro v každom prípade skenovania vznikne viac skenov, s ktorými sa potom pracuje. Takto naskenované mračná bodov je nutné spojiť do jedného celku a častokrát ofarbiť. Farbenie mračna bodov závisí na ďalšom využití a druhu spracovania mračien bodov. Výsledné spojené mračno bodov je obecné orientované, teda nie v žiadnom súradnicovom systéme iba v tom svojom mieste. Ďalším krokom je natransformovať spojené mračno bodov určeného súradnicového systému, v tomto prípade súradnicového systému S – JTSK. Spájanie mračien sa dá realizovať rôznymi spôsobmi. Každý z týchto spôsobov spojenia dosahuje iné výsledky.

Porovnanie presnosti naskenovaného a pospájaného mračna bodov sa dá testovať rôznymi spôsobmi. V prípade tejto diplomovej práce sa presnosť spojeného a natransformovaného mračna konala pomocou identických bodov. Kedy identické body boli zamerané geodetickým spôsobom a taktiež boli súčasťou naskenovaného mračna bodov.

Každé pospájané mračno sa testovalo samostatne, na základe čoho je vidieť presnosť spojenia jednotlivých mračien a následná transformácia do súradnicového systému.

Výsledkom práce je stanovenie najlepšieho a najvýhodnejšieho spájania mračien bodov teda skenov v rámci programu FARO SCENE 5.5. a možnosti ďalšieho využitia v praxi.

1 LASEROVÉ SKENOVANIE

V súčasnej dobe sa pojem laserové skenovanie používa v dvoch súvislostiach. Pre každú však znamená niečo iné.

Prvý význam pojmu laserové skenovanie má viac všeobecný charakter, a to kontrolované odrazy viditeľných laserových lúčov. Laserové lúče sa používajú pre tlač v 3-D tlačiarňach, modelovanie v CAD/OCH, v prístrojoch s laserovým gravírovaním, v oftalmológii, teda očnom lekárstve, v konfokálnych mikroskopoch (dokáže rekonštruovať objekt), v laserových tlačiarňach, v laserových svetelných vystúpeniach, v keramickej tvorbe, či čítaní čiarových kódov.

Druhý význam laserového skenovania je viac špecifický. Kontrolované riadenie laserových lúčov, meranie vzdialenosti každého bodu, od ktorého sa laserový lúč odrazí. Táto metóda zberu dát sa často nazýva skenovanie 3D objektu, laserové skenovanie alebo aj LIDAR. Jednou z výhod laserového skenovania je, že rýchlo zachytí tvar objektov, budov, krajiny. Laserový diaľkomer je zariadenie, ktoré sa využíva laserových lúčov na určenie vzdialenosti od objektu. [1],[7]

1.1 História 3D skenovania

Prvé 3D skenovacie technológie sa začali vyvíjať už v 60-tych rokoch dvadsiateho storočia. Výskum sa zaoberal potrebou efektívne vytvoriť modely už vzniknutých objektov a miest, aby sa s nimi dalo ľahšie manipulovať pri ich vylepšovaní, rekonštrukcii, alebo aby sa dali použiť pri iných projektoch. V druhej polovici dvadsiateho storočia nastal výrazný pokrok počítačov, čo malo veľký význam v technickom priemysle. Možnosti zaznamenávania skutočného fyzického sveta a jeho vytvorenia ho vo svete digitálnom bola výzva pre mnoho ľudí. 3D skenery boli hlavnou možnosťou, ako ten svet zachytiť.

Začiatky 3D skenovania modelov neboli ľahké. Aby sa skenovanie spracovalo a dokončil proces, boli používané kombinácie svetla, kamier a projektorov. Kvôli komplexnej povahe skenovania a aby bol objekt presne kopírovaný bolo treba veľa úsilia a času. Modely neboli ideálne. 3D technológia bola obmedzená svojou dobou. Vznik nových väčších dátových skladov umožnil objemnejšie ukladanie naskenovaných dát. Až v 80-tych rokoch sa laserová technológia aplikovala do 3D skenovania. Vtedy vznikol názov 3D skenovanie, ktorý používame dodnes.

Používanie optických prístrojov bolo rozšírenejšie ako používanie paprskov (laseru) pre meranie povrchu. Hoci technológia paprskov (laseru) bola rýchlejšia a bezkontaktná. Toto znamenalo rozšírenie obzorov, aké objekty sa môžu použiť na skenovanie, keď optické prístroje nebudú stačiť. V roku 1985 bol starý spôsob skenovania vymenený za nový spôsob. Nové skenery používali biele svetlá a tienenie pre zber dát bodov na povrchu. Najviac sa osvedčila prúžková technika. Veľké množstvo pozbieraných dát nameraných prúžkovou technikou bolo extrémne presné a rýchle.

Na konci 80-tych rokov vznikla rovnaká technológia. Zachytávala a znázorňovala časti človeka, využívala sa v animačnom priemysle v Los Angeles. Technológia sa vyvíjala ďalej a v 90t-ych rokov pokročila tak ďaleko, že boli vynájdené skenery pre naskenovanie celého človeka. Problém nastal, keď chceli zachytiť objekt, človeka 3D. Na to bolo nutné mať viac skenov z rôznych uhlov. Po celý čas 3D skenery boli drahé, neprístupné a bolo ich málo. [2]

1.2 Súčasnosť laserového skenovania

V súčasnosti laserové skenovacie systémy zažívajú veľký rozmach. Významným plusom je meranie obrovské množstvo dát za krátky čas bezkontaktným spôsobom. Táto technológia umožňuje v krátkom časovom intervale podrobne zmapovať veľké, častokrát neprístupné povrchy, terény.

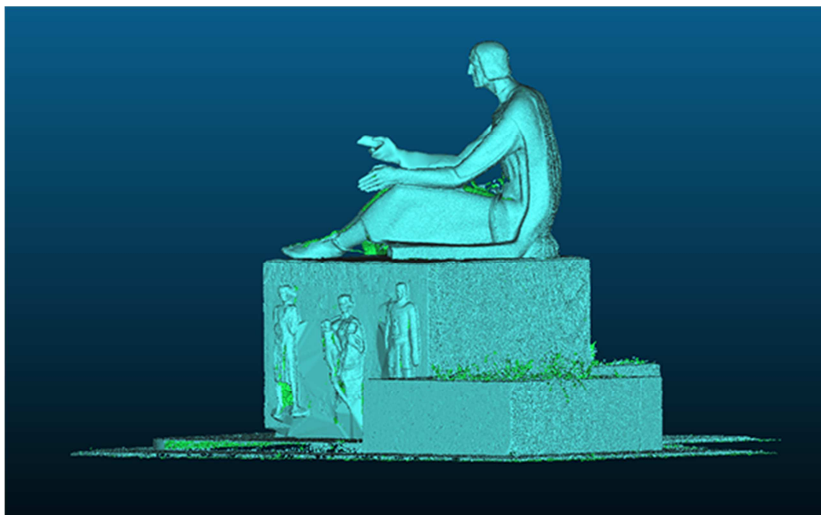
1.2.1 Konštrukcie a architektúra

3D skenovanie nachádza čím ďalej, tým väčšie uplatnenie v konštrukciách a v architektúre. V architektúre pri meraní budov. Veľkým prínosom je zachytenie starých budov, ktoré nemajú pravidelné geometrické tvary. Stavby ťažko prístupné, budovy s členitými fasádami.

U konštrukcií je skenovanie vhodné pre meranie širokého okolia. Špeciálnymi prípadmi sú mosty, železnice, voda, povrchové lomy, neprístupné skalné bralá, tunely, banské diela, pivnice a iné. Uplatnenie nachádza v dokumentácii a dohľade počas výstavby. Veľké množstvo výsledných naskenovaných bodov umožňuje rýchlejšie a detailnejšie popísanie celého projektu.

Vektorové grafické programy ako sú AutoCad, Nemetschek, Microstation a iné sa často využívajú pre cadové spracovanie. Načítanie veľkého množstva dát (mračno bodov) v týchto programoch je skoro nemožné. Z toho dôvodu sa v týchto zmienených

programoch používajú iba výrezy, výstrižky dát. Tento nedostatok sa dá obísť, ak programom pridáme rôzne nadstavby, ktoré zvýšia chod programu. S pridanými nadstavbami je manipulácia s veľkým množstvom dát jednoduchšia a často krát aj rýchlejšia. Mnoho nadstavieb ponúka možnosť modelovania a hodnotenia obrazu. [3]



Obr. 1: Ukážka využitia laserového skenovania v architektúre

1.2.2 Digitálne továrne

Pod pojmom digitálna továreň sa rozumie virtuálna kópia plánovanej továrne, alebo už postavenej. Digitálny svet je autentický ako ten plánovaný, či skutočný. Súčasťou digitálnej továrne sú stroje a výrobné linky v 3D vizualizácii.

Jedna z mnohých výhod laserového skenovania u digitálnych tovární je, že továrne nemusia prerušiť či zastaviť svoju výrobu pri samotnom procese skenovania. Po naskenovaní a následnom vytvorení 3D modelu je modernizácia a úprava priemyselnej oblasti o mnoho jednoduchšia a efektívnejšia. Nové plánované zmeny, inštalácie či stroje sa ľahko zobrazia do digitálnej podoby s už naskenovanou prevádzkou.

Vizualizácia budov v 3D priestore je prepracovaná do najmenších detailov z dôvodu výskytu kolízií a budúcich možných nedostatkov. Aby táto skutočnosť nenastala, plánuje sa s rozličnými variantmi a ich modifikáciami, ktoré sú postupne zaraďované do vizualizácie 3D modelu.

Čím ďalej tým viac spoločností využíva laserové skenovanie pre moderné plánovanie a konštrukciu nových projektov. Nie len preto, že je to finančne dostupné a rýchle ale i preto, že na základe výsledkov môžu rýchlejšie rozhodovať o plánovaní a i iných možnostiach. Realistická vizualizácia plánovaného projektu je taktiež obrovskou výhodou. [4]



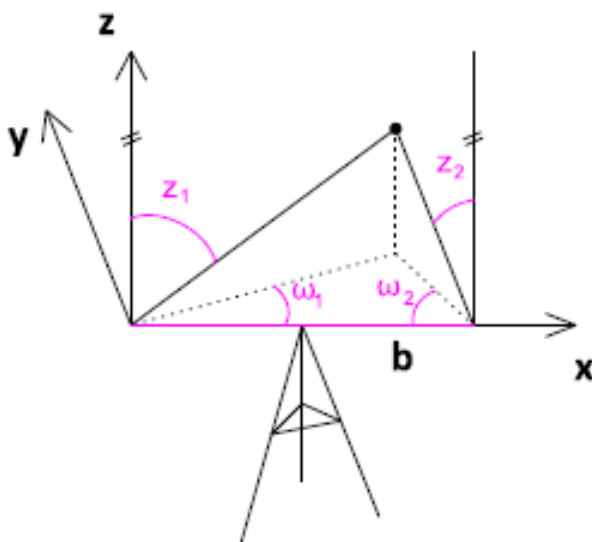
Obr. 2: Ukážka využitia laserového skenovania v plánovaní digitálnych tovární

2 PRINCÍP SKENERU

Základom laserového skenovania je určiť 3D súradnice bodu v priestore. Pre terestrické skenovacie systémy existujú 2 spôsoby ako ich určiť. Prvý spôsob je priestorová polárna metóda – diaľkomerné skenery. Druhým spôsobom je priestorové pretínanie vpred zo základne, triangulačné skenery. [5]

2.1 Metóda priestorového pretínania vpred

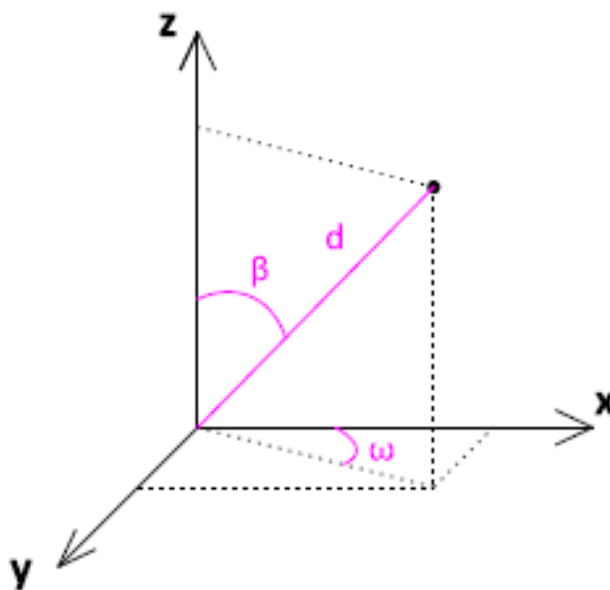
Na začiatku vývoja skenovacích systémom sa na určenie polohy bodu používala metóda priestorového pretínania vpred z uhlov. Pri tejto metóde sa merajú 2 horizontálne uhly (ω_1, ω_2), 2 zenitové uhly (z_1, z_2), známa je dĺžka základne b . [6]



Obr. 3: Schéma priestorového pretínania vpred [6]

2.2 Priestorová polárna metóda

Jej princíp spočíva v meraní šikmej vzdialenosti od známeho bodu (v tomto prípade skeneru), vodorovného uhlu a zenitového uhlu určovaného bodu. Uhly sú získavané z polôh zrkadiel, ktoré rozmetajú laserový zväzok lúčov. Dĺžka sa meria diaľkomerom, kde d je šikmá dĺžka, β je zenitový uhol, ω je vodorovný uhol. [6]



Obr.4: Schéma priestorovej polárnej metódy [6]

2.3 Určenie vzdialenosti

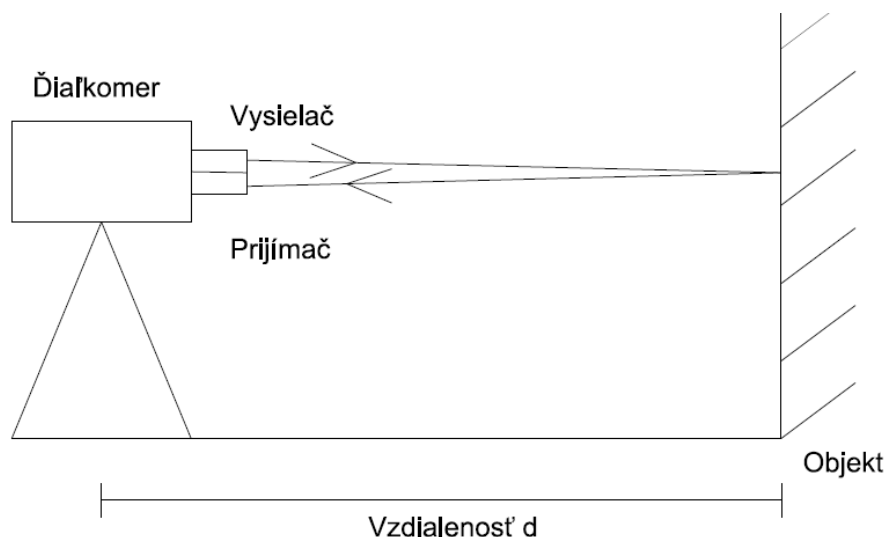
V skenovacích systémoch sa dĺžky určujú elektronickým alebo optometrickým spôsobom, teda meraním zo známej základne.

2.3.1 Elektronické určenie vzdialenosti

Elektronické diaľkomery sa delia na impulzné a fázové. V súčasnosti u skenovacích systémov, skenerov, sa používa odraz priamo od povrchu zmeraného objektu na rozdiel od geodézie, kde sa používa ako odrazový systém koutový hranol.

Pri meraní impulzným diaľkomerom sa meria tranzitný čas. Je to čas, ktorý potrebuje elektromagnetický signál na prejde dĺžky dvojnásobnej vzdialenosti, teda tam a späť. Je známa rýchlosť šírenia impulzu. Z týchto veličín sa spočíta výsledná dĺžka.

Meranie vzdialeností fázovým diaľkomerom spočíva v meraní fázového rozdielu. Diaľkomer vysiela modulované vlny o známej vlnovej dĺžke. Z vrátenej odrazenej vlny sa vypočíta fázový rozdiel, následne sa určí meraná dĺžka. Nevýhodou fázového diaľkomeru je meranie v širokom prostredí, pretože v iných prostrediach sa mení index lomu, teda aj použitá vlnová dĺžka. Táto skutočnosť môže ovplyvniť presnosť meraných dĺžok.



Obr.5: Schéma elektronického merania dĺžok

2.3.2 Optometrické určenie vzdialenosti

Optometrické určenie dĺžky spočíva v riešení obecného rovinného trojuholníka, kde je známa dĺžka základne a merajú sa k nej príslušné uhly. Táto metóda sa používa pri meraní kratších vzdialeností, dokáže veľmi presne zmerať dĺžky. Presnosť merania dĺžok s rastúcou vzdialenosťou klesá. Jednou z možností ako určiť dĺžky je priestorové pretínanie vpred. [6]

3 TYPY SKENEROV

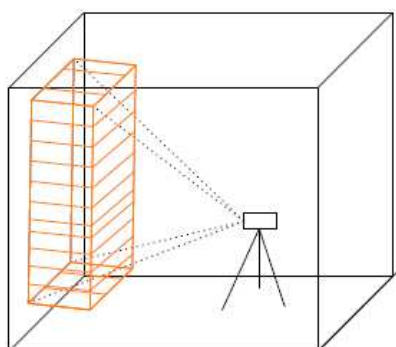
Existuje veľa druhov skenerov. Líšia sa od seba navzájom podľa rôznych charakteristík.

3.1 Rozdelenie skenerov podľa zorného poľa

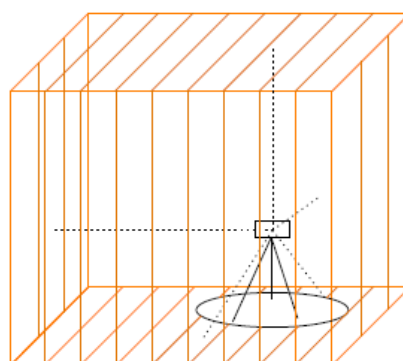
Tvar zorného poľa je dôležitý pre rozsah skenovaného územia. Pod slovným spojením zorné pole sa rozumie maximálny uhol rozdielu krajných hodnôt zväzku laserového paprsku v horizontálnom a vertikálnom smere.

Súčasťou skeneru sú 2 hranoly, respektíve 2 zrkadlá s dvomi kolmými osami. Takýto systém rozptýli laserový paprsok do malého zorného poľa. Je to podobný princíp ako u fotoaparátov alebo kamier. Preto sa takémuto skeneru hovorí kamerový.

Iný prípad nastáva u panoramatických skenerov, kde sa otáča celou súpravou pomocou servomotorov a rozptýlený laserový paprsok zachytáva väčšie okolie. [7]



Obr. 6: Ukážka kamerového skeneru [6]



Obr.7: Ukážka panoramatického skeneru [6]

3.2 Rozdelenie skenerov podľa dosahu

Podľa dosahu sa dajú skenery rozdeliť do 4 kategórii.

D1 – veľmi krátky dosah (0,1 m – 2 m)

D2 – krátky dosah (2 m – 10 m)

D3 – stredný dosah (10 m – 100 m)

D4 – dlhý dosah (100 m a viac)

[5]

3.3 Rozdelenie skenerov na základe presnosti

Presnosť skenerov závisí na ich dosahu, preto môžeme skenery rozdeliť podľa presnosti taktiež do 4 kategórií.

Vzdialenosť skenovania D1 – vysoká presnosť **P1** (0,01 mm – 1 mm), presnosť s rastúcou vzdialenosťou výrazne klesá.

Vzdialenosť skenovania D2 – presnosť **P2** (0,5 mm – 2 mm)

Vzdialenosť skenovania D3 – presnosť **P3** (2 mm – 6mm), takzvané polárne skenery.

Vzdialenosť skenovania D4 – presnosť **P4** (10 mm – 100 mm), hovorí sa im tiež polárne skenery s dlhým dosahom.

[5]

3.4 Rozdelenie skenerov podľa rýchlosti

Systémy s veľmi vysokou rýchlosťou R1 – 50 000 bodov/sekundu a viac

Systémy s vysokou rýchlosťou R2 – 1000 až 50 000 bodov/sekundu

Systémy so strednou rýchlosťou R3 – 10 až 1000 bodov/sekundu

Systémy s nízkou rýchlosťou R4 – 10 bodov/sekundu a menej

[5]

4 POUŽITÉ POMÔCKY

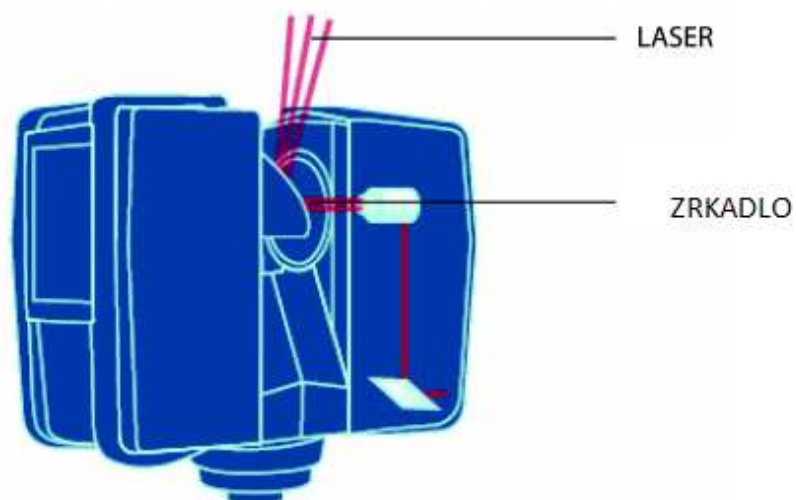
4.1 Skener

Skener FARO Focus 3D je bezkontaktný bodový systém, ktoré svojím vysoko rýchlym zberom 3D dát nachádza uplatnenie pri detailnom meraní. Focus 3D používa laserovú technológiu pre extrémne rýchly zber detailných dát objektov, širokého okolia iba v pár minútach. Výsledným produktom je zhromaždenie miliónov naskenovaných 3D bodov, nazývaných mračno bodov.

[8]



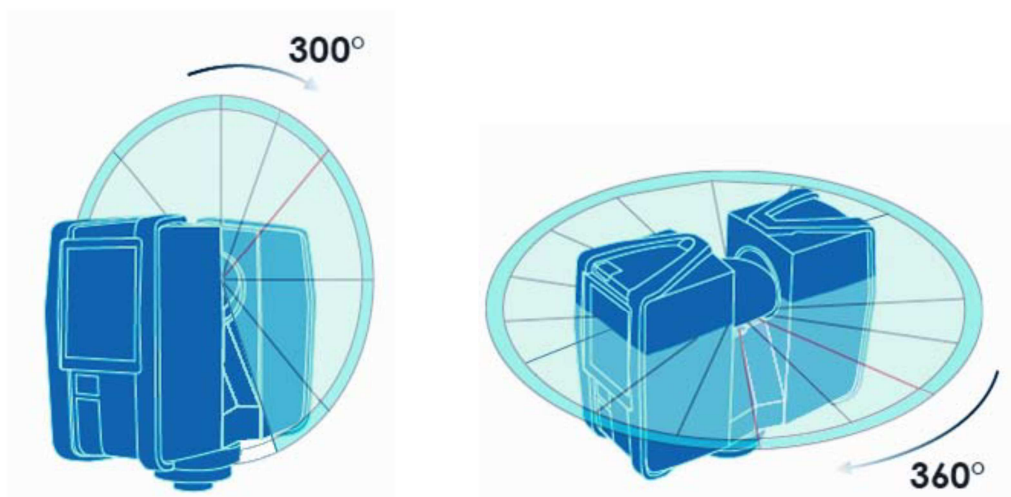
Obr. 8: Skener FARO Focus 3D



Obr. 9: Princíp skeneru [8]

Skenovací systém je určený pre skenovanie väčších priestorov, či už vonkajších alebo vnútorných. Jeho rozsah dosahuje až 130 m, čím je jeho uplatnenie vhodné nielen do strojárenského priemyslu ako bolo u jeho predchodcov, ale používa sa tiež v architektúre, archeológii či kriminalistike. [1]

K meraniu vzdialenosti používa FARO Focus 3D fázový posun. Konštantné vlnové dĺžky infračerveného žiarenia smerujú von zo skenera. Po kontakte laserového paprsku s objektom sa paprsok odrazí smerom späť ku skeneru. Vzdialenosť zmeraná medzi paprskom dopadu a odrazu od skenera zodpovedá dvojnásobnej meranej dĺžke. Laserový paprsok dopadá na otáčajúce sa zrkadlo, ktoré ho láme pod uhlom 90° . Týmto sa skenuje priestor vo vertikálnom smere. Skenovanie v horizontálnom smere spočíva v rotácii skenera okolo vlastnej osi.



Obr. 10: Horizontálny a vertikálny zber dát [8]

Súradnice X, Y, Z každého bodu sa potom vypočítajú z nameranej dĺžky, horizontálneho a vertikálneho uhlu.

Naskenované mračná bodov majú vlastný súradnicový systém. Tento systém sa viaže ku skeneru. Počiatok súradnicového systému sa nachádza v strede skeneru zrkadla. Súradnice tohto bodu sú $x = 0$, $y = 0$, $z = 0$. Ak sú 2 a viac skenov s rôznym umiestnením skenera, tak každý tento sken má svoj vlastný súradnicový systém. Preto je dôležité určiť ich vzťah v priestore. Tento proces sa nazýva Registrácia skenov, po jeho skončení sú jednotlivé skeny spojené, transformované do jedného, pre ktorý je záväzný práve jeden súradnicový systém. [9]

Súčasťou skenera je aj zabudovaný dotykový displej pre jednoduchšiu manipuláciu a obsluhu skenera. Namerané dáta sa automaticky ukladajú na pamäťovú kartu. [10]

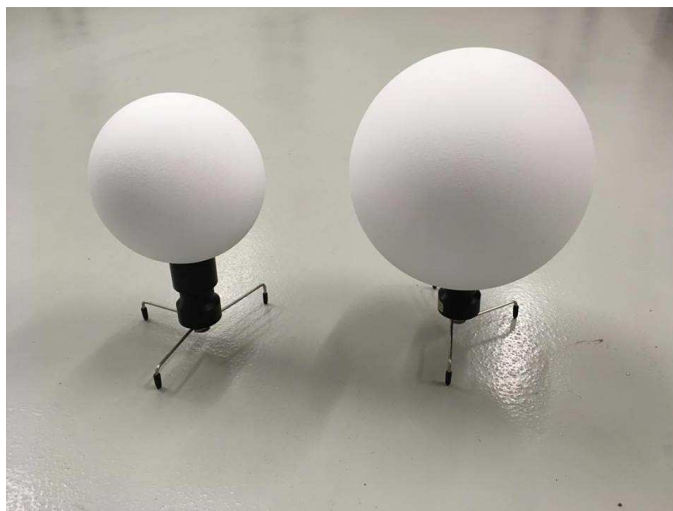
Tabuľka č. 1: Technické parametre skenera

Technické parametre skeneru		
Presnosť merania dĺžok	2 mm	Pri vzdialenosti 10 m - 25 m pri 90% odrazivosti.
Dosah	0,6 m -130 m	
Rýchlosť zberu dát	až 976000 bod/sek	
Rozlíšenie vstavaného fotoaparátu	70 MPX	
Váha	5,2 kg	
Rozmery	240x200x100 mm	
Zorné pole	360° horizontálny smer	
	300° vertikálny smer	
Uhlový krok	0,009°	
Príslušenstvo - senzory		
GPS	áno	
Kompas		Elektronický kompas určuje orientáciu skenera k severu
Výškový senzor		Pomocou elektronického barometru sa môžu relatívne výšky pevných bodov vložiť do skenera

[8]

4.2 Referenčné terče a referenčné gule – sféry

K dispozícii boli referenčné gule s priemerom 14 cm a 20cm. Referenčné gule, teda sféry sú vyrobené z jedinečného vysoko odrazového materiálu. Sféry boli umiestnené rovnomerne v celom skenovanom území.



Obr. 11: Referenčné gule – sféry s priemerom 14 cm a 20 cm.

4.3 Totálna stanica

Vlícovacie body potrebné pre transformáciu do súradnicového systému S – JTSK boli zamerané polárnou metódou pomocou totálnej stanice Trimble S6, ktorá bola požičaná z výskumného centra AdMaS. Taktiež ňou boli zamerané identické body pre porovnanie presnosti a aj niektoré body bodového poľa.

Tabuľka č. 2: Technické parametre totálnej stanice

Technické parametre totálnej stanice Trimble S6 DR plus	
Zväčšenie ďalekohľadu	30x
Dosah merania na hranol	2500 m
Presnosť diaľkomera v bezhranovom móde	2 mm +2 ppm
Presnosť diaľkomera v hranolovom móde	2 mm +2 ppm
Presnosť merania smeru v jednej polohe	3 ''
Kompenzátor	dvojosí
Rozsah kompenzátora	± 100 mgon
Hmotnosť	5,2 kg

[11]



Obr. 12: Totálna stanica Trimble S6.

4.4 Technológia GNSS

Body meračskej siete boli zmerané GNSS metódou RTK. Body boli považované za počiatočné body meračskej siete, z ktorých sa ďalej merala meračská sieť.

Tabuľka č. 3: Technické parametre GNSS prijímača

Technické parametre GNSS prijímača Trimble R4	
Podporované systémy	GPS, GLONASS
Komunikácia s kontrolným prístrojom	bluetooth
Podpora technológie RTK	Áno
Presnosť metódy RTK v polohe (H)	$\pm 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$
Presnosť metódy RTK vo výške (V)	$\pm 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$
Doba inicializácie	< 25 s

[12]

5 PRAVIDLÁ SKENOVANIA

Existuje pár pravidiel a rád, ako by sa malo skenovať pre bezproblémovú registráciu skenov.

Základným pravidlom pri skenovaní je mať referenčné objekty, teda korešpondujúce si predmety. Ak sa na dvoch skenoch nachádzajú aspoň 3 takéto navzájom korešpondujúce si objekty, tak je možné matematickým algoritmom spočítať transformáciu. Výsledkom je mračno bodov s jednotným súradnicovým systémom.

V programe SCENE 5.5 sú rôzne typy referenčných objektov, ktoré slúžia pre registráciu - spojenie laser skenov.

Častými takýmito objektmi sú takzvané prírodné objekty ako napríklad dosky, trubky, rohy, geometrické tvary, alebo umelo vytvorené objekty, napríklad sféry – gule, ploché šachovnicové terče.

Ako už bolo napísané, minimálny počet referenčných objektov je 3, aby bola registrácia úspešná. Okrem toho je nutné, aby boli dodržané aj iné podmienky a pravidlá pri výbere referenčných objektov. [9]

5.1 Pravidlá pre šachovnicové terče

- Uhol medzi skenerom a terčom by nemal byť väčší ako 45° .
- Pri automatickej registrácii šachovnicových terčov spoľahlivosť transformácie závisí na vzdialenosti. Čím väčšie rozlíšenie, tým menšia vzdialenosť, alebo čím väčšia vzdialenosť pri rovnakom rozlíšení, tým väčšie terče.
- V každom kvadrante šachovnicového terča zachytiť minimálne 4 body .
- Terče by nemali byť umiestnené na nerovných povrchoch.

[9]

5.2 Pravidlá pre sféry –referenčné gule

- Pri automatickej registrácii gúl závisí na rozlíšení, vzdialenosti a polomere gúl. Doporučená maximálna vzdialenosť pre gule s priemerom 140 mm je 18 m a pre gule s priemerom 200 mm to je 45 m.
- Na povrchu gule by sa malo nachádzať najmenej 60 bodov.
- Uhol medzi skenerom a terčom by nemal byť väčší ako 45° .

- Pri automatickej registrácii šachovnicových terčov spoľahlivosť transformácie závisí na vzdialenosti. Čím väčšie rozlíšenie, tým menšia vzdialenosť, alebo čím väčšia vzdialenosť pri rovnakom rozlíšení tým väčšie terče.
- V každom kvadrante šachovnicového terča zachytiť minimálne 4 body.
- Terče by nemali byť umiestnené na nerovných povrchoch.
- Gule by mali byť viditeľné v celom rozsahu, nemali by byť zakryté inými predmetmi. [9]

5.3 Použitie prirodzených objektov

Môže sa to zdať zvláštne, ale niekedy umiestnenie umelých referencií a následné spájanie skenov na ich základe nie je dostatočne presné. Ak takáto situácia nastane, ak nie sú dodržané základné pravidlá skenovania, potom sa pre registráciu skenov používajú prírodné objekty – geometrické tvary. Takéto tvary sa definujú na jednotlivých skenoch automaticky alebo manuálne. Po automatickej detekcii sa tieto objekty rozdelia do tried 1 alebo 2. Objekty nachádzajúce sa v prvej triede najlepšie spĺňajú podmienky pre registráciu a následnú transformáciu.

Používanie geometrických tvarov je časovo i spracovateľsky náročnejšie. Presnosť transformácie u týchto objektoch je považovaná za menšiu.

Po umiestnení skenera na statív sa založil v skeneri nový projekt, nastavilo sa rozlíšenie – hustota skenovaných bodov, farebnosť bodov, a nakoniec vertikálny a horizontálny uhol. [9]

6 MERAČSKÉ PRÁCE

Úlohou diplomovej práce bolo porovnať presnosť mračna bodov a analyzovať presnosť spojenia mračien bodov na základe rôznych kritérií.

Ďalšou úlohou bolo porovnať presnosť mračna bodov s nadväznosťou do S – JTSK.

Skenovalo sa v areáli výskumného centra AdMaS, v garáži budovy P4. Meráciu techniku a softwarovú techniku som mala požičanú z výskumného centra. Bola som oboznámená s tým, že budem skenovať so skenerom FARO Focus 3D a následne spracovávať v programe FARO SCENE 5.5.

Po naštudovaní problematiky skenovania som začala s meraním – skenovaním.



Obr. 13: Pohľad na areál výskumného centra AdMaS

6.1 Skenovanie

V prvom kroku som si rozvrhla ako sa bude skenovať, teda koľko skenov bude potrebných, aby bol zachytený priestor určený pre skenovanie. Stanoviská skenerov som volila tak, aby ich prekrytie bolo dostatočné medzi sebou a dokázali zachytiť danú situáciu.

Aby sa jednotlivé skeny mohli spojiť, musia byť súčasťou skenov referenčné predmety, v mojom prípade referenčné gule a terče.

Pre moje nastavenie, v bezfarebnom móde dĺžka skenovania trvala okolo 10 minút. Podľa týchto vstupných nastavení skeneru sa odvíja dĺžka skenovania. V mojej situácii boli použité sféry s priermi 14 cm a 20 cm, šachovnicové terče.

The image displays two identical screenshots of a scanner's configuration interface, arranged side-by-side. The interface is organized into several sections:

- Selected Profile:** A dropdown menu showing 'Outdoor 20m...'. Below it, the 'Angular Area' is defined by 'Vertical' (90 to -60) and 'Horizontal' (0 to 360) angle ranges.
- Resolution:** A slider control ranging from 'Low' to 'High', with a '1/4' marker.
- Quality:** A slider control ranging from '-' to '+', with a '4x' marker and a 'Speed (kpt/sec)' indicator at 122.
- Filters:** Two checkboxes, 'Clear Sky' and 'Clear Contour', both of which are checked.
- Scan Time:** A digital display showing '0:08:09'.
- Scan Size:** Two input fields showing '10312' and '4268' with a unit of '[pt]'.
- Resolution:** A dropdown menu set to 'pt/360°'.
- File Size:** An empty input field with a unit of '[MB]'.
- Eye Safety Distance to IEC 60825-1 [axial / radial]:** A display showing '12.5 / 4.2' with a unit of '[m]'.

Obr. 14: Ukážka nastavenia parametrov skenera.

6.2 Tvorba meračskej siete

Aby sa naskenované a pospájané mračno bodov dalo pripojiť do súradnicového systému S – JTSK, bola vytvorená meračská sieť. Sieť vznikla kombináciou GNSS metódy a polárnej metódy.

Stanoviská bodov 4001, 4002, 4004 vznikli z GNSS merania, keď boli zmerané 2 – krát s časovým odstupom jednej hodiny. Výsledné súradnice boli získané aritmetickým priemerom dvoch meraní. Stanovisko 4005 bolo zmerané polárnou metódou zo stanoviska 4001, rajónom. Body stanovísk boli stabilizované klinčekom a označené reflexným sprejom pre ľahké dohľadanie v budúcnosti.



Obr. 15: Schéma meračskej siete v areáli AdMaSu

6.3 Meranie totálnou stanicou

Meralo sa v dvoch etapách. V prvej etape sa zamerali body K1, K2, K3, K4, K5 polárnou metódou. Body K1, K2, K3, K4, K5 budú ďalej označované ako vlícovacie body, pretože sa nimi transformovalo mračno bodov do súradnicového systému S- JTSK.

Vlícovacie body boli stabilizované na statívoch malými odrazovými hranolmi.

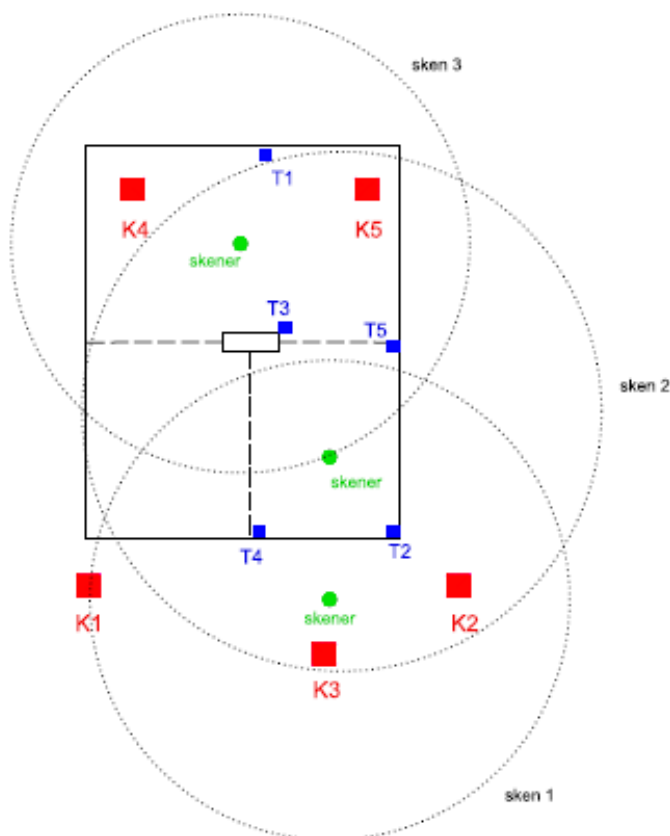
Na statívoch bodov K1, K2, K3, K4, K5 boli najskôr umiestnené referenčné gule (priemer 20cm), ku ktorým sa vyrábajú malé odrazové hranoly. Najskôr sa body K1, K2, K3, K4, K5 naskenovali - na statívoch boli referenčné gule, potom sa zamerali polárnou metódou – vymenené odrazovými hranolmi. Tento postup sa realizoval z dôvodu, že

geometrický stred referenčnej gule (priemer 20 cm) sa rovná geometrickému stredu malého hranola.

Ďalej sa zamerali stredy terčikov, ktoré boli nalepené na steny trvalým spôsobom. Tak vznikli body A1, A2, A3, T1, T2, T3, T4, T5. Body T1, T2, T3, T4, T5 boli použité pre registráciu mračna bodov pomocou šachovnicových terčov. Šachovnicové terče A1, A2, A3 boli v ďalšom spracovaní použité ako identické body pre porovnanie presnosti.

V druhej etape sa zamerali identické body, ktoré sa ľahko nájdu v pospájanom mračne bodov. Body sa merali v bezdrazovom móde, a boli vyberané tak, aby boli jednoznačne identifikovateľné. Celkom bolo zmeraných 9 bodov, ktoré boli rovnomerne rozmiestnené po celom mračne.

Pre nezávislé overenie, či je pospájané mračno bodov natransformované v súradnicovom systéme S – JTSC, sa porovnali takto zmerané IB s bodmi z mračna bodov, po transformácii do S- JTSC cez body K1, K2, K3, K4, K5 (v ich variantoch).



Obr. 16: Schéma rozmiestnenia šachovnicových terčov skenovanom území.

7 SPRACOVATEĽSKÉ PRÁCE

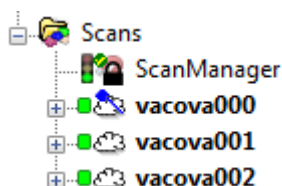
Body získané GNSS metódou boli vypočítané v programe Microsoft Excel ako aritmetický priemer meraných bodov. Celkom sa každý bod zmeral 3krát.

Výsledky merania z totálnej stanice boli spracované v geodetickom programe Groma 8.0. Boli vypočítané súradnice vlícových bodov K1, K2, K3, K4, K5. Ďalej súradnice šachovnicových terčov - A1, A2, A3, A4, T1, T2, T3, T4, T5 a nakoniec 13 bodov určených na overenie presnosti.

Po naskenovaní mračien bodov sa vytiahla SD karta, na ktorú sa merané dáta zo skeneru ukladali. Práca s mračnami bodov je vo veľa prípadoch náročná na čas z dôvodu veľkého objemu dát. Preto sa mračná bodov spracovávali v centre AdMaS, kde disponujú technikou, ktorá takýto veľký objem dát vie spracovať.

7.1 FARO Scene 5.5

V programe FARO Scene 5.5 sa založí nový projekt, do ktorého sa zakladajú “workspacey“. Workspace je priestor, kde sa reálne pracuje s mračnami bodov. Naskenované mračná sa do workspaceu pretiahnu myšou. Po dvojkliknutí na každý sken sa mračná postupne načítajú. Mračno je natiahnuté až vtedy, keď pri ňom svieti zelený štvorček.



Obr. 17: Ukážka načítaného mračna bodov

Kliknutím pravým tlačidlom myši v záložke *view* je niekoľko možností pre vizualizáciu mračna. Týmito možnosťami sú:

Quick view – štandardný pohľad ako zobraziť jednotlivé skeny. Zobrazí sa za pár sekúnd. V tomto pohľade je vidieť naskenované referenčné gule, terče a iné objekty. V tomto pohľade sa definujú referenčné predmety. Skenovné územie je vidieť z pohľadu skenera. Otáčaním môžeme zmeniť uhol pohľadu. Zorné pole nepresiahne uhol 180°.

Planar view – zobrazuje jednotlivé skeny samostatne. Na prvý pohľad je naskenované územie skreslené. Vodorovné línie sa zobrazia ako krivky.

3D view – pri tomto zobrazení sa načíta mračno bodov v 3D rozlíšení. Tento pohľad umožňuje zobrazene viacero mračien naraz.

Correspondence view – zobrazí mračná bodov v trojrozmernom priestore naraz a farebne ich odliši. Používa sa pre manipuláciu už pospájaného mračna bodov.

Pri skenovaní väčšieho množstva dát sa vytvárajú takzvané Clustery pre jednoduchšie spájanie skenov. Pre každý Cluster sa vytvorí jeho vlastný Scan Manager, ktorým sa mračná spájajú. Ak sa skenuje viac úrovňová stavba, pre jednotlivé poschodia sa vytvoria vlastné Clustery. Najprv sa spoja mračná na jednotlivých poschodiach. Následne sa prepoja poschodia navzájom. Vo verzii Scene 5.5 je možnosť uzamknutia Scan Managera, čo je veľkou výhodou pri spájaní väčšieho množstva dát.

Založila som si nový projekt, nový workspace. Pretiahla 3 naskenované mračná bodov. Dvojklikom na myši sa mračná načítali.

Tieto ikonky slúžia k definovaniu referenčných predmetov.



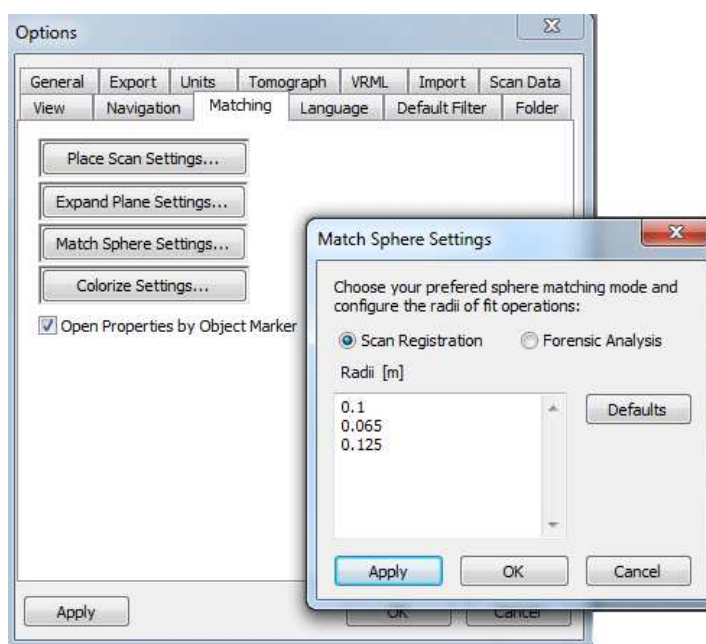
- | | |
|---|------------------------------|
|  | kruhový cieľ |
|  | šachovnicový terč |
|  |referenčná guľa - sféra |
|  | rovina |
|  | doska |
|  | bod |

Postupne som otvárala načítané skeny v pohľade *quick view* a definovala referenčné predmety. Celkom som takto získala 3 pospájané mračná bodov. Dôležité je, aby korešpondujúce si referenčné predmety boli označené rovnakým názvom v každom skene. Inak by program nevedel referenčné predmety k sebe priradiť.

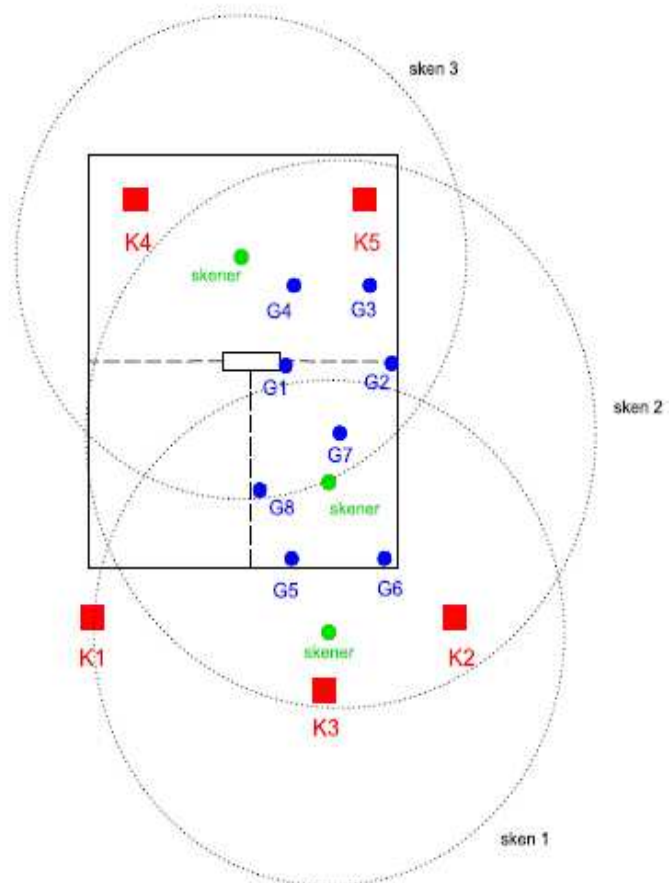
7.2 Registrácia skenov referenčnými guľami

Prvá registrácia skenov bola realizovaná cez referenčné gule s priemerom 14 cm. Na povrchu gule by sa malo nachádzať najmenej 60 bodov. Ich počet sa dá zistiť pomocou *the sphere fit*. Pri registrovaní sfér sa nastavujú polomery. Polomer guľ musí byť správne nastavený. *Match Sphere Settings* (*Tools > Options > Matching > Match Sphere Settings*)

Po nastavení správnych polomerov u sfér program automaticky rozlišuje veľkosť sfér sám. Pre kontrolu program vždy ukáže polomer.



Obr. 18: Nastavenie polomerov referenčných guľ- sfér



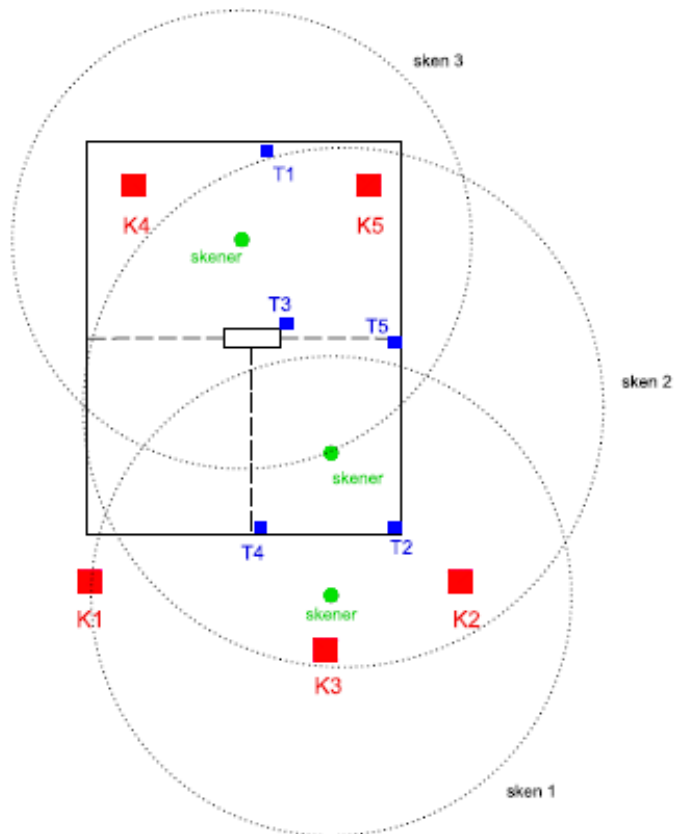
Obr. 19: Schéma rozmiestnenia referenčných gúľ v skenovanom území

G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7 ... referenčné gule – sféry s priemerom 14 cm

K1, K2, K3, K4, K5 ... referenčné gule – sféry s priemerom 20 cm

7.3 Registrácia skenov šachovnicovými terčmi

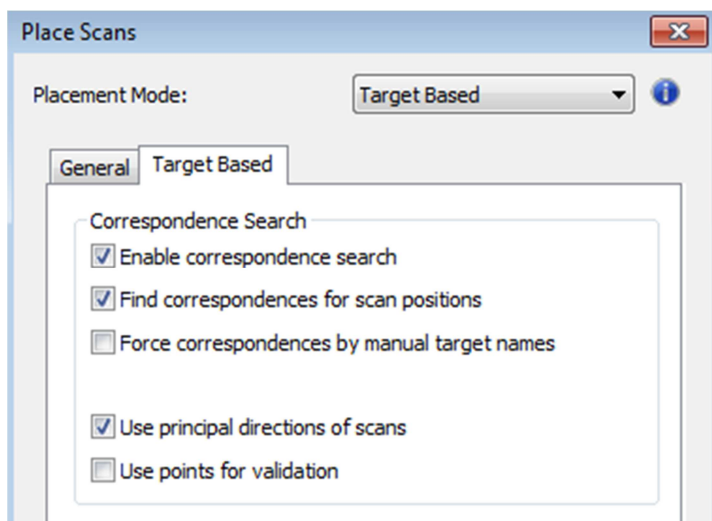
Druhá registrácia skenov bola realizovaná cez šachovnicové terče, ktoré boli umiestnené na stenách.



Obr. 20: Schéma rozmiestnenia šachovnicových terčov skenovanom území

T1, T2, T3, T4, T5 ... šachovnicové terče umiestnené na stenách
K1, K2, K3, K4, K5 ... referenčné gule – sféry s priemerom 20 cm

Pri spájaní mračien pomocou referenčných gúľ a šachovnicových terčov bolo zadané nasledujúce nastavenie.

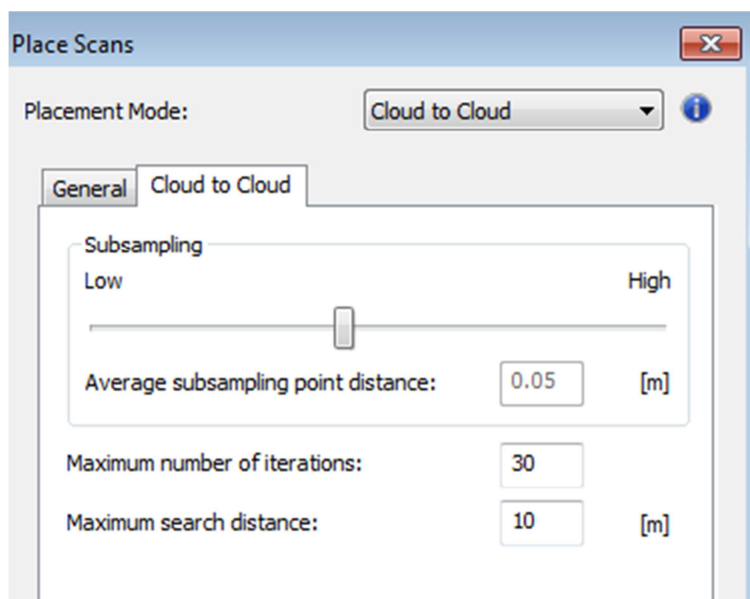


Obr. 21: Ukážka nastavenia pri registrácii skenov sférami a terčmi

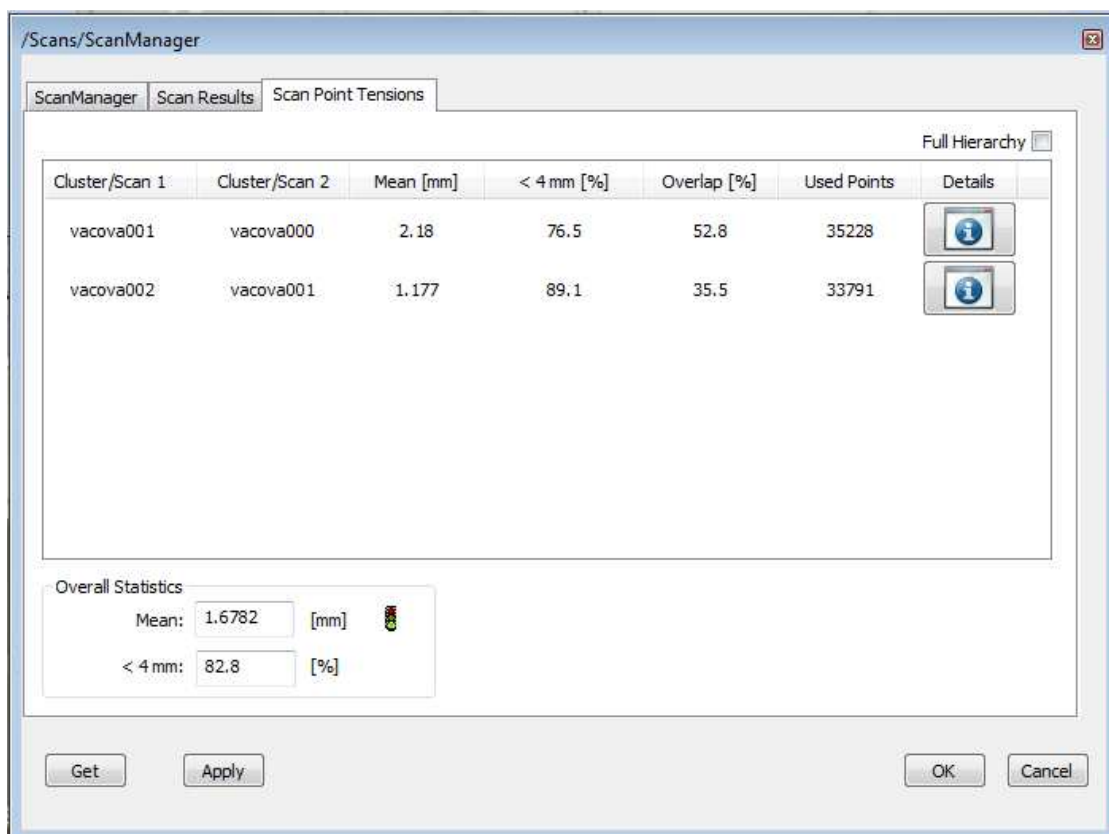
7.4 Registrácia skenov Cloud to Cloud

Pri tretej poslednej registrácii skenov bola použitá možnosť spojenia *Cloud to Cloud*. V takomto prípade program sám spája skeny bez zadania referenčných predmetov, vyhľadáva identické línie, plochy.

Pri spájaní mračien bodov pomocou funkcie *Cloud to Cloud* bolo nastavené nasledujúce nastavenie.



Obr. 22: Ukážka nastavenia pri registrácii skenov funkciou Cloud to cloud



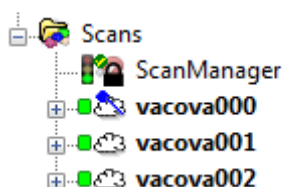
Obr. 23: Spojenie skenov funkciou Cloud to Cloud

7.5 Vyhodnotenie spájania skenov

Po procese spájania mračien som získala 3 pospájané mračná bodov, s ktorými som neskôr pracovala nezávisle od seba. Mračná boli spojené tromi spôsobmi, takže každé z nich malo inú presnosť.

Hodnoty spojenia mračien prvým a druhým spôsobom boli prepísané do prehľadných tabuliek.

Pri spájaní skenov sa dá nastaviť, ktorý sken bude fixný, na ktorý sa budú ostatné skeny viazať, napájať.



Obr. 24: Ukážka fixného skenu, modrá hviezdica u vacova000

Tabuľka č. 4: Výsledky spojenia skenov – gule

Spojenie skenov na základe gúl

	Skeny 0 - 1 [mm]	Skeny 1 - 2 [mm]	Skeny 0 - 2 [mm]
G1		0,0010	
G2		0,0006	
G3		0,0018	
G4		0,0013	
G5	0,0013	0,0022	0,0013
G6	0,0013	0,0028	0,0028
G7	0,0020	0,0013	0,0014
G8	0,0180	0,0006	0,0011

Tabuľka č. 5: Výsledky spojenia skenov - terče

Spojenie skenov pomocou terčov

	Skeny 0 - 1 [mm]	Skeny 1 - 2 [mm]	Skeny 0 - 2 [mm]
T1	0,0012	0,0070	0,0065
T2	0,0064		
T3		0,0085	
T4	0,0039		
T5		0,0176	

Z výsledkov je vidieť, že všetky 3 typy spojenia mračien dosahujú vysokú presnosť. Presnosť spojenia závisí aj na vhodnom rozmiestnení referenčných gúl a šachovnicových terčov. Bol použitý väčší počet referenčných objektov ako bolo nutné. Aj tento fakt ovplyvnil registráciu mračien. To, že boli mračná spojené správne je vidieť v *RASTER MANAGER*, pri ktorom sa nachádza malý semafor. Kliknutím pravým tlačítkom myš na *RASTER MANAGER*, následne *Update scans* prebehne registrácia mračien. Semafor pri *RASTER MANAGER* vtedy získa farbu červenú, žltú alebo zelenú. Ak semafor svieti červenou farbou, registrácia prebehla neúspešne a musíme zvoliť lepšie voľbu referenčných predmetov, poprípade nejaké predmety z registrácie vylúčiť. Žltá a zelená farba semafora je akceptovateľná pre ďalšiu prácu so spojeným mračnom bodov.

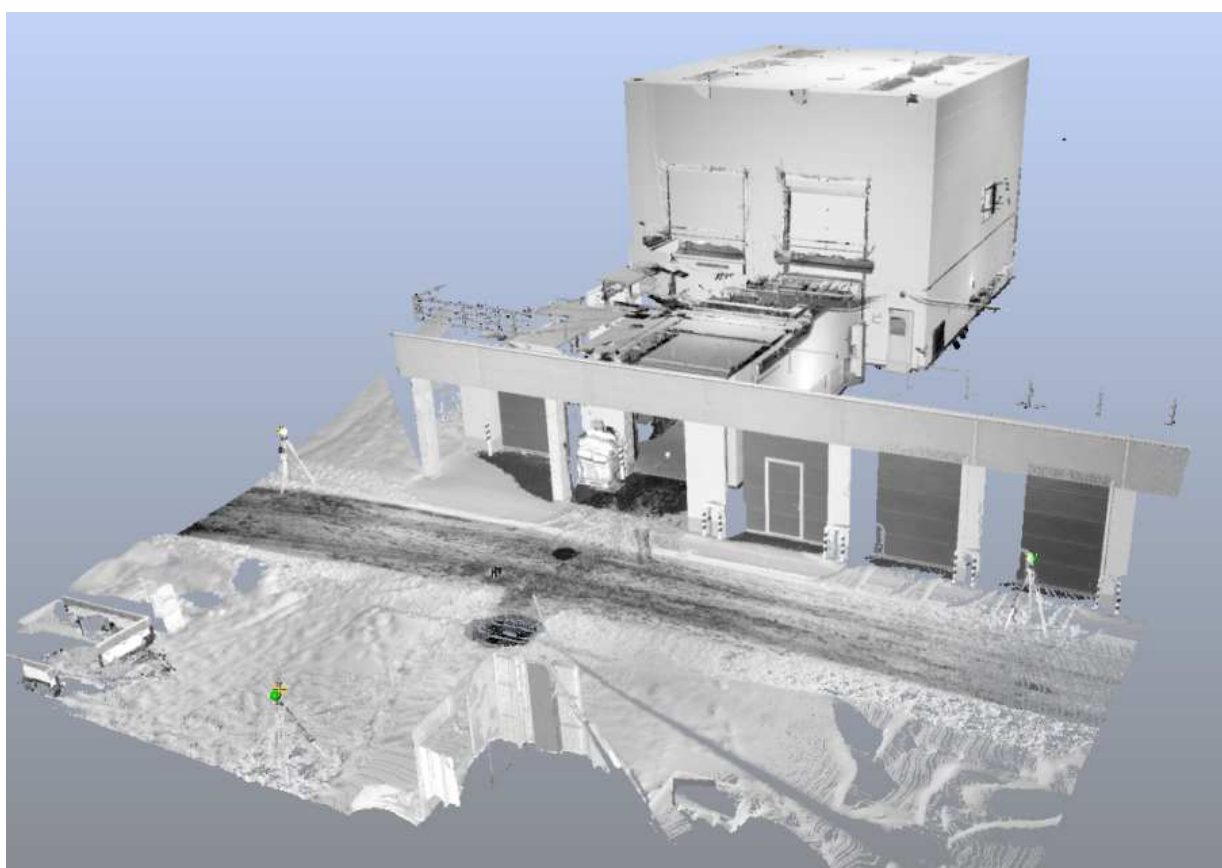
Z registrácie je zrejmé, že najpresnejšie spojené mračno je to, ktoré bolo spojené na základe referenčných gúľ.

Pri spájaní mračien šachovnicovými terčmi presnosť klesla v porovnaní s referenčnými guľami. Označovanie šachovnicových terčov bolo náročnejšie. Terče museli byť naskenované v priamom uhle od skeneru. Na skene museli byť vidieť celé, inak sa nedali označiť, a teda považovať za vyhovujúce. V tomto prípade neboli použité všetky šachovnicové terče, ktoré boli v naskenovanom mračne bodov k dispozícii.

Tretia posledná možnosť registrácie skenov *Cloud to Cloud* dosahuje najmenšiu presnosť oproti dvom predchádzajúcim typom registrácie. Napriek tomu je aj tento spôsob veľmi presný. Registráciu mračien bodov Cloud to Cloud je vhodné využiť pre približnú registráciu, aby sme mohli vidieť predbežný výsledok. Testovala som registráciu 3 mračien bodov, čo nie je veľký počet skenov, preto aj z toho dôvodu táto registrácia dosahuje takú presnosť, akú dosiahla. Veľký vplyv pri tejto registrácii zohrával aj fakt, že bolo použitých veľa nadbytočných referenčných objektov.

V praxi sa normálne využíva pre registráciu skenov všetky možné druhy referenčných predmetov, či už sfér, šachovnicových terčov alebo prírodných objektov naraz, len aby sa registrácia podarila.

Na ktoromkoľvek skene sa dá zvoliť, ktorý z nich bude považovaný za pevný a na základe neho sa ostatné mračná naň natransformujú. Pri zvolenom tzv. pevnom skene sa objaví modrá hviezdička.



Obr. 25: 3D view registrovaného mračna bodov

8 TRANSFORMÁCIA MRAČNA BODOV DO S – JTSK

Súradnicový systém skeneru býva väčšinou orientovaný obecné. Z toho vyplýva, že aj pospájané mračná bodov budú v súradnicovom systéme skenera. Počiatok súradnicovej sústavy sa nachádza v geometrickom strede, teda zrkadle skenera, ktorý bol zvolený za fixný sken. [5]

Ďalšou úlohou práce bolo natransformovať mračno bodov do súradnicového systému S – JTSK. Pre transformáciu boli zvolené vlčovacie body K1, K2, K3, K4, K5, ktorých súradnice boli vypočítané v predchádzajúcich krokoch.

Program SCENE 5.5 umožňuje transformáciu registrovaného mračna bodov do ľubovoľného súradnicového systému.

Body K1, K2, K3, K4, K5 boli importované do workspacu, kde sa nachádza registrované mračno. Do workspacu boli importované ako referencie, vo formáte .csv. Formát .csv je podporovaný aj programom Groma. Formát .csv sa od formátu .txt líši v niekoľkých veciach. Medzery sú nahradené bodkočiarkou a namiesto desatinných čiarok sa používajú bodky. Pred súradnice X, Y bolo vložené znamienko -, aby sa importované body v programe SCENE nachádzali v správnom kvadrante.

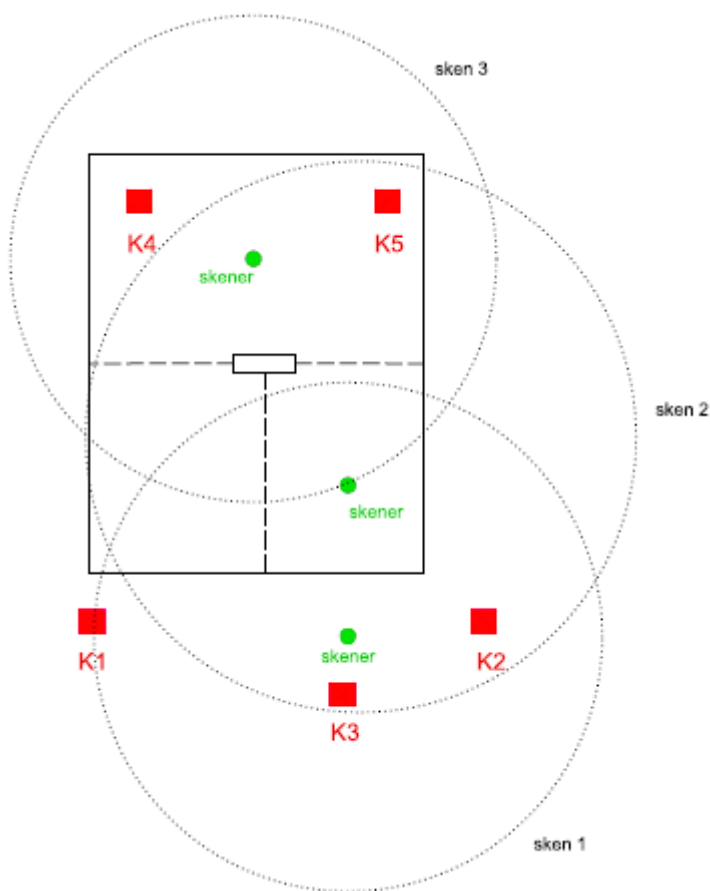
Testovali sa dva typy transformácií. Prvá transformácia sa uskutočnila pomocou bodov K1, K2, K3 a druhá transformácia sa uskutočnila cez body K1, K2, K4, K5.

Program Scene 5.5 má možnosť uzamknutia už registrovaného mračna bodov. Testovalo sa v 2 variantoch, a to s uzamknutým registrovaným mračnom bodov a s neuzamknutým mračnom bodov.

Rozdiel medzi uzamknutým registrovaným mračnom a neuzamknutým je v tom, že ak transformujeme mračno cez referencie, uzamknuté mračno sa deformuje ako celok, transformácia do iného súradnicového systému nemá vplyv na spojenie skenov. Naopak u neuzamknutého mračna sa snaží program natransformovať tak skeny, ako aj referencie navzájom, a preto sa v mnohých prípadoch takáto transformácia nepodarí. Respektíve podarí, ale program ju vyhodnotí za neúspešnú, pretože nedokáže vyrovnať také veľké množstvo dát.

Preto sa odporúča registrované mračno pred transformáciou do iného súradnicového systému uzamknúť.

Pre overenie presnosti, ako boli registrované mračná natransformované do systému S – JTSK, boli testované mračná, ktoré vznikli registráciou referenčnými guľami, terčmi a *cloud to cloud*.



Obr. 26: Schéma rozloženia vlícovacích bodov

8.1 Transformácia K1, K2, K3

Transformácia cez body K1, K2, K3 do S – JTSK bola vyhotovená pre mračno bodov registrované sférami, v dvoch variantoch – neuzamknuté, uzamknuté.

8.2 Transformácia K1, K2, K4, K5

Transformácia mračna vlícovacími bodmi K1, K2, K4, K5 do systému S – JTSK bola spravená niekoľkokrát. A to, registrované mračno sférami s možnosťou neuzamknutia, uzamknutia. Ďalším variantom bola transformácia registrovaného mračna pomocou šachovnicových terčou a funkciou *Cloud to cloud*, v tomto prípade sa zvolil

variant uzamknutého mračna. Spolu sa cez vlíčovacie body K1, K2, K4, K5 transformovalo v štyroch variantoch.

8.3 Spracovanie transformácie

Celkom bolo teda porovnávaných 6 transformácií.

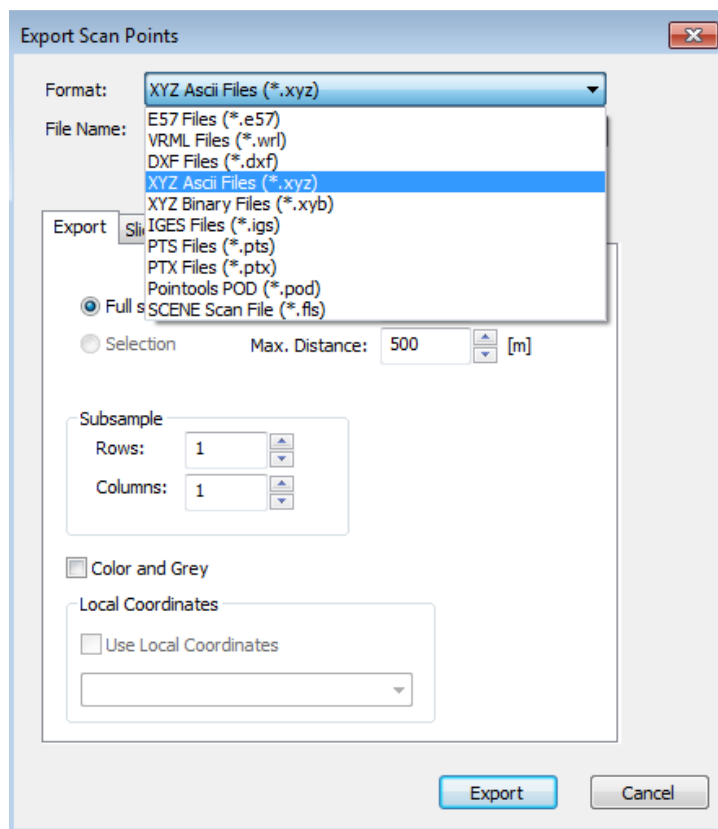
Tabuľka č. 6: Prehľad transformácií podľa rôznych parametrov

Číslo mračna	Typ registrácie	Vlíčovacie body	Typ zabezpečenia mračna
1	Registrácia referenčnými guľami - sférami	K1 K2 K3	neuzamknuté
2	Registrácia referenčnými guľami - sférami	K1 K2 K3	uzamknuté
3	Registrácia referenčnými guľami - sférami	K1 K2 K4 K5	neuzamknuté
4	Registrácia referenčnými guľami - sférami	K1 K2 K4 K5	uzamknuté
5	Registrácia Cloud to cloud	K1 K2 K4 K5	uzamknuté
6	Registrácia šachovnicovými terčmi	K1 K2 K4 K5	uzamknuté

Po transformácii bolo zjavné, že registrované mračno bodov je natransformované v súradnicovom systéme S – JTSK. Presnosť určenia transformácii sa vyhodnocovala cez 12 identických bodov.

Stransformované mračno bolo vyexportované z programu SCENE. Program SCENE ponúka veľa výstupných formátov. Pri exporte sa nastavuje hustota bodov. V mojom prípade bolo mračno vyexportované 1:1, to znamená každý bod. Ak by bolo však nastavené 10:10 tak by program exportoval každý desiaty bod riadku a každý desiaty bod stĺpca, to znamená, že by sa exportoval každý stý bod.

Program Autodesk Recap podporuje formát .e57, preto bol aj pre export zvolený. Pre overenie presnosti boli vyskúšané aj iné programy ako napríklad Microstation V8i, ktorý podporuje formát .pod, alebo aj Autodesk Autocad, formát .xyz. Program Autodesk Recap vyhovoval najlepšie, manipulácia s mračnom bodov bola najjednoduchšia a aj najefektívnejšia.



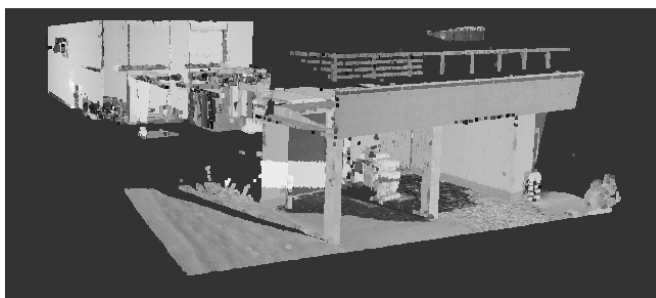
Obr. 27: Ukážka podporovaných formátov pre export z programu SCENE 5.5

8.4 Získanie súradníc identických bodov získaných z mračna bodov

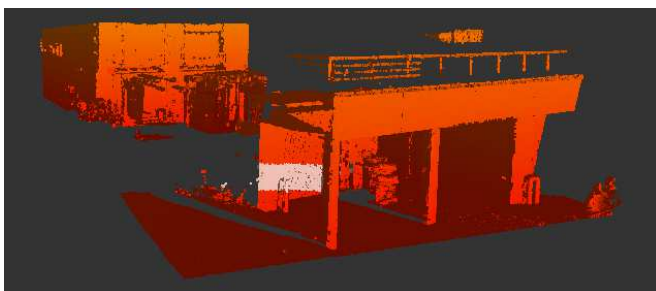
Pre zistenie presnosti spojenia a následnej transformácie do súradnicového systému S – JTSK bolo dôležité nájsť program, ktorý umožní dohľadanie identických bodov v mračne.

Hlavný dôvod prečo pre odsunutie súradníc bodov nebol použitý program SCENE 5.5 je, že nebolo možné jednotlivé body nájsť. Program Autodesk Recap poskytuje veľkú ponuku zobrazení mračna bodov, a teda dohľadanie jednotlivých identických bodov je o mnoho jednoduchšie, vid' Obr.24, 25, 26, 27.

V prostredí programu sa dá nastaviť niekoľko zobrazení, rovnako sa dá aj meniť zobrazenie veľkosti bodov.



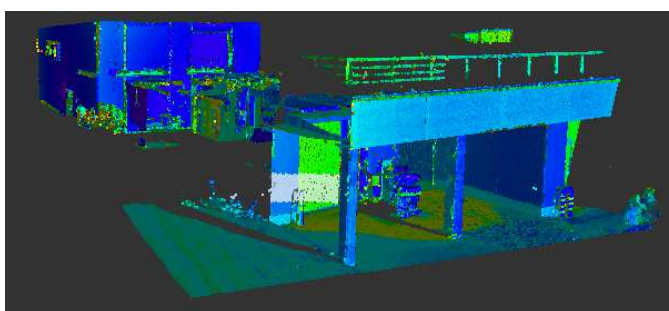
Obr. 28: Prostredie programu Recap, mode RGB



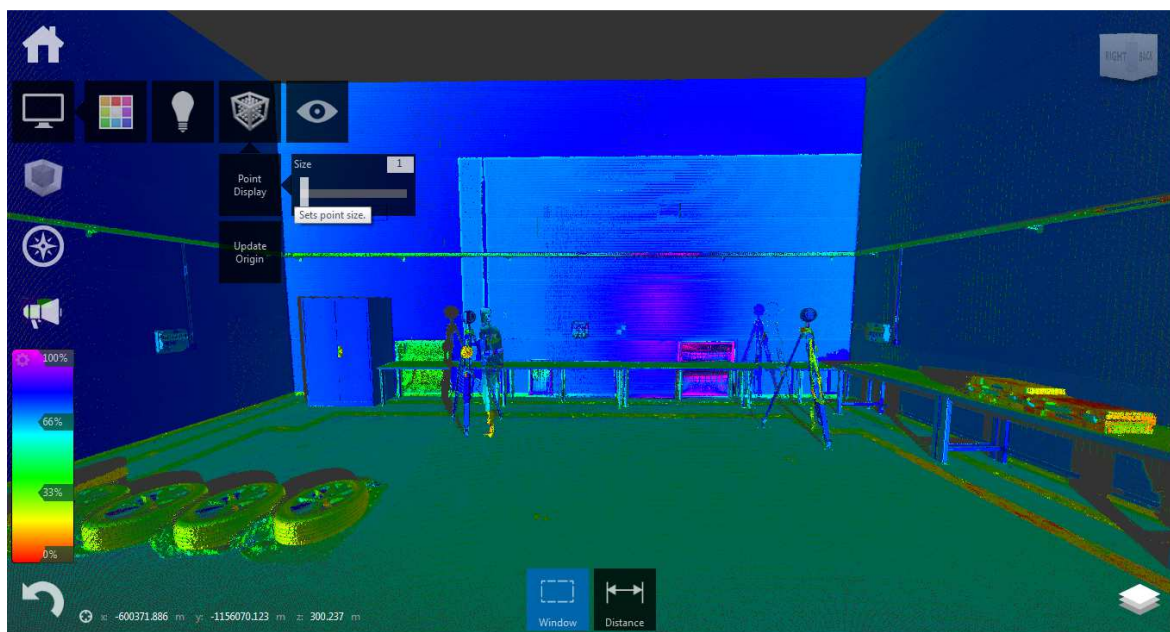
Obr. 29: Prostredie programu Recap, mode elevation



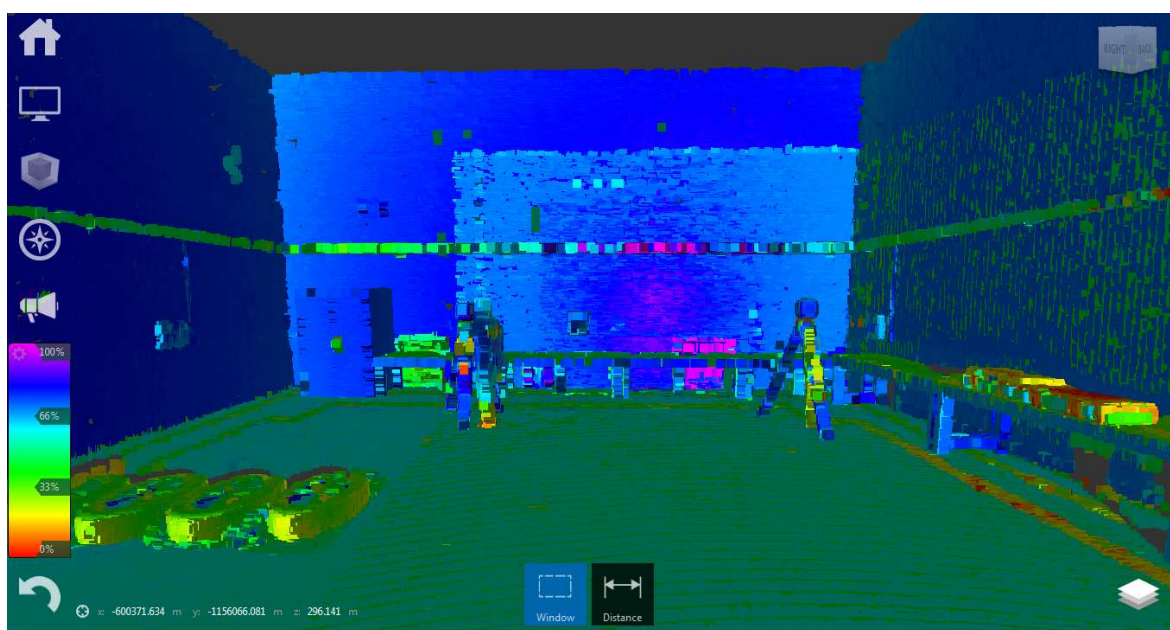
Obr. 30: Prostredie programu Recap, mode normal



Obr. 31: Prostredie programu Recap, mode intensity

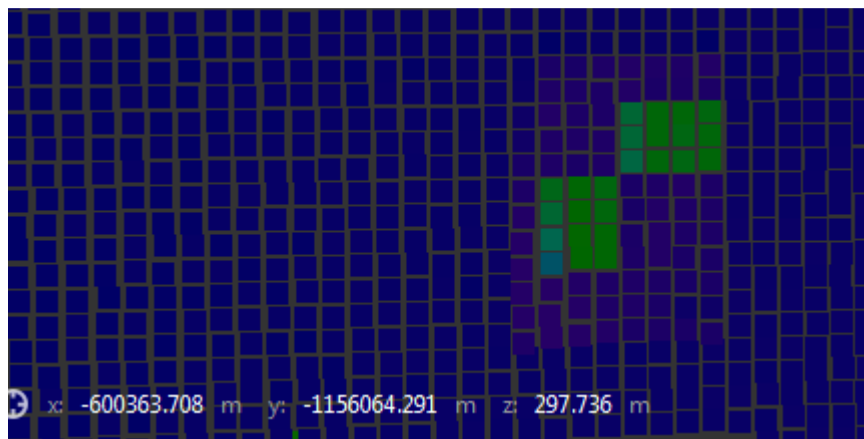


Obr. 32: Prostredie programu Recap, mode intensity, zobrazenie najmenšia veľkosť bodov



Obr. 33: Prostredie programu Recap, mode intensity, zobrazenie najväčšia veľkosť bodov

Súradnice 12 identických bodov boli zamerané totálnou stanicou. Zároveň boli naskenované skenerom. Presnosť naskenovaných bodov závisí od presnosti spojenia – registrácie skenov a následnej transformácie. Súradnice 12 identických bodov boli zistené z programu Autocap Recap, kde sa dali jednotlivé body ľahko dohľadať.



Obr. 34: Ukážka odčítania súradníc IB v programe Recap zo šachovnicového terču

8.5 Aliasing

Aliasing je jav, ku ktorému dochádza v situáciách, kedy sa spojitá informácia prevedie na nespojitú. V preklade to znamená vzorkovanie. Podobná situácia nastáva aj v prípade laserového skenovania, respektíve získania správnej súradnice bodu.

Niektoré zvolené identické body sa nedali vyčítať priamo, ale vznikli aritmetickým priemerom dvoch najbližších bodov. [13]

9 POROVNANIE PRESNOSTI

Porovnanie výslednej presnosti bolo realizované na 6 mračnách, ktoré vznikli rozdielnym typom registrácie a rozdielnou transformáciou.

Pri transformácii medzi súradnicovými systémami sa neuvažovalo so Z – súradnicou ako s výškou, ktorá je stiahnutá k výškovému systému. Preto aj súradnica Z nie je označovaná ako H, a teda sa nevzťahuje k výškovému systému Bpv. Pre ďalšie výpočty sa súradnica Z používa ako kolmica na pravouhlosť súradnicových osí x, y.

Postup tvorby charakteristík presnosti:

- Výpočet súradnicových rozdielov

$$\Delta x = X_s - X_{S-JTSK} \quad \Delta y = Y_s - Y_{S-JTSK} \quad \Delta Z = Z_s - H_{Bpv}$$

X_s, Y_s, Z_s súradnice odsunuté z naskenovaného mračna bodov

X_{S-JTSK}, Y_{S-JTSK} súradnice bodov získané meraním z totálnej stanice

H_{Bpv} výška bodov v systéme Bpv na základe merania totálnej stanice

- Výpočet strednej hodnoty súradnicových rozdielov

$$\mu_x = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i}{n} \quad \mu_y = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta y_i}{n} \quad \mu_z = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta z_i}{n}$$

n počet IB (12)

- Výpočet strednej chyby v osiach x, y, z

$$m_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\mu_x - \Delta x_i)^2}{n}} \quad m_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\mu_y - \Delta y_i)^2}{n}} \quad m_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\mu_z - \Delta z_i)^2}{n}}$$

μ_x, μ_y, μ_z stredné hodnoty súradnicových rozdielov

$\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$ súradnicové rozdiely v osiach x, y, z

- Výsledná stredná chyba jednotlivých mračien bodov bola vypočítaná podľa nasledovného vzorca:

$$m = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_z^2}$$

Tabuľka č. 7: Výsledky stredných súradnicových chýb v jednotlivých transformáciách

Číslo mračna	m_x	m_y	m_z
	Stredná chyba súradníc v ose x [m]	Stredná chyba súradníc v ose y [m]	Stredná chyba súradníc v ose z [m]
1	0,012	0,005	0,005
2	0,009	0,004	0,005
3	0,006	0,014	0,011
4	0,008	0,009	0,028
5	0,008	0,006	0,003
6	0,010	0,005	0,008

Tabuľka č. 8: Výsledné stredné chyby jednotlivých transformácií

Číslo mračna	Výsledná stredná chyba [m]
1	0,014
2	0,010
3	0,019
4	0,030
5	0,011
6	0,014

Druh registrácie mračna číslo 4 a následne jeho transformácia do súradnicového systému S – JTSK dopadla paradoxne najhoršie, aj keď podľa predpokladaných znalostí by mala dosahovať najmenšiu strednú chybu. Tento fakt bol zapríčinený z dôvodu nedokonalosti programu. Program sa snažil vyhodnotiť výsledky registrácie a transformácie čo najlepšie, ale nedokázal vyhodnotiť respektíve stanoviť nadsadenosť príkazov. Preto je stále dôležitý ľudský faktor, ktorý dokáže tieto priority rozlíšiť.

ZÁVER

Cieľom diplomovej práce bolo analyzovať presnosť spojenia mračna a následné prepojenie do súradnicového systému S – JTSK.

Meralo sa v areáli výskumného centra AdMaS v budove P4 v garážach. Spracovanie naskenovaných mračien bodov sa realizovalo v programe FARO Scene 5.5, ktorým centrum AdMaS disponuje.

Mračná bodov boli registrované tromi rôznymi spôsobmi. Každý spôsob registrácie dosiahol inú presnosť, hoci vo výsledku spojenia dosahovali vysokú presnosť. Najpresnejšiu registráciu mračien bodov dosiahla registrácia referenčnými guľami, teda sférami. Registrácia mračien bodov šachovnicovými terčmi dosiahla o niečo menšiu presnosť ako referenčné gule. V prípade registrácie mračien bodov funkciou Cloud to cloud, výsledky dosahovali veľkú presnosť, avšak táto registrácia nie je celkom vhodná pre spájanie mračien bodov. Slúži ako orientačná a je nutné na ňu použiť veľké množstvo referenčných predmetov - šachovnicových terčov.

Druhá časť diplomovej práce sa zaoberá nadväznosťou do súradnicového systému S – JTSK. Transformácia bola nutná pretože registrované mračno bodov bolo v miestnom súradnicovom systéme. Aby bola transformácia možná boli vyhotovené vlícovacie body, ktoré vznikli geodetickým spôsobom. Celkom bolo vykonaných 6 transformácií, ktoré sa od seba líšili voľbou vlícovacích bodov, typom registrácie alebo spôsobom transformácie, ktorý program FARO Scene 5.5 ponúka.

V poslednej časti je analyzovaný rozbor presnosti natransformovaných mračien bodov. Celkom sa testovalo 12 IB, ktoré boli zamerané geodetickým spôsobom a taktiež boli aj súčasťou naskenovaného mračna bodov. Súradnice identických bodov z natransformovaných mračien bodov boli zistené z programu AuDesk Recap, ktorý umožňuje najlepšiu manipuláciu s mračnami bodov, z testovaných programov. Najmenšiu strednú chybu dosiahlo mračno bodov, ktoré bolo registrované referenčnými guľami, prevedené do systému S – JTSK vlícovacími bodmi K1, K2, K3 s možnosťou uzamknutia registrovaného mračna bodov. Stredná chyba dosiahla odchýlku 1cm.

Výsledkom diplomovej práce je analýza presnosti spojenia mračien bodov s následnou nadväznosťou do súradnicového systému S – JTSK. Výsledky spájanie mračien bodov a transformácia do súradnicového systému dosiahla porovnateľné výsledky,

ba dokonca i lepšie ako zaužívané geodetické terestrické metódy. Laserové skenovanie dosahuje presnosti, ktorá spĺňa kritériá pre prácu v katastri nehnuteľností a v niektorých prípadoch by bola i efektívnejšia. Táto metóda nedosahuje zatiaľ takej presnosti, aby mohla úplne nahradiť geodetické metódy v inžinierskej geodézii.

Laserové skenovanie je technológia, ktorá nachádza uplatnenie v stojárskom priemysle. V súčasnosti sa rozvíja aj v iných oblastiach či už v stavebníctve, pri konštrukciách, zachytení terénu, zdokumentovaní historických objektov, archeologických náleziskách, mapovaní jaskynných komplexov.

10 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] *Metoda Laserové skenování* [online]. 2011 [cit. 2017-05-07].
Dostupné z: <http://www.la-ma.cz/?p=88>
- [2] *The history of 3D scanning* [online]. LinkedIn Corporation ©, 2017
[cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/3dscannerhire/the-history-of-3d-scanning>
- [3] *Construction and architecture* [online]. © Laserscanning Europe, 2016 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.laserscanning-europe.com/en/content/construction-and-architecture>
- [4] *Digital factory and plant construction* [online]. © Laserscanning Europe, 2016 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.laserscanning-europe.com/en/digital-factory-and-plant-design>
- [5] ŠTRONER, Martin. *Možnosti zvyšování přesnosti 3D skenování: Possibilities of 3D scanning accuracy increasing*. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-05906-7.
- [6] ŠTRONER, Martin a Jiří POSPÍŠIL. *Terestrické skenovací systémy*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008. ISBN 978-80-01-04141-3.
- [7] POSPÍŠIL, Jiří. *Současné trendy skenování ve stavebnictví a příbuzných oborech*. Profesorské přednášky. Praha: České vysoké učení technické, 2007.
- [8] FARO LASER SCANNER FOCUS 3D [online]. 2011, ©FARO Technologies Inc.[cit.2017-05-07].
Dostupné z: <https://doarch332.files.wordpress.com/2013/11/e866>
- [9] SCENE 5.5 - USER MANUAL [online]. 2015, ©FARO Technologies Inc. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www2.faro.com/downloads/files/scene/>
- [10] *FARO Focus3D-X130 Laser Scanner* [online]. Copyright © 2014 PRIMA BILAVČÍK, 2017 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.merici-pristroje.cz/faro-focus3d-x130-laser-scanner/>
- [11] TRIMBLE REALWORKS 10.1 – USER GUIDE [online]. 2016, ©Trimble [cit. 2016-05-06] Dostupné z: http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-811563/TrimbleRealWorks_EN.pdf
- [12] TRIMBLE REALWORKS 10.1 – USER GUIDE [online]. 2016, ©Trimble [cit. 2016-05-07] Dostupné z: http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-811563/TrimbleRealWorks_EN.pdf
- [13] *Aliasing* [online]. Wikipedia, 2015 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Aliasing>

11 ZOZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKOV

Obr. 1: Ukážka využitia laserového skenovania v architektúre

<http://www.laserscanning-europe.com/en/content/construction-and-architecture>

Obr. 2: Ukážka využitia laserového skenovania v plánovaní digitálnych tovární

<http://www.laserscanning-europe.com/en/content/construction-and-architecture>

Obr. 3: Schéma priestorového pretínania vpred [6]

Obr. 4: Schéma priestorovej polárnej metódy [6]

Obr. 5: Schéma elektronického merania dĺžok [6]

Obr. 6: Ukážka kamerového skeneru [6]

Obr. 7: Ukážka panoramatického skeneru [6]

Obr. 8: Skener FARO Focus 3D

Obr. 9: Princíp skeneru [8]

Obr. 10: Horizontálny a vertikálny zber dát [8]

Obr. 11: Referenčné gule – sféry s priemerom 14 cm a 20 cm.

Obr. 12: Totálna stanica Trimble S6.

Obr. 13: Pohľad na areál výskumného centra AdMaS

Obr. 14: Ukážka nastavenia parametrov skenera.

Obr. 15: Schéma meračskej siete v areáli AdMaSu

Obr. 16: Schéma rozmiestnenia šachovnicových terčov skenovanom území.

Obr. 17: Ukážka načítaného mračna bodov

Obr. 18: Nastavenie polomerov referenčných gúl- sfér

Obr. 19: Schéma rozmiestnenia referenčných gúl v skenovanom území

Obr. 20: Schéma rozmiestnenia šachovnicových terčov skenovanom území

Obr. 21: Ukážka nastavenia pri registrácii skenov sférami a terčami

Obr. 22: Ukážka nastavenia pri registrácii skenov funkciou Cloud to cloud

Obr. 23: Spojenie skenov funkciou Cloud to Cloud

Obr. 24: Ukážka fixného skenu, modrá hviezdička u vacova000

Obr. 25: 3D view registrovaného mračna bodov

Obr. 26: Schéma rozloženia vlíčovacích bodov

Obr. 27: Ukážka podporovaných formátov pre export z programu SCENE 5.5

Obr. 28: Prostredie programu Recap, mode RGB

Obr. 29: Prostredie programu Recap, mode elevation

Obr. 30: Prostredie programu Recap, mode normal

Obr. 31: Prostredie programu Recap, mode intensity

Obr. 32: Prostredie programu Recap, mode intensity, zobrazenie najmešia veľkosti bodov

Obr. 33: Prostredie programu Recap, mode intensity, zobrazenie najväčšia veľkosti bodov

Obr. 34: Ukážka odčítania súradníc IB v programe Recap zo šachovnicového terču

12 ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka č. 1: Technické parametre skeneru

Tabuľka č. 2: Technické parametre totálnej stanice

Tabuľka č. 3: Technické parametre GNSS prijímača

Tabuľka č. 4: Výsledky spojenia skenov

Tabuľka č. 5: Výsledky spojenia skenov – terče – gule

Tabuľka č. 6: Prehľad transformácií podľa rôznych parametrov

Tabuľka č. 7: Výsledky stredných súradnicových chýb v jednotlivých transformáciach

Tabuľka č. 8: Výsledné stredné chyby jednotlivých transformácií

13 ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK

S – JTSK Systém jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej

Bpv Balt po vyrovnání

LIDAR Light Detection And Ranging

GNSS Global Navigation Satellite System

SD karta Secure Digital karta