HÖGSKOLAN
I GÄVLE

AKADEMIN FÖR TEKNIK OCH MILJÖ
Avdelningen för industriell utveckling, IT och samhällsbyggnad

Undersökning av georefererings- och skanningsmetoder för handburen laserskanning

Malcolm Skalin

2014

Examensarbete, Grundnivå (kandidatexamen), 15 hp
Lantmäteriteknik
Lantmätarprogrammet, teknisk inriktning

Handledare: Yuriy Reshetyuk
Examinator: Mattias Lindman
Biträdande examinator: Mohammad Bagherbandi

Förord

Jag avslutar mina tre år på Lantmätarprogrammet med detta examensarbete. Jag skulle vilja tacka min handledare Yuriy Reshetyuk, universitetslektor i geomatik vid Högskolan i Gävle. Tack för all kunskap du givit mig under dessa tre år och alla goda råd under utförandet av detta examensarbete. Jag vill även tacka Sweco AB Gävle som lånade ut laserskannern och Johan Larson på Sweco AB Gävle för hjälpen och genomgången av skannern.

Sedan vill jag säga ett stort tack till min familj och vänner som har stöttat mig under de här tre åren.

_____

Malcolm Skalin

Sammanfattning

Syftet med detta examensarbete är att undersöka olika georefererings- och inskannings-metoder med den handhållna laserskannern ZEB1 samt rekommendera om den kan användas inom arbetsuppgifter med krav på georeferering och vilka metoder som lämpar sig för dessa arbeten. ZEB1 skannern lånades av Sweco AB i Gävle för utförandet av denna studie. Skanningarna utförs med tre metoder, enkelskanning där området skannas en gång, dubbelskanning där området skannas två gånger och ”Stop and Go” skanning där operatören stannade vid varje sfär under en tidsperiod. Skanningarna georefererades med två refereringstekniker, sfärer och naturliga punkter. Ett ytterligare syfte är att undersöka vilka metoder som är enklast vid databearbetningen och om skillnaderna i resultat avgör vilken metod som lämpar sig bäst för olika arbetsuppgifter. Undersökningen ägde rum i mäthallen i hus 45 vid Högskolan i Gävle.

Positionen på sfärerna och de naturliga punkterna mättes in med en totalstation Leica Viva TS15 som etablerats i mäthallens lokala referenssystem. Skanningarna utfördes och georefererades mot sfärer och naturliga punkter i mjukvaran Cyclone 7.4. Det resultat som uppnåddes var ett RMS värde på ca tre cm för georefereringen på samtliga punktmoln. ”Stop and Go” gav ett bättre punktmoln och en bättre illustrering av punktmolnet och dubbelskanningen den sämsta då bruset blev för stort. Utförandet av en kombination av sfärer och naturliga punkter genomfördes men gav ingen bättre osäkerhet i resultatet. Skannern ZEB1 borde inte användas för arbeten med krav på mindre än cm noggrannhet då flera av georefereringarna resulterade i residualer mellan 3 - 5 cm och avvikelsen för de naturliga punkterna efter georeferering hamnade mellan 3 - 7 cm.

Abstract

The purpose of this thesis work is to investigate methods for georeferencing and scanning with the handheld laser scanner ZEB1 and state recommendations if the scanner can be used within a certain demand in uncertainty and which methods are most suitable for these kinds of tasks. The scanner ZEB1 was borrowed from Sweco AB in Gävle to perform the study. Three different methods of scanning was used, simple scanning were the area were scanned once, double scanning were the area were scanned twice and “Stop and Go” were the scanner was used around the signals over a period of time. All the scans were georeferenced with two different techniques, spheres and natural points. A secondary purpose is to evaluate how easy the point clouds can be processed and to determine which method is most suited for the task. The scans were done February 2014 in house 45 by the University of Gävle.

The coordinates for the sphere and natural points where measured with a total station Leica Viva TS15 whose coordinates had been determined in the local reference system. The scans were performed and georeferenced with the spheres and natural points in the software Cyclone 7.4. The results for georeferencing had an RMS value of three centimeters for all the point clouds. The method “Stop and Go” delivered a more manageable point cloud which illustrated the best point density around signals. Double scanning produced the worst because the amount of noise in the cloud was more extensive. A combination of georeferencing with sphere and natural points were done but gave no better results. ZEB1 should not be used for precision scanning because most of the results get a 3 - 5 cm value for georeferencing and coordinate difference between the known natural points and the scanned ones were around 3 - 7 cm.

Innehållsförteckning

1. INLEDNING 1

1.1 BAKGRUND 1
1.2 SYFTE 1
1.3 TIDIGARE STUDIER 2

2. MATERIAL OCH METOD 4

2.1 SKANNERN 4
2.2 ÖVRIGT MATERIAL 7
2.3 MÄTNING MED TOTALSTATION 8
2.4 SKANNING MED ZEB1 9
2.5 DATABEARBETNING 11

3. RESULTAT 13

3.1 BESTÄMNING AV 3D OSÄKERHET OCH STANDARDOSÄKERHET 13

4. DISKUSSION 16

4.1 UTFÖRANDET AV SKANNINGEN 16
4.2 GEOREFERERINGEN 17

5. SLUTSATS OCH REKOMMENDATIONER 20

REFERENSER 22

BILAGA 1. ILLUSTRATION AV MÄTHALLEN OCH ALLA UPPSTÄLLNINGAR AV SFÄRER 24
BILAGA 2. KOORDINATLISTA ÖVER INMÄTTA PUNKTER MED TOTALSTATION 25
BILAGA 3. KOMBINATIONEN MED NATURLIGA PUNKTER OCH SFÄRER VID GEOREFERERING FÖR ”STOP AND GO” 26
BILAGA 4. DIFFERENSEN OCH RMS MELLAN NATURLIGA PUNKTER 27

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Traditionell laserskanning utförs i en statisk position där skannern ställs upp med hjälp av ett stativ. Punktmolnen georefereras vanligtvis mot kända koordinater för att transformera punktmolnet till externt koordinat system. Terrester laser skanning kräver flera uppställningar under skanning av större områden och att skanningarna utförs med överlappning. Laserskanningen kan även utföras med signaler vars syfte är att sammankoppla och referera punktmolnet. De inskannade punkterna måste sedan genomgå en längre process av bearbetning för att kopplas samman och georefereras.

Idag finns ett alternativ till statisk terrester laserskanning, den handhållna laserskannern ZEB1. Skannern har utvecklats utan krav på uppställningar och signaler för referering utan lokaliserar sig själv under inskanning med hjälp av ett IMU. ”Inertial measurement unit” är en enhet som mäter hastigheten, orienteringen och gravitationen för skannern, genom kombination av en accelerator och ett gyroskop. Företaget som lanserar skannern 3D Laser Mapping (2013) förklarar att inskanningen kontinuerligt bygger upp ett punktmoln som inte har krav på referering eller signaler, detta tillåter operatören att skräddarsy skanningen för sitt ändamål med möjlighet att röra sig fritt i lokalen. All inskannad data skickas till 3D Laser Mappings online tjänst som bearbetar punktmolnen. Inga långa databearbetningar av punktmolnen gör ZEB1 både tidseffektiv och ekonomisk. ZEB1s nybörjarvänlighet ger möjligheten för personer med minimal erfarenhet att skanna. Inget krav på tidskrävande efterbearbetning gör att kostnaderna för utförda arbeten blir mindre än för inskanning med en traditionell laserskanner.

1.2 Syfte

Studien utförs med syftet att undersöka hur olika inskanningsmetoder och refereringstekniker påverkar resultaten som erhålls vid skanning med den handhållna laserskannern ZEB1. Metoderna som tillämpas kommer att jämföras och granskas för att bestämma vilken som kan rekommenderas för framtida arbeten. De tre metoderna är enkelskanning där mäthallen skannas in en gång längs en förbestämd bana. dubbelskanning utförs så att två skanningar i mäthallen utförs längs samma bana som för enkelskanning. ”Stop and Go” genomförs så att operatören stannar till kring

georefereringsobjekten en kortare tidsperiod. Frågeställningarna som skall besvaras är följande.

- Vad blir skillnaderna på osäkerheterna vid användning av enkelskanning, dubbelskanning och ”Stop and Go”?
- Vilken av skanningsmetoderna skapar bäst visuellt punktmoln?
- Kan ZEB1 börja användas inom arbetsuppgifter där georefereringen är en viktig del och ändå nå den önskade osäkerheten?
- Hur stor påverkan har georefereringsmetoderna sfärer och naturliga punkter på punktmolnets osäkerhet? Kan en kombination av de båda georefereringsmetoderna ge en bättre osäkerhet?

1.3 Tidigare studier

Här presenteras tidigare studier med syfte att undersöka ZEB1s användningsområde och osäkerhet. ZEB1 är en ny typ av laserskanner som inte varit ute på marknaden väldigt länge. Detta gjorde enligt egen erfarenhet att antalet vetenskapliga artiklar om skannern var väldigt få och flera av dem som funnits har utförts av personerna som framtagit skannern.

Zlot et al. (2013) använde sig av två handhållna laserskannrar av modellen ZEB1 för att skanna in ett område på 400 x 250 m. Studien utfördes för att se om man effektivt kunde skanna in ett stort detaljrikt område med ZEB1. Den handhållna laserskannern var tvungen att hålla krav i form av effektivitet, noggrannhet, möjlighet att skanna ett stort område, enkel att använda och ett krav på att hålla sig inom en budget. Ett sekundärt syfte var att med en kamera kunna filma inskanningen och färglägga punktmolnet. Resultatet blev en inskanning utförd med två skannrar och en tid på under fyra timmar. Områdets storlek uppskattar de skulle kräva ca 150 uppställningar med en stationär TLS och 2 – 3 dagar av skanning. Utan krav på strategisk ställning av TLS stationen kunde operatörerna fritt röra sig mellan byggnaderna och direkt få feedback från en registerkarta som möjliggör detektering om de missat ett område.

Thomson, Apostolopoulos, Backes, Boehm (2013) har jämfört mätosäkerheten mellan två olika ”Indoor Mobile Mapping Systems” (IMMS), i-MMS av Viametris och ZEB1 av CSIRO. En korridor med måtten 39x7x5 m skannades in och punktmolnen jämfördes mot två referensmätningar utförda med totalstationen Leica Viva TS15 och terrester laserskannern Focus 3D från Faro. Två metoder användes för att jämföra punktmolnen, första var punktmoln mot punktmoln. I den andra metoden utfördes en jämförelse av BIM-geometrin (Building Information Modelling) mellan varje IMMS punktmoln mot det framtagna referenspunktmolnet. Resultatet från undersökningen visar att båda systemens residualer är inom några centimeter. I-MMS presterar lite bättre än ZEB1 i jämförelse mot Focus 3D referenspunktmolnet. Författarna påpekar att ZEB1 skannerns resultat som är inom centimeter nivå är acceptabelt för skannern som inte är anpassad för precisionsarbete. Författarna uppmärksammar också att storleken på området som skannats i förhållande till tiden utfört arbete är otroligt och att framtida utvecklingar kan ändra hur yrket använder handhållna laserskannrar.

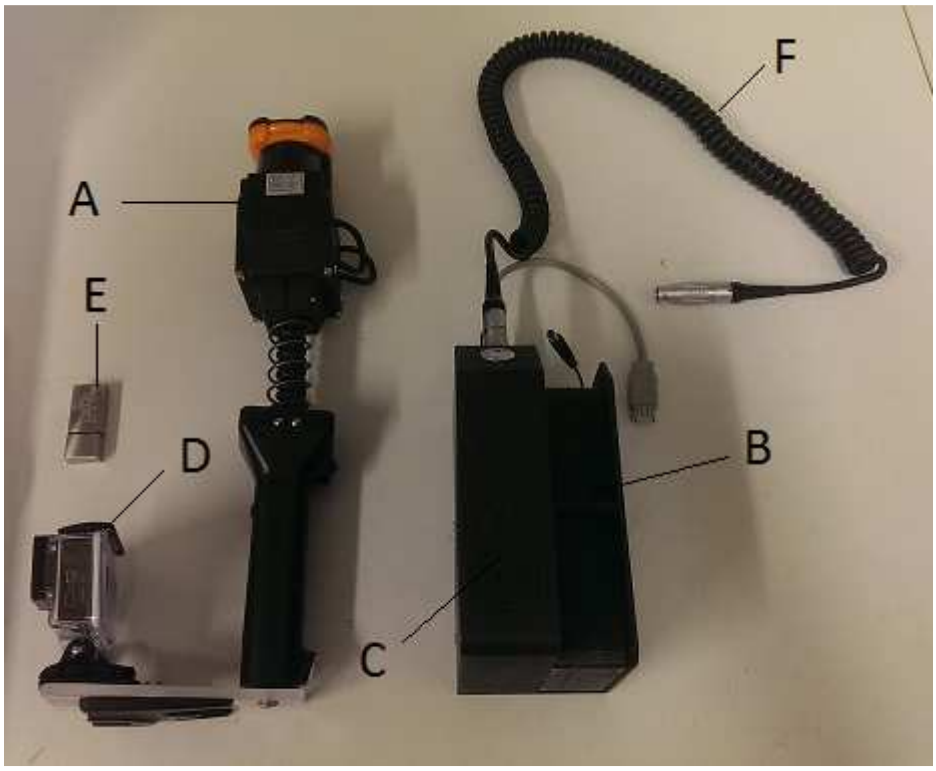
Bosse, Zlot och Flick (2012) illustrerar hur ZEB1 är uppbyggd och förklarar detaljerat kring de felfaktorer och yttre påverkningar som kan orsaka högre osäkerheter under skanningen. ZEB1 används i denna studie i tre olika miljöer, Kontors-, trädgårds- och ängsmiljö. Operatören genomförde skanningarna med tre olika tekniker. Skannern fast spänd på en vagn, operatören skannar i en öppen bana där skannern inte börjar och slutar på samma punkt och stängd bana där skannern avslutar loopen på samma punkt som den började. Resultatet visar att lokaliseringsfelet för skannern är inom centimeter toleransen. De poängterar dock att en svaghet med ZEB1 som är relaterad till SLAM. ”Simultaneous localization and mapping” är en teknik som används av robotar eller automatiska fordon för att bygga upp en 3D karta utan tidigare kunskap av området eller någon möjlighet att referera positionen (Riisgaard och Blas, 2005). Algoritmen har svårt att inskanna en del miljöer t.ex. mjuka avlånga tunnelområden och större utrymmen som inte har många kännetecken. Även rörliga objekt under inskanningen kan påverka algoritm då det blir svårt för skannern att identifiera konturerna av objektet. Om skanningen utförs utomhus kan vinden skapa problem då den yttre kraften påverkar pendelrörelsen och IMU enheten på skannern.

För att testa hur ZEB1 klarar sig i en blåsig utomhus miljö har James och Quinton (2013) använt den handhållna laserskannern för att mäta in ett avlångt område av klippor och olika raviner i Lancaster UK. Studien utfördes för att beräkna hastighets skillnad mellan en TLS och ZEB1. Deras resultat visar att under inmätningen av ravinen som med ZEB1 utfördes på lite över sex minuter och erhöll 433 000 punkter. Tiden presenteras i 0.2 minuter per meter skannad. I jämförelsen mot TLS som hade ca 8.3 minuter per meter. De föreslår att ZEB1 kan nästan skanna området 40 gånger snabbare än vad det utförs med en TLS. Deras slutsats är att även om ZEB1 inte levererar precisions data som en TLS är det ett väldigt effektivt instrument i fråga om tid och kostnad under inmätningar av längre sträckor.

2. Material och metod

2.1 Skannern

Den handhållna laserskannern ZEB1 med tillhörande utrustning (se figur 1) har använts under utförandet av denna studie. ZEB1 har tillverkats för att snabbt fånga 3D punktmolns data utan tvång att etablera flera uppställningar eller krav på tidskrävande databearbetningar. I tabell 1 anges specifikationerna för ZEB1 som består av en 2D laserskanner sammankopplat med ett IMU som är monterat ovanpå en mekanisk fjäder. Den oscillerande rörelsen av skannern under inmätning ger den tredje dimensionen för att generera 3D punktmoln. Skannern använder sig av algoritmen SLAM som kombinerar 2D laser skanningsdata med IMU för att generera en 3D effekt. Då skannern inte har krav på referering är det operatörens möjlighet att röra sig som begränsar området som kan skannas in.



Figur 1. Handhållna laserskanner ZEB1 (A), Batteri (B), ZEB-DL2600 data logg (C), Go Pro kamera (D), USB minneskort (E), ZEB1 kabel mellan ZEB-DL2600 och skanner (F).

Zlot, Bosse, Greenop, Jarzab, Juckes och Roberts (2013) förklarar att ZEB1 är konstruerad med laserskannern och IMU är monterad över en mekanisk fjäder. Laserskannern och IMU är kopplade till en dator under inskanningen som operatören har i en ryggsäck. Skanning börjar med att operatören initierar skannern i ett statiskt läge. Sedan går operatören i gånghastighet runt i området som skall skannas.

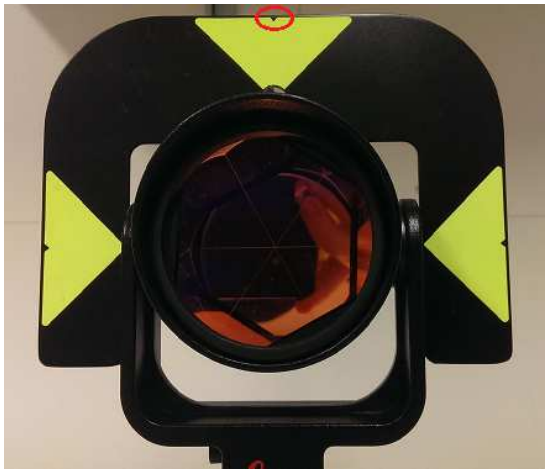
Tabell 1: Tekniska specifikationer för ZEB1.

Källa: ZEB1 användarmanual (2014).

Maximalt avstånd:	Upp till 30 meter i optimalt förhållande Normal max avstånd 15 – 20 m
Punkter på skanningslinje:	1080 (0.25° intervall)
Synfält:	Horisontal 270° Vertikal 120° (ungefärlig)
Skanningshastighet:	40 linjer/s 43200 punkter/s
Brus:	+/- 30mm
Laserns säkerhetsklassifikation:	Class 1
Laser våglängd:	905 nm
Klimatkrav:	Temperatur 0° C till +50° C Luftfuktighet <85 %
Strömförsörjning:	12VDC +/-10 % ungefär 1.5A
Vikt:	Skannern 0.66 kg Ryggsäck med innehåll 3.6kg
Dimension:	Skannern 60x60x360mm Ryggsäck och innehåll 470x220x180mm
Batteritid:	Ungefär 5 timmar under kontinuerligt användande

2.2 Övrigt material

Totalstationen Leica Viva TS15 I (1611948) användes för inmätning av prismor och georeferering mot de lokala koordinaterna i mäthallen. Prismorna som mättes in var Leicas GPR121 (se figur 2). Två olika sorters sfärer användes under inskanning varav en del lånades av Sweco AB i Gävle med diameter 139 mm (se figur 3). Högskolans egna sfärer med en diameter på 152 mm (se figur 4) användes också. I tabell 2 presenteras övrigt material som används under studien.



Figur 2. Leica GPR 121 prisma och det inringade området visar vart mätningarna utfördes.

Figur 3. Sfär från Sweco monterad ovanpå en trefot.

Figur 4. Sfär från Högskolan i Gävle monterad på trefotshållare.

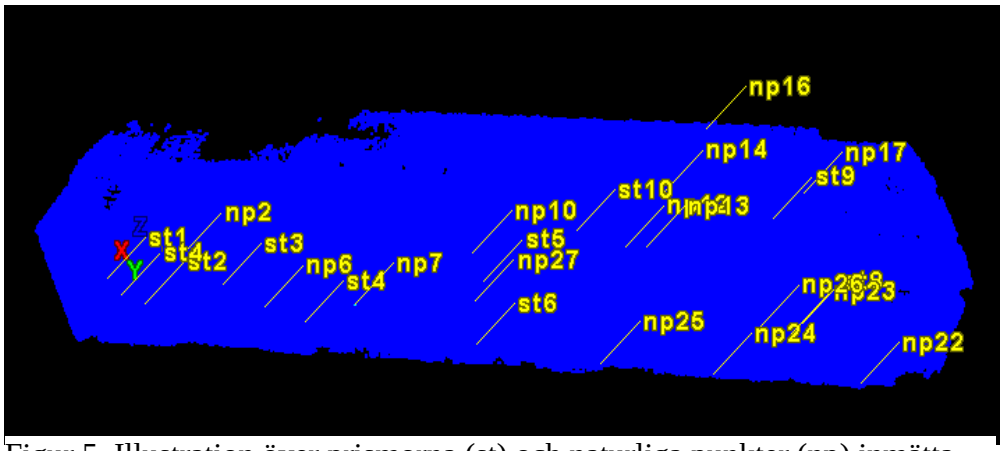
Tabell 2: Övrigt material som använts under studien.

Material	**Antal**
Stativ	8
Trefötter	8
Prismor (Leica GPR121)	9
Stativstjärna	4
Batteri för totalstationen	1

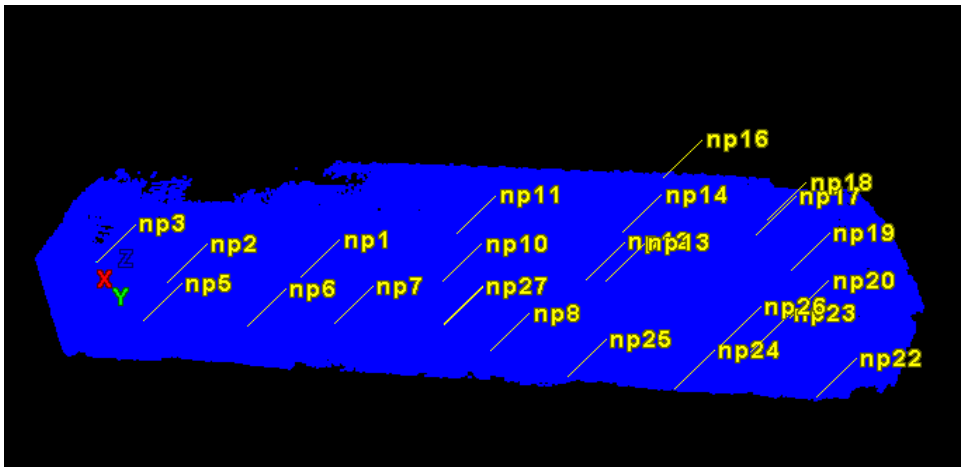
2.3 Mätning med totalstation

Inmätningarna med totalstation med målet att mäta in prismorna utifrån ett känt koordinatsystem, utfördes den 19 februari 2014 i mäthallen i hus 45 på Högskolan i Gävle, (se bilaga 1). Först gjordes en planering över området där positionerna för stativen valdes med åtanke på en bra geometri. Stativen ställdes upp på platser där de inte skulle behöva flyttas så att de kunde användas för sfärerna under skanningen med ZEB1. Vid planeringsstadiet beslutades det att totalstationen skulle etableras på två uppställningar för att underlätta inmätning i den avlånga mätsalen. I bilaga 1 visas hur totalstationen ställdes först upp på u1 för att etableras mot de kända koordinaterna för punkt 100 och 431. Den andra uppställningen u2 etablerades mot punkt 213, 322 och 433. Stativen placerades ut i mätsalen och prismorna horisonterades med trefötterna som monterats ovanpå stativen. Inmätningarna av prismorna utfördes mot en bestämd punkt på prismat (se figur 2) för att erhålla en så liten differens mellan prismornas inmätta punkt och sfärernas mittpunkt.

Ett sekundärt mål med totalstationen var att mäta in naturliga punkter, punkterna valdes med målet att uppnå en god geometri och använda möjligheten att mäta in objekt som inte är begränsade till ett stativs uppställningsmöjlighet. Ett högt antal av naturliga punkter mättes för möjligheten att välja de med bäst geometri vid georefereringen. Totalstationen horisonterades för att sedan etableras mot de kända punkterna markerade med reflextejp runt om i mäthallen. Inmätningen av prismorna och de naturliga punkterna (se figur 5 och 6) utfördes och totalstationen förflyttades till den andra uppställningen. Samma process utfördes på den andra uppställningen med horisontering, etablering och inmätning. När alla punkter mätts in med totalstationen plockades instrumentet och prismorna bort, stativen lämnades dock orörda för senare användning med sfärer. En koordinatlista skapades (se bilaga 2) för att sortera koordinaterna och ta bort oönskade inmätningar.



Figur 5. Illustration över prismorna (st) och naturliga punkter (np) inmätta med totalstation från u1. X, Y, Z är den lokala riktningarna som skapas i geo.



Figur 6. Illustration över alla naturliga punkter inmätta med totalstation från u2.

2.4 Skanning med ZEB1

Skanningen med ZEB1 utfördes den 19 februari 2014 i mäthallen i hus 45 på Högskolan i Gävle. De redan utplacerade stativen som använts vid mätning av prismor med totalstationen användes för att placera ut sfärer. Sfärerna som användes under skanningen har olika dimensioner dessa antecknades med målet att genomföra en höjdkorrigering i koordinatlistan. Sfärernas utplacerades runt om i lokalen och skannern startades upp och blev liggandes på bordet tills den gröna lampan lös upp vilket visar att skannern är redo. Ryggsäcken sattes på för att sedan plocka upp skannern. Det rekommenderades att det utförs i denna ordning för att förhindra krånglande med ryggsäcken medan operatören stod och höll i skannern vilket skulle ge en negativ påverkan på IMU enheten. Kameran startades för dokumentationssyfte och ge möjligheten att färglägga punktmolnet med stilla bilder. Skanningen utfördes så att operatören följde en planerad rutt i gångtakt.

Under inskanningen rekommenderas det att skannern ska pendla i hastigheten en halv svängning per sekund.

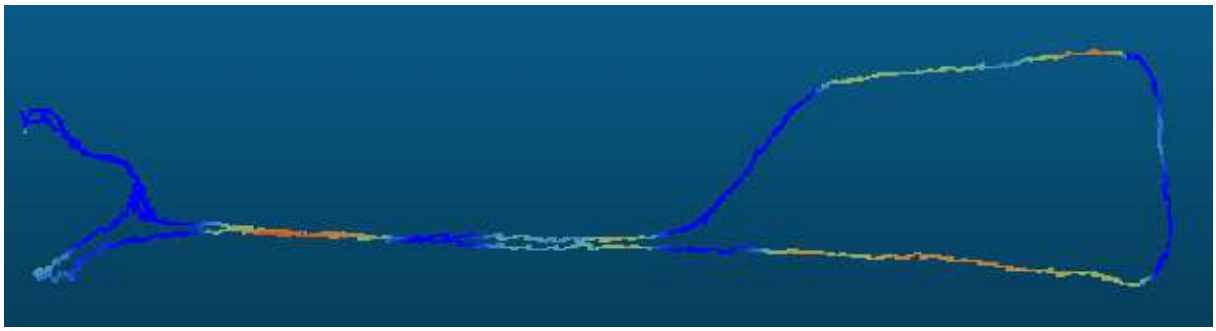
Inskanningen skedde med tre olika metoder:

1) En genomgång i hallen = en skanning, kallas enkelskanning.
2) Två genomgångar i hallen = en skanning med dubbel punkttäthet, kallas dubbelskanning.
3) En precision genomgång i hallen = en skanning + detaljerad skanning vid sfärernas position, denna metod kommer att kallas ”Stop and Go”.

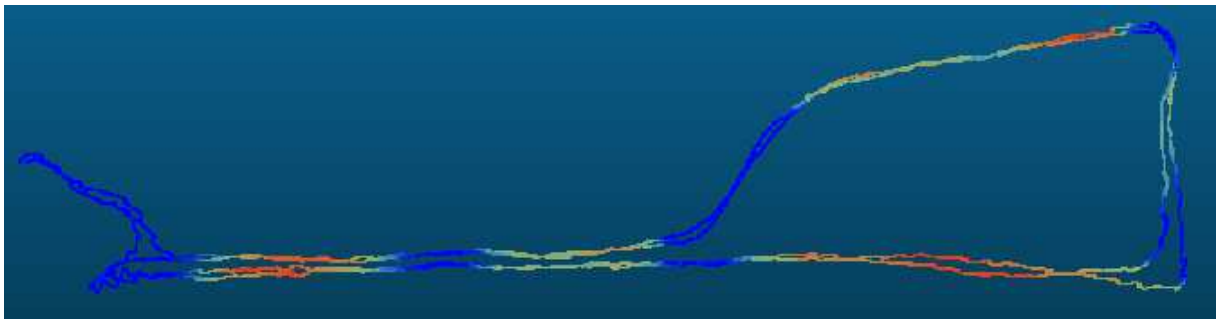
Vid användning av metoderna enkelskanning och dubbelskanning följdes den planerade vägen i lokalen. De två metoderna utfördes med åtanke att operatören kontinuerligt gick i lokalen. Medan operatören rör sig så sköter skannern automatiskt om inskanningen, ZEB1 skannar i 2D men skannern får en oscillerande effekt där den gungar fram och tillbaka som ger 3D effekten. ”Stop and Go” utfördes med målet att skannern stannar vid sfärerna en kortare tidsperiod för att erhålla en högre upplösning på refereringsobjekten.

När ZEB1 manövreras av operatören registrerar IMU systemet skannerns rörelse. Denna rörelse presenteras nedan och på en graderad skala i färg som visar om förhållandet för IMU systemet och hur den klarar av operatörens rörelser. På skannern fanns en varnings lampa som lyser orange om skannerns rörelse är för snabb. Denna lampa började aldrig lysa under inskanningarna av området.

De tre skanningarna kan enkelt urskiljas på deras IMU resultat, enkelskanning visar en bana som har följt den planerade rutten (se figur 7). Dubbelskanningen har samma form som enkelskanningen men två banor som skannern följt (se figur 8). Resultatet av ”Stop and Go” metoden är en projektionsbana som visar hur operatören rört sig till varje sfär för att erhålla en bättre upplösning (se figur 9). Bilderna i figur 7 – 9 följde med när 3D Laser Mapping skickade tillbaka de bearbetade punktmolnen och visar IMU rörelsen som från respektive skanning.



Figur 7. Illustrerar skannerns rörelse för enkelskanning igenom mäthallen, röd/orange färgade områden är då skannerns IMU känner av att operatören börjar röra sig för snabbt.



Figur 8. Illustrerar skannerns rörelse för dubbelskanningen, de dubbla banorna visar de två gångerna operatören rört sig med skannern igenom mätsalen.

Figur 9. Illustrerar skannerns rörelse för ”Stop and Go” metoden, skillnaden i skannerns bana är då skannern förts närmare sfärerna för att få en högre upplösning.

2.5 Databearbetning

Efter att skanningen utförts skickades all data till 3D Laser Mappings online tjänst ZEB1 Uploader. Den skannade data processeras av företaget och skickas tillbaka i LAZ format som är en komprimerad version av en LAS fil. Alla skanningar öppnades i Cloudcompare v.2.5.3 som är en gratis mjukvara för hantering av punktmolnsdata. Kontroll att punktmolnen skannats in korrekt och att punktmolnen stämde överens med lokalens

utformning. Då LAZ filen inte är kompatibel med mjukvaran Cyclone 7.4.0 som är det valda programmet för databearbetningen, hämtades en ”LAS-converter”. LAZ filerna konverterades till LAS format för att sedan importeras i Cyclone. En databas skapades där punktmolnen delades upp i olika projektmappar för att sortera de olika inskanningsmetoderna. För varje projekt skedde bearbetningarna av data separat. Modelleringen av punktmolnen skedde i ”ScanWorlds” som är ett eget fönster med en gemensam riktningsaxel för varje utförd skanning. Varje gång skannern startade skapades en ny orientering, detta medför att punktmolnen från alla skanningar inte ligger på samma koordinater i mjukvaran.

Höjdskillnaderna mellan inmätta prismorna och sfärernas centrum ändras i koordinatlistan till korrekta värden innan de importerades i Cyclone. Istället för att registrera punktmolnet först och sedan modellera så utförs arbetet tvärt om, samma metod har tillämpats för sfärer av (Rabbani, Dijkman, Heuvel & Vosselman, 2007). Modelleringen utfördes för alla sfärer i de tre olika punktmolnen. Sfärerna tilldelas ett registrerings-ID efter modelleringen som skall användas vid registreringen. Kända koordinaterna som skall användas vid registreringen importeras från totalstationen i separata ”ScanWorlds” och placeras i de tre projekten. Sedan utfördes georeferering mellan punktmolnet med sfärer och de kända koordinaterna. Efter georefereringen genomförts erhålls residualen i plan och höjd och den sammanlagda 3D residualen av mjukvaran.

Samma process utfördes med naturliga punkter, varje punkt identifierades i punktmolnet och infogades en signal i form av ett hårkors för varje punkt. Individuell registrerings ID tilldelades alla naturliga punkter. 28 naturliga punkter hade mätts in, av dem valdes nio naturliga punkter ut p.g.a. deras geometri och möjlighet att kunna identifiera deras platser i punktmolnet. Nio punkter valdes för att få samma antal naturliga punkter som sfärer vid georefereringen. För varje projekt skapades det separata ”ScanWorlds” med ett punktmoln med identiska utvalda naturliga punkter. De tre punktmolnen georefererades mot en ”Scanworld” där de kända koordinaterna blivit inlagda. När residualen i riktningar och 3D residualen erhållits från mjukvaran för varje punktmoln utfördes en sammanställning av resultaten i Excel där även standardosäkerheten av residualerna och RMS sammanställdes för varje enskilt punktmoln.

Under bearbetningen av naturliga punkter skapades det ett hårkors signal för alla punkter som gick att identifiera i punktmolnet. Dessa punkter följde med vid georefereringen för alla punktmoln för att få fram en sammanlagd lista av differensen mellan de kända naturliga punkterna och de naturliga punkterna efter georefereringen med de olika metoderna. Dess data presenteras med koordinaternas differenser och deras sammanlagda RMS, (se bilaga 3).

Under granskningen av resultaten beslutades det att grova fel skulle uteslutas ur redovisningen av georefereringen. Detta medför att de grova fel som identifierats kunde elimineras ur resultatet och ett noggrannare resultat kunde redovisas. De grova felen har uppstått då modelleringen av punktmolnen genomförts med svårigheter att hitta den korrekta ytan av sfärerna eller få rätt placeringen av de naturliga punkterna.

Georeferering utfördes med en kombination av sfärer och naturliga punkter under databearbetningen då alla signaler lades samman i ett ”Scanworld”. Sedan genomfördes registreringen i mjukvaran med de 9 sfärerna och 9 naturliga punkterna för att undersöka om en bättre osäkerhet erhölls.

3. Resultat

3.1 Bestämning av 3D osäkerhet och standardosäkerhet

Nedanför presenteras resultaten av alla skanningar och georefereringsmetoder för sfärer och naturliga punkter. Tabellerna visar residualerna för georefereringen med stödpunkterna i meter, RMS värdet för deras sammanlagda residualer. De punkter i tabellerna som uteslutits pga. grova fel fick ett högre värde än den sammanlagda standardosäkerheten för 3D-residualerna. Tabell 3 redovisar resultatet för enkelskanningens resultat vid georeferering med sfärer och tabell 4 visar samma resultat för georeferering genomförd med naturliga punkter. Tabell 5 redovisar resultatet där punktmolnet georefererats mot signaler i form av sfärer och tabell 6 visar resultatet för georeferering med naturliga punkter. I tabell 7 och 8 presenteras resultatet av georefereringen utförd med inskanningsmetoden ”Stop and Go”. Resultaten har beräknats ut med ett kvadratiskt medelvärde (RMS) på 3D-residualerna (R) enligt dessa formler:

$$R_i = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2} \tag{1.1}$$

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} R_i^2}{N}} \tag{1.2}$$

3D-residualen (R) för varje sfär och naturlig punkt räknas ut genom tillämpningen av formeln (1.1), där x, y och z är koordinater och R(x), R(y) och R(z) är residualer i x, y- och z-led för sfär och naturliga punkter nummer i. Det 3-dimensionella RMS-måttet för samtliga punkter ges av ekvationen (1.2).

Resultatet för differens beräkningarna mellan de kända naturliga punkterna och de georefererade samt deras RMS kan läsas i bilaga 4 och detta visar hur bra det går att skanna in objekt och vilken noggrannhet som kan väntas för de olika metoderna. Det är RMS värdet mellan de olika metoderna för både georefereringen och differensen mellan kända naturliga punkter och georefererade naturliga punkter som presenterar hur noggranna resultat ZEB1 kan erhålla.

Tabell 3: Resultat av georeferering med metoden enkelskanning med sfärer. Sfärerna st4, st5, st6 har uteslutits ur denna beräkning p.g.a. grova fel.

Enkelskanning	Residual (x) [m]	Residual (y) [m]	Residual (z) [m]	3D-Residual [m]
Sfärer				
st1	0,019	-0,016	-0,051	0,056
st2	0,001	-0,003	-0,027	0,027
st3	-0,017	-0,001	0,030	0,035
st8	0,004	0,013	0,015	0,021
st9	0,000	0,006	0,024	0,025
st10	-0,007	0,000	0,007	0,010
		RMS		0,032

Tabell 4: Resultat av georeferering med metoden enkelskanning med naturliga punkter. Den naturliga punkten np3 har uteslutits ur beräkningen p.g.a. grova fel.

Enkelskanning	Residual (x) [m]	Residual (y) [m]	Residual (z) [m]	3D-Residual [m]
Naturligapunkter				
np1	0,020	0,018	0,012	0,029
np5	0,005	-0,021	0,025	0,033
np8	-0,016	-0,037	-0,040	0,057
np11	-0,005	0,004	-0,034	0,040
np18	0,007	0,002	0,023	0,032
np19	-0,021	-0,004	0,035	0,041
np20	0,009	0,014	-0,016	0,023
np27	0,001	0,003	0,001	0,004
		RMS		0,035

Tabell 5: Resultat av georeferering av inskanningsmetoden dubbelskanning och med sfärer. Under beräkningarna blev signalerna st6 och st3 utesluten p.g.a. grova fel.

Dubbelskanning	Residual (x) [m]	Residual (y) [m]	Residual (z) [m]	3D-Residual [m]
Sfärer				
st1	0,014	-0,023	-0,040	0,027
st2	0,022	0,004	0,026	0,035
st4	-0,010	-0,021	-0,027	0,035
st5	-0,024	-0,025	-0,018	0,039
st8	0,010	0,008	0,017	0,021
st9	-0,060	0,029	-0,015	0,033
st10	-0,006	0,029	0,020	0,036
		RMS		0,033

Tabell 6: Resultat av georeferering av inskanningsmetoden dubbelskanning och med naturliga punkter. Under beräkningarna blev punkterna np3 och np5 uteslutna p.g.a. grova fel.

Dubbelskanning	Residual (x) [m]	Residual (y) [m]	Residual (z) [m]	3D-Residual [m]
Naturligapunkter				
np1	0,013	-0,016	0,034	0,040
np8	-0,014	0,006	-0,021	0,026
np11	-0,001	-0,021	-0,035	0,040
np18	-0,006	0,022	0,016	0,028
np19	0,010	-0,002	0,028	0,029
np20	0,002	0,020	-0,023	0,031
np27	-0,003	-0,009	0,001	0,009
		RMS		0,031

Tabell 7: Resultat av georeferering av ”Stop and Go” metodens punktmoln med sfärer. Signalen st6 uteslöts ur beräkningarna p.g.a. grova fel.

"Stop and Go"	Residual (x) [m]	Residual (y) [m]	Residual (z) [m]	3D-Residual [m]
Sfärer				
st1	-0,010	0,026	0,017	0,033
st2	-0,021	-0,007	-0,006	0,023
st3	-0,010	0,015	-0,051	0,054
st4	0,017	0,016	0,037	0,044
st5	0,024	0,015	0,020	0,035
st8	-0,006	-0,010	-0,027	0,029
st9	0,000	-0,024	0,019	0,031
st10	0,007	-0,031	-0,010	0,033
		RMS		0,036

Tabell 8: Resultat av georeferering av ”Stop and Go” metodens punktmoln med naturliga punkter. Den naturliga punkten np27 uteslöts ur beräkningarna p.g.a. grova fel.

"Stop and Go"	Residual (x) [m]	Residual (y) [m]	Residual (z) [m]	3D-Residual [m]
Naturligapunkter				
np1	-0,015	0,003	0,003	0,016
np3	0,030	-0,039	-0,020	0,054
np5	-0,028	0,025	0,008	0,039
np8	0,019	0,006	0,035	0,040
np11	0,014	0,002	0,001	0,014
np18	-0,023	0,009	-0,018	0,030
np19	0,020	0,004	0,020	0,028
np20	-0,017	-0,010	-0,028	0,034
		RMS		0,034

4. Diskussion

4.1 Utförandet av skanningen

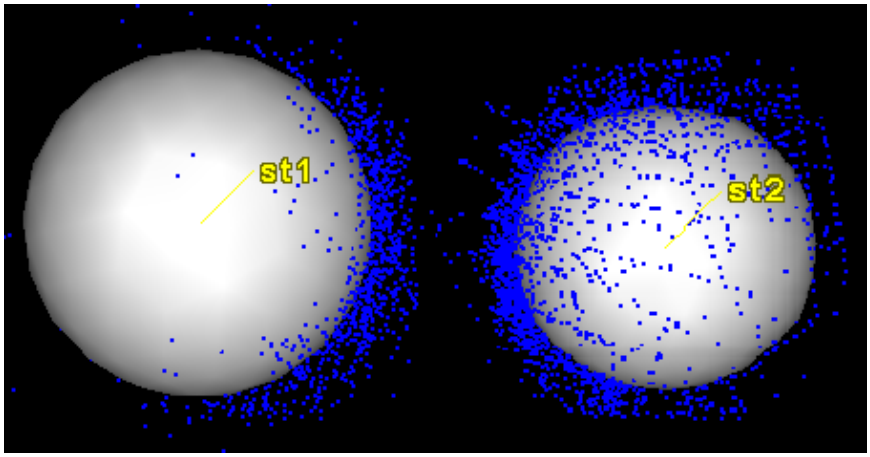
Enkelskanning och dubbelskanning valdes som metod för att få en jämförelse om det var stor skillnad att skanna samma område två gånger, samt en jämförelse mot ”Stop and Go” där operatören använde ZEB1 på det sätt den var skapad för. Med ”Stop and Go” metoden används mer av skannerns viktigaste egenskap, dess rörlighet. Punktmolnen från enkelskanning och dubbelskanning var inte lika lätt att bearbeta då punktmolnens låga täthet försvårade processen att identifiera och modellera de sökta naturliga punkterna och sfärerna. När ”Stop and Go” tillämpades utfördes skanningen av objekten från flera olika vinklar. Detta medförde att ett bättre visuellt punktmoln skapades, vilket i sig underlättade processen med databearbetningen av punktmolnen.

Resultatet visar att en inmätningsmetod där operatören kan röra sig runtom och stannar vid referensobjektet underlättar processen databearbetning. Enkelskanning genomfördes på lite mer än fem minuter och ”Stop and Go” utfördes på lite mindre än nio minuter. Tidsskillnaden som användes för att röra sig runt om i lokalen i ”Stop and Go” minskade tiden för modelleringen och databearbetningen och sänkte de svårigheter som uppstod med att modellera sfärer med upp till tre cm brus. Detta visar att ZEB1s uppbyggnad på rörlighet möjliggör inte bara fullständiga punktmoln på kort tid utan även möjligheten att skräddarsy sitt punktmoln för området där refereringar skall utföras.

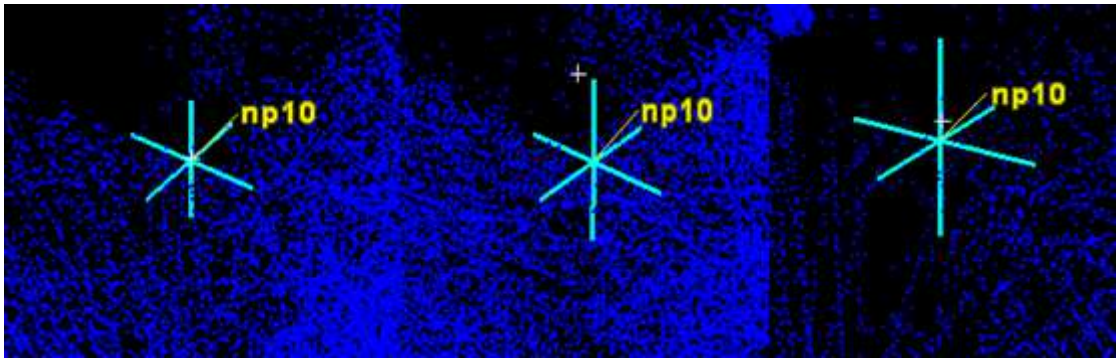
Ett av punktmolnen som skannades in blev korrupt under den automatiska bearbetningen av 3D Laser Mapping. Punktmolnet blev ett flygande punktmoln, detta påverkade punkmolnet konstruktion och delar av punktmolnet dubblerades och spegelvändes av okänd anledning. Vid upptäckten av felet som omöjliggjorde vidare arbetning med enkelskanningens punktmoln togs kontakt med 3D Laser Mapping som snabbt ordnade punkmolnet och uppdaterade det på ZEB1 Uploader mjukvaran med ett nytt punktmoln och korrekt punktmoln.

4.2 Georefereringen

Osäkerheten på georefereringen kan speglas till hur tydlig punktmolnet var i dess utseende, då ZEB1 alltid avger ett brus som ger punktmolnet en tjocklek på 1 - 3 cm runt objekt och väggar. Det är möjligheten visuellt att avgöra var det verkliga gränserna runt sfärerna eller de naturliga punkterna ligger som gör det möjligt att modellera och erhålla en låg osäkerhet. Detta reflekterar i hur bra skanningen utfördes, ZEB1 har ett förekommande brus som alltid kommer höja osäkerheten om det inte kan förbättras. Bruset (se figur 10) är vad som har varit det största hindret när det kommer till bearbetningen av punktmolnen och en av orsakerna att osäkerheten stannar på centimeter nivå. Det är under georefereringen som man kan se hur inskanningsmetoden påverkar resultatet. Med en noggrannare skanning erhålls ett bättre punktmoln vilket leder till tydligare modellering. Då georefereringen utförs mot de modellerade objekten är resultatet en visning på hur bra skanningen och modelleringen av signalerna utförts. Under georefereringen av inskanningsmetoden dubbelskanning blev bruset värre då inskanningen metoden skapade dubbla mängden brus på 1 - 3 cm. Detta försvårade databearbetningsprocess då urskiljandet av konturerna av det riktiga objektet i punktmolnet blev svårare att identifiera.



Figur 10. Ett exempel på hur bruset kunde se ut runt om sfärerna.

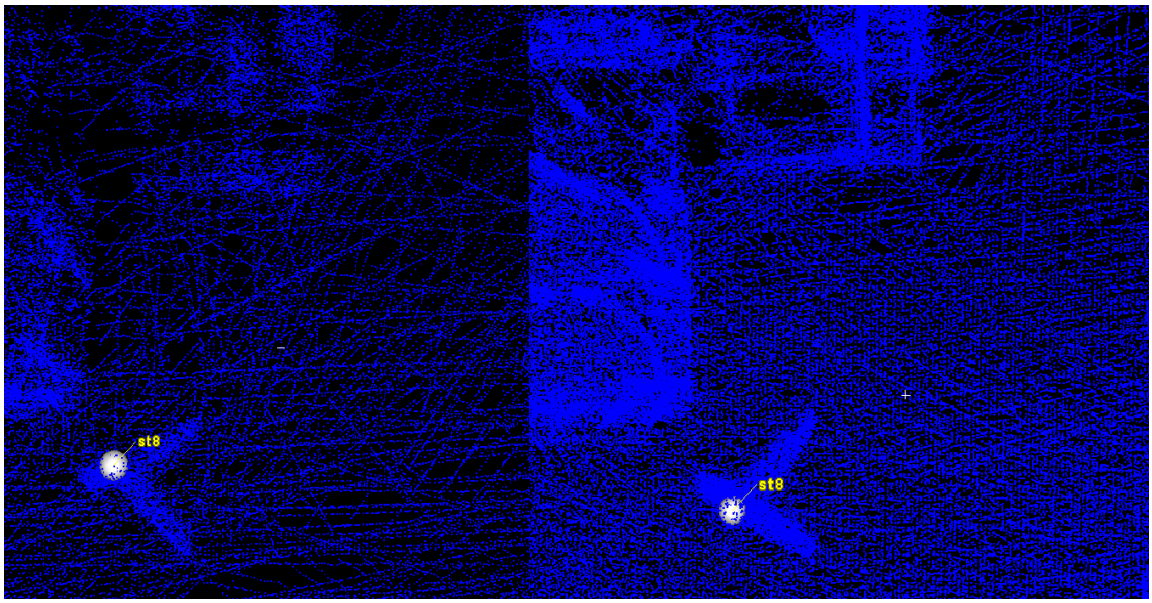


Figur 11. Illustrerar skillnaderna mellan punktmolnen av samma vägghörn där en naturligpunkt ska markeras inskannade på 10 m avstånd. Metoderna dubbelskanning (vänster), ”Stop and Go” (mitten) och enkelskanning (höger) erhåller olika punkttätheter vilket påverkar användarens möjlighet till att identifiera vägghörnet korrekt.

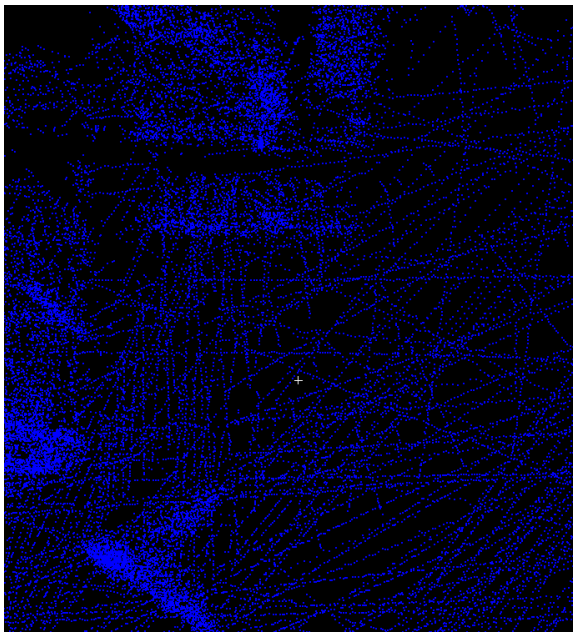
Thomson et al. (2013) visar i sina resultat ett medelfel på sju cm i plan och 4 - 5 cm i höjd. De har georefererat punktmolnet mot ett punktmoln skapat av laserskannern Focus3D från Faro. I en jämförelse med mina resultat som varierar mellan 1 - 2 cm i plan och 2 - 3 cm i höjd. Detta bevisar att resultatet från georeferering av punktmolnet mot signaler gav ett bättre resultat än mot ett inskannat punktmoln från en TLS.

En georeferering utfördes med en kombination med sfärer och naturliga punkter med tanken att de naturliga punkternas höjd skulle skapa en bättre geometri och på så sätt sänka osäkerheten för georefereringen, se bilaga 3. Med målet att skapa en bättre geometri så eftersöktes en förbättring i georefereringen. Georefereringen med båda sorternas signaler gav dock inte en förbättring i osäkerheten utan en liten försämring i RMS i jämförelse med naturliga punkter och sfärernas enskilda resultat.

Som visas i figur 11 blir skillnaderna mellan skanningsmetoderna att punkttätheten ändras, när avstånden från skannern till objekten ökar blir hörnen i punktmolnen svårare att identifiera. De olika punkttätheterna mellan molnen i bilderna visar hur hörnet blir enklare att identifiera i ett punktmoln med bättre punkttäthet än i ett punktmoln med sämre. Vilket gör det svårare att bearbeta punktmolnet, höjer risken för grövre fel och att osäkerheten i arbeten blir sämre. Därför rekommenderas det att georeferera med punkter som skannern har en möjlighet att skanna inom tio m för att uppnå bästa möjliga resultat. Genom att skanna närmre, under en längre tid eller flera gånger ger ett mer utfyllt punktmoln där det blir enklare att identifiera objekten som skannats och identifiera sfärerna och de naturliga punkterna (se figur 12 och 13).



Figur 12. Till vänster syns punktmolnets täthet för dubbelskanning och till höger samma identiska plats fast skanningen genomförd med ”Stop and Go”



Figur 13. Illustrering av skanningens punkttäthet för enkelskanning på samma plats som för dubbelskanning och ”Stop and Go” som visas i figur 12.

5. Slutsats och rekommendationer

Min slutsats är att metoderna har presterat likvärdigt i resultaten mindre avvikelser har erhållits, alla osäkerheter för georefereringen har ett RMS värde mellan 3 – 4 cm som kan ses i tabell 3 - 8. ”Stop and Go” metoden erhöll ett bättre värde för differensen mellan de naturliga punkterna med ett RMS på 3 - 4 cm jämfört med 5 - 7 cm för enkelskanning och dubbelskanning. Jag rekommenderar att använda ”Stop and Go” metoden då ett bättre resultat erhölls för differensen och punktmolnet i helhet får en bättre punkttäthet runt signalerna vilket underlättar databearbetningen se bilaga 4. Det blir svårt att använda ZEB1 för precisionsarbeten med krav under cm nivå då bara bruset på punktmolnet ligger mellan 1 - 3 cm. ZEB1 är uppbyggd för att snabbt skanna in större områden för dokumentation eller illustrerings syften. Det är denna arbetsfunktion som skiljer en handhållen laserskanner som ZEB1 från en stationär terrester laserskanner. Utförandet av skanningen går så fort och därför blir det ekonomiskt värt att använda ZEB1 för dokumentationer och presentationer av laser punktmoln.

Skanningarna som georefererats med naturliga punkter har erhållit ett bättre resultat än användandet med sfärer. Jag tror att detta beror på att skannern skapar en tydligare bild av raka väggar och hörn än vad den kan göra med cirkulära objekt som en sfär. Detta är möjligtvis orsaken till förbättringen bland de naturliga punkterna.

Jag anser att användandet av ZEB1 var enkelt för en person utan tidigare erfarenhet med skannern. Jag fick även uppfattningen av att 30 m räckvidden som skannern sägs kunna skanna är lite optimistisk då en del av punktmolnen som skannades in med ett 15 m avstånd skapade problematik när de naturliga punkterna skulle identifieras. Därför rekommenderar jag att georeferering skall utföras med signaler skannade inom 10 meter.

Tidigare utförda arbeten med ZEB1 har varit problematisk att finna, skannern är så pass ny att bara ett fåtal vetenskapliga artiklar kommit ut. Förhoppningsvis kan antalet öka när skannern blivit lite mer etablerad på marknaden för handhållna laser skannrar.

Referenser

Bosse, M., Zlot, R., Flick, P. (2012). Zebedee: Design of a Spring-Mounted 3-D Range >Sensor with Application to Mobile Mapping. *IEEE transactions on robotics, Volym 28,* 1104-1119. doi:10.1109/TRO.2012.2200990

Geo SLAM Ltd. (2013). *ZEB1 user´s manual v1.5* [Broschyr]. Hämtad från www.3dlasermapping.com
ZEB1 – User´s Guide v1.5.pdf

James, M., & Quinton, J. (2013). Ultra-rapid topographic surveying for complex environments: the hand-held mobile laser scanner (HMLS). *Earth Surface Processes and Landforms, Volume 39,* 138-142. doi: 10.1002/esp.3489

Rabbani, T., Dijkman, .S, Heuvel, F., Vosselman, G. (2007). An integrated approach for modelling and global registration of point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 6,* 355-370.
doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2006.09.006

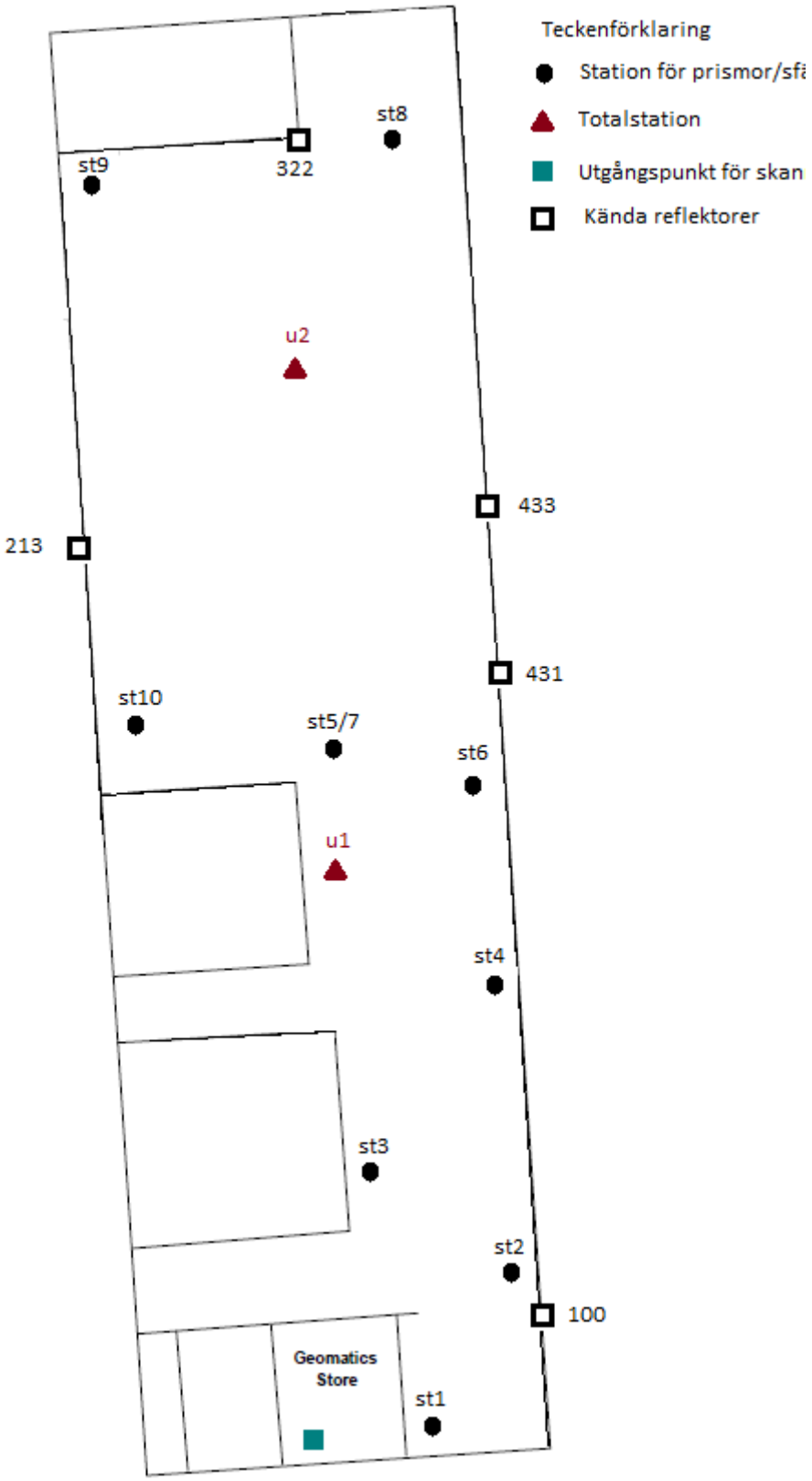
Riisgard, S., & Blas, M. R. (2005). *Slam for Dummies: A Tutorial Approach to Simultaneous Localization and Mapping.* Hämtad 2014-05-13 från *http://ocw.mit.edu/courses/aeronautics-and-astronautics/16-412j-cognitive-robotics-spring-2005/projects/1aslam_blas_repo.pdf*

Thomson, C., Apostolopoulos, G., Backes, D., Boehm, J. (2013). Mobile laser scanning for indoor modelling. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-5/W2.* doi:10.5194/isprsannals-II-5-W2-289-2013

Zlot, R., Bosse, M., Greenop, K., Jarzab, Z., Juckes, E., Roberts, J. (2013). Efficiently capturing large, complex cultural heritage sites with a handheld mobile 3D laser mapping system. *Journal of Cultural Heritage*. Publiceras 2014. doi.org/10.1016/j.culher.2013.11.009

3D Laser Mapping. (2013). *Terrametrix Pushes the Limits of the New ZEB1 Mobile Mapping System.* Hämtad 2014-05-14, från http://www.3dlasermapping.com/news-events/news-stories/203-terrametrix-pushes-the-limits-of-the-new-zeb1-mobile-mapping-system

Bilaga 1. Illustration av mäthallen och alla uppställningar av sfärer



Bilaga 2. Koordinatlista över inmätta punkter med totalstation

Sfärer	X	Y	Z
st1	107.466	326.329	21.757
st2	110.495	327.516	21.243
st3	113.923	324.309	20.458
st4	120.955	327.739	21.369
st5	131.043	322.845	21.671
st6	131.442	327.506	20.911
st7	131.015	322.832	21.654
st8	150.561	323.332	21.360
st9	149.606	313.561	21.758
st10	136.266	316.249	21.279
Naturliga punkter	X	Y	Z
np1	120.772	323.025	23.025
np2	111.991	324.821	22.768
np3	110.285	329.296	27.231
np4	110.292	329.280	23.154
np5	110.026	325.393	19.681
np6	118.859	328.226	22.556
np7	124.392	328.177	23.389
np8	133.981	327.043	21.608
np9	130.286	322.356	23.293
np10	130.296	322.352	23.295
np11	130.021	314.358	22.265
np12	139.720	315.361	19.676
np13	141.108	315.271	19.678
np14	142.120	312.736	22.555
np15	144.914	312.157	23.841
np16	144.510	312.191	27.117
np17	151.513	311.976	22.869
np18	151.693	313.629	25.056
np19	152.188	320.077	25.054
np20	152.788	320.492	21.606
np21	154.953	325.756	22.035
np22	153.865	326.135	19.713
np23	149.453	325.935	22.555
np24	145.353	326.512	19.682
np25	138.810	326.675	19.688
np26	147.458	326.440	23.411
np27	130.300	322.355	19.672
np28	140.702	325.072	26.879

Bilaga 3. Kombinationen med naturliga punkter och sfärer vid georeferering för ”Stop and Go”

Förklaring:

R(x): Residual i x-led.

R(y): Residual i x-led.

R(z): Residual i höjd.

R(3D): Sammanlagd residual.

Signalerna np3, np27 och st6 uteslöts som grova fel.

"Stop and Go"				
Kombination av np och st				
	R(x) [m]	R(y) [m]	R(z) [m]	R(3D) [m]
np1	0,003	0,009	0,037	0,038
np5	-0,054	-0,019	0,051	0,057
np8	0,017	0,002	-0,080	0,024
np11	-0,021	0,013	0,010	0,026
np18	0,021	0,011	-0,040	0,024
np19	-0,021	0,013	-0,032	0,040
np20	0,022	0,022	0,016	0,035
st1	0,012	-0,032	-0,046	0,058
st2	0,024	0,002	-0,015	0,028
st3	0,015	-0,020	0,026	0,036
st4	-0,016	-0,024	-0,042	0,051
st5	-0,025	-0,021	-0,024	0,041
st8	0,003	0,004	0,053	0,054
st9	-0,004	0,016	-0,020	0,026
st10	-0,007	0,024	-0,003	0,025
	RMS			0,039

Bilaga 4. Differensen och RMS mellan naturliga punkter

Differens mellan kända naturliga punkter och georefererade						
"Stop and Go" georefererad med sfärer	X	Y	Z	R (x) [m]	R (y) [m]	R (z) [m]
np2	112,022	324,812	22,804	-0,031	0,009	-0,036
np4	110,308	329,249	23,250	-0,016	0,031	-0,096
np6	118,852	328,213	22,614	0,007	0,013	-0,058
np7	124,405	328,158	23,465	-0,013	0,019	-0,076
np10	130,335	322,351	23,358	-0,039	0,001	-0,063
np12	139,750	315,363	19,678	-0,030	-0,002	-0,002
np13	141,174	315,299	19,653	-0,066	-0,028	0,025
np14	142,117	312,708	22,513	0,003	0,028	0,042
np16	144,580	312,189	27,104	-0,070	0,002	0,013
np17	151,580	311,982	22,820	-0,067	-0,006	0,049
np22	153,816	326,118	19,764	0,049	0,017	-0,051
np23	149,465	325,946	22,624	-0,012	-0,011	-0,069
np24	145,390	326,528	19,767	-0,037	-0,016	-0,085
np25	138,828	326,694	19,766	-0,018	-0,019	-0,078
np26	147,483	326,470	23,428	-0,025	-0,030	-0,017
				RMS		0,041

Differens mellan kända naturliga punkter och georefererade						
"Stop and Go" georefererad med naturliga punkter	X	Y	Z	R (x) [m]	R (y) [m]	R (z) [m]
np2	112,000	324,819	22,721	-0,009	0,002	0,047
np4	110,288	329,259	23,145	0,004	0,021	0,009
np6	118,833	328,215	22,529	0,026	0,011	0,027
np7	124,384	328,160	23,389	0,008	0,017	0,000
np10	130,311	322,350	23,318	-0,015	0,002	-0,023
np12	139,728	315,341	19,683	-0,008	0,020	-0,007
np13	141,153	315,276	19,661	-0,045	-0,005	0,017
np14	142,089	312,697	22,534	0,031	0,039	0,021
np16	144,544	312,196	27,131	-0,034	-0,005	-0,014
np17	151,551	311,966	22,860	-0,038	0,010	0,009
np22	153,801	326,088	19,747	0,064	0,047	-0,034
np23	149,444	325,931	22,600	0,009	0,004	-0,045
np24	145,374	326,503	19,734	-0,021	0,009	-0,052
np25	138,813	326,672	19,721	-0,003	0,003	-0,033
np26	147,461	326,459	23,399	-0,003	-0,019	0,012
				RMS		0,025

Differens mellan kända naturliga punkter och georefererade						
Enkelskanning georefererad med sfärer	X	Y	Z	R (x) [m]	R (y) [m]	R (z) [m]
np2	112,018	324,842	22,822	-0,027	-0,021	-0,054
np4	110,347	329,277	23,239	-0,055	0,003	-0,085
np7	124,432	328,141	23,433	-0,040	0,036	-0,044
np10	130,264	322,326	23,334	0,032	0,026	-0,039
np12	139,719	315,360	19,695	0,001	0,001	-0,019
np13	141,128	315,259	19,733	-0,020	0,012	-0,055
np14	142,160	312,731	22,595	-0,040	0,005	-0,040
np16	144,455	312,272	27,279	0,055	-0,081	-0,162
np17	151,555	311,987	22,910	-0,042	-0,011	-0,041
np22	153,858	325,978	19,758	0,007	0,157	-0,045
np23	149,456	325,940	22,717	-0,003	-0,005	-0,162
np24	145,374	326,496	19,743	-0,021	0,016	-0,061
np25	138,812	326,703	19,739	-0,002	-0,028	-0,051
np26	147,495	326,461	23,443	-0,037	-0,021	-0,032
				RMS		0,056

Differens mellan kända naturliga punkter och georefererade						
Enkelskanning georefererad med naturliga punkter	X	Y	Z	R (x) [m]	R (y) [m]	R (z) [m]
np2	112,007	324,861	22,748	-0,016	-0,040	0,020
np4	110,338	329,294	23,191	-0,046	-0,014	-0,037
np7	124,421	328,145	23,406	-0,029	0,032	-0,017
np10	130,249	322,327	23,281	0,047	0,025	0,014
np12	139,706	315,376	19,616	0,014	-0,015	0,060
np13	141,115	315,274	19,656	-0,007	-0,003	0,022
np14	142,139	312,727	22,503	-0,019	0,009	0,052
np16	144,424	312,235	27,189	0,086	-0,044	-0,072
np17	151,533	311,973	22,833	-0,020	0,003	0,036
np22	153,854	325,982	19,777	0,011	0,153	-0,064
np23	149,445	325,928	22,726	0,008	0,007	-0,171
np24	145,370	326,508	19,749	-0,017	0,004	-0,067
np25	138,808	326,720	19,732	0,002	-0,045	-0,044
np26	147,484	326,447	23,452	-0,026	-0,007	-0,041
				RMS		0,050

Differens mellan kända naturliga punkter och georefererade						
Dubbelskanning georefererad med sfärer	X	Y	Z	R (x) [m]	R (y) [m]	R (z) [m]
np2	112,064	324,753	22,917	-0,073	0,068	-0,149
np4	110,428	329,218	23,259	-0,136	0,062	-0,105
np6	118,770	328,196	22,603	0,089	0,030	-0,047
np7	124,426	328,150	23,464	-0,034	0,027	-0,075
np10	130,261	322,318	23,341	0,035	0,034	-0,046
np12	139,720	315,373	19,719	0,000	-0,012	-0,043
np13	141,164	315,289	19,728	-0,056	-0,018	-0,050
np14	142,106	312,728	22,538	0,014	0,008	0,017
np16	144,454	312,088	27,097	0,056	0,103	0,020
np17	151,619	311,997	22,869	-0,106	-0,021	0,000
np22	153,859	326,097	19,851	0,006	0,038	-0,138
np23	149,466	325,860	22,688	-0,013	0,075	-0,133
np24	145,396	326,652	19,800	-0,043	-0,140	-0,118
np25	138,814	326,662	19,787	-0,004	0,013	-0,099
np26	147,543	326,479	23,514	-0,085	-0,039	-0,103
				RMS		0,072

Differens mellan kända naturliga punkter och georefererade						
Dubbelskanning georefererad med naturliga punkter	X	Y	Z	R (x) [m]	R (y) [m]	R (z) [m]
np2	112,051	324,769	22,835	-0,060	0,052	-0,067
np4	110,418	329,237	23,158	-0,126	0,043	-0,004
np6	118,760	328,205	22,512	0,099	0,021	0,044
np7	124,436	328,163	23,452	-0,044	0,014	-0,063
np10	130,246	322,321	23,282	0,050	0,031	0,013
np12	139,701	315,353	19,696	0,019	0,008	-0,020
np13	141,145	315,267	19,706	-0,037	0,004	-0,028
np14	142,083	312,718	22,528	0,037	0,018	0,027
np16	144,428	312,095	27,090	0,082	0,096	0,027
np17	151,596	311,981	22,868	-0,083	-0,005	0,001
np22	153,849	326,066	19,792	0,016	0,069	-0,079
np23	149,454	325,844	22,627	-0,001	0,091	-0,072
np24	145,386	326,627	19,733	-0,033	-0,115	-0,051
np25	138,805	326,643	19,716	0,005	0,032	-0,028
np26	147,531	326,469	23,448	-0,073	-0,029	-0,037
				RMS		0,054