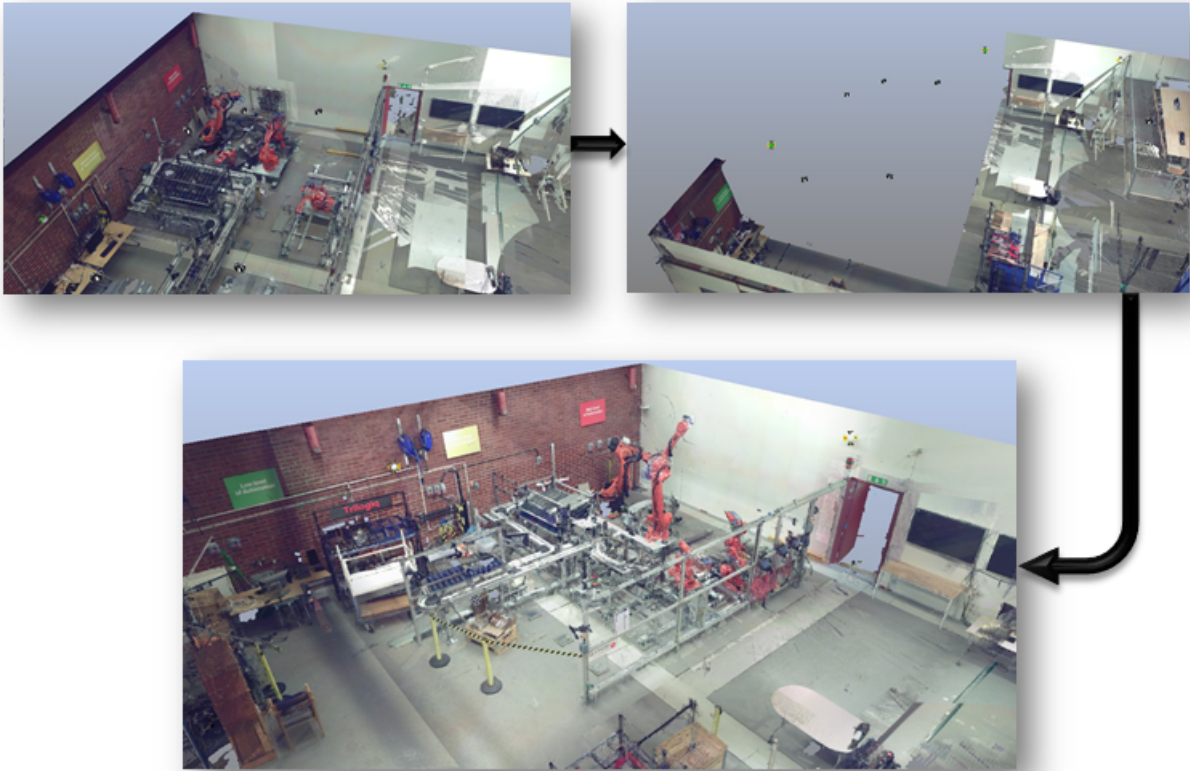




CHALMERS



Stegvis uppdatering av punktmoln

Användning av 3D-scanning för att successivt uppdatera en virtuell modell av ett produktionssystem

Kandidatarbete i produktionsutveckling

JOHAN ANDREASSON
DAVID GARDTMAN
ANTON LARSSON
MY VESTER

KANDIDATARBETE 2015

Stegvis uppdatering av punktmoln

Användning av 3D-scanning för att successivt uppdatera en virtuell
modell av ett produktionssystem

Kandidatarbete i produktionsutveckling

JOHAN ANDREASSON
DAVID GARDTMAN
ANTON LARSSON
MY VESTER



CHALMERS

Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling

PPUX03-15-02

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2015

Stegvis uppdatering av punktmoln

Användning av 3D-scanning för att successivt uppdatera en virtuell modell av ett produktionssystem

JOHAN ANDREASSON

DAVID GARDTMAN

ANTON LARSSON

MY VESTER

Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling

Chalmers tekniska högskola

Abstract

The use of 3D laser scanning in manufacturing facilities is helping an increasing number of companies in assessing and evaluating their current production systems. However, the scanning of large manufacturing facilities is usually very time-consuming. To avoid excessive disruption to production, it is important to investigate the use of incremental scanning as an alternative to rescanning the entire factory. Incrementally updating the scan data can ensure that the data is up-to-date, in a fast and inexpensive way, without disturbing the production process. The benefits when planning an update are that the accuracy of the scan data, which shows every detail of the environment, compared to a 2D blueprint will ensure that an update of the environment will fit as intended.

The aim of the thesis is to present a methodology, for a certain combination of hardware and software, that is able to take point cloud data from a scanner, and add it to an existing point cloud in a point cloud processing software. Therefore removing the need to rescan a whole environment each time an update of said environment is built. To reach this goal, empirical research was conducted to decide what hardware and software was required.

The results generated were two methodologies to be used with the software SCENE, one for the stationary scanner Focus^{3D} and one for the handheld scanner DPI-7. The Focus^{3D} methodology can be applied when rebuilding part of an environment, building an update in an environment and for previously missed points. The DPI-7 methodology can only be applied for the last two.

Important conclusions are that the methodology for SCENE with Focus^{3D} is time-consuming and that for certain smaller environments time is saved by simply rescanning the whole system. The scanned environment (PSL - 188 m²) was for comparison slightly too small. The methodology for DPI-7 is faster but the problem with this methodology is precision instead; DPI-7 uses technology that is not as accurate as Focus^{3D} which means time will be saved but the high accuracy of the point cloud might be slightly compromised.

Sammanfattning

Användningen av 3D-laserscanning hjälper allt fler tillverkningsföretag vid bedömning och utvärdering av deras produktionssystem. Scanningen av större produktionsanläggningar är dock mycket tidskrävande. För att undvika större stopp eller störningar är det därför viktigt att undersöka stegvis uppdatering av scanningsdata som ett alternativ till att scanna om ett helt produktionssystem. Genom stegvis uppdatering är det möjligt att, på ett snabbt och kostnadseffektivt sätt, säkerställa att informationen är aktuell. Dessutom möjliggör 3D-laserscanning en mer detaljrik bild av miljön än 2D-ritningar. Att scanningsdatan är aktuellt och exakt är viktigt om det ska användas som ritningsunderlag vid layoutplanering.

Syftet med kandidatuppsatsen är att presentera metodiker för en viss kombination hård- och mjukvara som kan användas för att kombinera punktmoln. Mer exakt ska ett punktmoln av ett produktionssystem kunna uppdateras med ett punktmoln av en uppdatering som har skett i produktionssystemet. Målet är att metodikerna ska kunna spara tid genom att bara scanna uppdateringen istället för hela systemet då en förändring av miljön sker.

Resultatet är två metodiker som antingen använder den stationära scannern Focus^{3D} eller den handhållna scannern DPI-7 för att skapa punktmoln. Båda metodikerna applicerade SCENE för att bearbeta punktmolnet. Metodiken för Focus^{3D} kan hantera tre fall: ombyggnationer, tillägg och komplettering av saknade punkter i molnet. Metodiken för DPI-7 kan hantera de två sistnämnda fallen.

Slutsatserna som kunde dras var att PSL (188 m²) var för litet för att spara tid vid uppdatering av punktmoln med den skapade metodiken för Focus^{3D}. Vid större miljöer tar bearbetningen ungefär lika lång tid men scanning tar längre tid och då sparas tid genom att använda metodiken. DPI-7:s metodik sparar mycket tid men scannern använder sig av en annan teknik. Påverkan blir att noggrannheten på punktmolnet försämras vilket kan ha betydelse beroende på vad punktmolnet ska användas till.

Nyckelord: 3D-scanning, punktmoln, produktionssystem, stegvis, uppdatering.

Förord

De personer som har varit som stöttepelare i genomförandet av detta projekt skulle vi här vilja upphöja för att klargöra hur viktig deras hjälp har varit.

Vi skulle först vilja tacka vår handledare Erik Lindskog som har varit en stor hjälp genom hela projektet och verkligen satt sig in i projektet och problemen vi har haft. Att gruppen fick ett rum och utrustning att nyttja under projektet har vi institutionen för Produkt- och produktionsutveckling (PPU) att tacka. Vi vill även tacka examinator Björn Johansson för den ledning vi fick på mittmötet.

Vi skulle också vilja tacka Rolf Berlin från ATS som gav oss mjukvara som underlättade utförandet av projektet. David Frisk förtjänar också ett tack för skapandet av L^AT_EX-mallen. Slutligen vill vi tacka Magnus Gustafsson på fackspråk för hjälp med rapporten.

Johan Andreasson
David Gardtman
Anton Larsson
My Vester
Göteborg, Juni 2015

Ordlista & Förkortningar

2D Tvådimensionell.

3D Tredimensionell.

PSL Production Systems Laboratory. Produktionsmiljö som ligger på Chalmers tekniska högskola.

Punktmoln Data som erhålls genom scannningar. Punktmoln består av miljontals punkter som tillsammans bildar en 3D-modell.

Referenspunkt Sfär eller schackrutig bräda som en scanner använder sig av för att lokalisera sig i rummet.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte och mål	2
1.3	Frågeställningar	2
1.4	Avgränsningar	2
2	Teori	3
2.1	Ritningstekniker	3
2.2	Stationär 3D-laserscanning	3
2.2.1	Puls- och fasbaserad scanning	5
2.2.2	FARO Focus ^{3D}	5
2.3	Handhållen 3D-laserscanning	6
2.3.1	DotProduct DPI-7	6
2.4	Mjukvaror för punkmolnsbehandling	7
2.4.1	Autodesk ReCap Pro	7
2.4.2	FARO SCENE	7
3	Metod	9
3.1	Material	9
3.2	Arbetsmetod	9
3.2.1	Planering	10
3.2.2	Scanning	11
3.2.3	Bearbetning	11
3.2.4	Analys och Slutsats	11
3.3	Scanning med DPI-7	12
3.4	Scanning med Focus ^{3D}	12
3.4.1	Inställningar vid scanning	13
3.4.2	Scanning av hela PSL	13
3.4.3	Scanning av en uppdatering av PSL	14
3.5	Bearbetning i SCENE: Focus ^{3D} komplett scanning	15
4	Beskrivning av framtagna metodiker	17
4.1	Bearbetning i SCENE: Focus ^{3D} uppdatering av inaktuell information	17
4.1.1	Skapa ett nytt projekt	19
4.1.2	Radera det som inte är nytt	20
4.1.3	Färdigt punktmoln av uppdateringen	22

4.1.4	Öppna projekt som ska uppdateras	23
4.1.5	Tillägg	23
4.1.6	Ombyggnation	24
4.1.7	Placera tillägget	24
4.1.8	Färdigt projekt	25
4.1.9	Kvalitetskontroll med Quality manager	26
4.2	Bearbetning i SCENE: DPI-7 tillägg och komplettering	27
4.2.1	Konvertering med Autodesk ReCap	28
4.2.2	Radera oönskade punkter	28
4.2.3	ATS DotProduct applikation	28
4.2.4	Till SCENE	29
4.2.5	Redigera i SCENE	29
4.2.6	Placera manuellt	29
4.2.7	Placera med funktionen Place	30
4.2.8	Färdigt projekt	31
4.2.9	Kvalitetskontroll	31
5	Utvärdering av metodikernas resultat	33
5.1	Komplett scanning med Focus ^{3D}	33
5.1.1	Tider	33
5.1.2	Kvalitet	34
5.2	Ombyggnation med Focus ^{3D}	36
5.2.1	Tider	36
5.2.2	Kvalitet	37
5.3	Tillägg och komplettering med Focus ^{3D}	38
5.3.1	Tider	38
5.3.2	Kvalitet	39
5.4	Tillägg och komplettering med DPI-7	40
5.4.1	Tider	40
5.4.2	Kvalitet	41
5.5	Jämförelse av resultat	42
6	Diskussion	43
6.1	Tidsvariationer i resultat	43
6.1.1	Tidsvariation relaterat till mjukvara	43
6.1.2	Tidsvariation på grund av hårdvara	43
6.2	DPI-7	44
6.3	Focus ^{3D}	44
6.4	Andra miljöer	45
6.4.1	Nytta med metodikerna	45
7	Slutsats	47
7.1	Besvarade frågeställningar	47
7.2	Rekommendationer	47
	Litteraturförteckning	49

A Appendix	I
A.1 Kvalitetsrapport av komplett scanning av PSL-labbet med FARO FOCUS ^{3D}	I
B Appendix	IX
B.1 Nytt projekt	IX
B.2 Ladda in scannings-data	X
B.3 Ladda in koordinater	XI
B.4 Preprocessing	XII
B.5 Kontroll av referenser	XIII
B.6 Applicera färg	XV
B.7 Skapa projekt-punktmoln	XVII
B.8 Ta bort oönskade punkter	XVIII
B.9 Färdigt projektpunktmoln	XIX
B.10 Kvalitetskontroll	XIX

1

Inledning

Kapitlet syftar till att ge läsaren en kortare bakgrund till ämnet. Vidare presenteras projektets syfte, mål och frågeställningar. Avslutningsvis listas avgränsningarna.

1.1 Bakgrund

Avståndsmätning med laser, eller LiDAR, utvecklades i början på 1960-talet som ett sätt att detektera ubåtar från luften [1]. Tekniken användes framgångsrikt av NASA under 1970-talet i samband med undersökningar av jordytan och för avståndsmätning i militära sammanhang [1, 2]. De första tredimensionella (3D) scannarna, baserade på triangulering, utvecklades i slutet på 1980-talet [3]. På grund av otillräckliga bildbehandlingstekniker dröjde det dock ytterligare några år innan 3D-laserscanning skulle komma att användas i en större omfattning även av privata företag [3, 4]. I dagsläget utnyttjas 3D-laserscannrar inom allt från lantmäteri och mobile mapping till scannningar av byggnader, dess interiörer och arkeologi [3]. I produktionssammanhang används tekniken bland annat av Volvo Cars vid arbetet kring deras produktionssystem [5].

Laserscanning av produktionssystem är ett relativt nytt användningsområde som har uppstått på grund av ett ökat intresse hos många tillverkningsföretag att använda tekniken. Tidigare användes uteslutande tvådimensionella (2D) ritningar vid planeringen av produktionsmiljöer men med hjälp av 3D-laserscanning kan tillverkningsföretag nu skapa fotorealistiska 3D-modeller på kort tid. 3D-planeringsmiljöer möjliggör inte bara för noggrannare ritningar och möjligheten att simulera produktionsprocesser utan modellerna kan även användas som grund och planeringsstöd för framtida ombyggnationer. Att scanna en fabrik tar dock lång tid vilket riskerar att störa produktionen. För att undvika kostsamma stopp är det därför av intresse att undersöka kontinuerlig eller stegvis uppdatering som ett komplement till helt nya scannningar av samma område [6].

I takt med en allt snabbare digitalisering, bättre och framförallt billigare hård- och mjukvara kommer användandet av 3D-laserscanning vid utvecklingen av nya och befintliga produktionssystem sannolikt att öka [7]. I dagsläget saknas dock en genomarbetad metodik för hur stegvis 3D-laserscanning ska genomföras. Att information från tidigare scannningar blir inaktuell vid till exempel ombyggnationer är ett stort problem som måste lösas innan tekniken kan utnyttjas optimalt.

1.2 Syfte och mål

Arbetet syftar till att utveckla metodiker för scanning av produktionssystem och stegvis uppdatering av systemets punktmoln. Metodikerna ska beskriva hur 3D-scannrar och behandlingsprogram för punktmoln kan användas som ett redskap för att hålla information om ett produktionssystem uppdaterat.

Målet med metodikerna är att visa hur nya scannningar kan sammankopplas med äldre punktmoln samt att visa hur scannningar genomförs i PSL. Kombineringsen av punktmoln ska, jämfört med en fullständig scanning, leda till tidsbesparingar och fortsatt god noggrannhet. Genom målet ska slutsatser dras om hur metodiken kan användas i liknande system.

1.3 Frågeställningar

För att uppnå syftet följer här tre frågeställningar som projektet ska besvara:

- Vilken kombination av hårdvaror och mjukvaror krävs för att stegvis uppdatera ett punktmoln?
- Vid vilken typ av produktionsförändring är en stationär respektive handhållen scanner mest lämplig?
- Hur ser metodikerna för uppdatering av punktmoln ut i vald mjukvara för respektive hårdvara?

1.4 Avgränsningar

De punkter som följer nedan syftar till att gränsa in projektet och på så vis skapa ett klarare syfte:

- Produktionsmiljön som används i projektet är endast PSL på Chalmers tekniska högskola; dels för tillgänglighet men också på grund av den mindre storleken då tid kan sparas under scannningar.
- Projektet syftar inte till att skapa ny hård- eller mjukvara för användning till 3D-scanning utan att istället bruka den teknik som finns tillgänglig. Fokus kommer vara på att applicera den nuvarande hård- och mjukvaran på ett effektivt sätt.
- Endast hårdvara som finns tillgänglig på Chalmers tekniska högskola kommer att användas: FARO Focus^{3D} S120 och DotProduct DPI-7. Annan hårdvara kan dock komma att undersökas. Anledning till begränsningen är att 3D-scanningshårdvara är dyr och att köpa ny är inte möjligt.

2

Teori

Som nämnts i bakgrund är 3D-laserscanning av produktionssystem ett relativt nytt användningsområde. Det här kapitlet avser att ge läsaren en förståelse för hur punktmoln och scanning fungerar samt gå in i detalj på relevant hård- och mjukvara.

2.1 Ritningstekniker

Användningen av Computer-aided Design (CAD) har ökat explosionsartat de senaste 30 åren. I dagsläget använder sig många företag av 2D-CAD vid visualisering och dokumentation av produktionslayouter. Metoden är väletablerad men tar mycket tid och felaktigheter i ritningen riskerar att ackumuleras över tid [8]. Nyare 3D-CAD-modeller kan lösa en del av problemen men mer komplexa former och figurer saknas ofta i dessa fall [5].

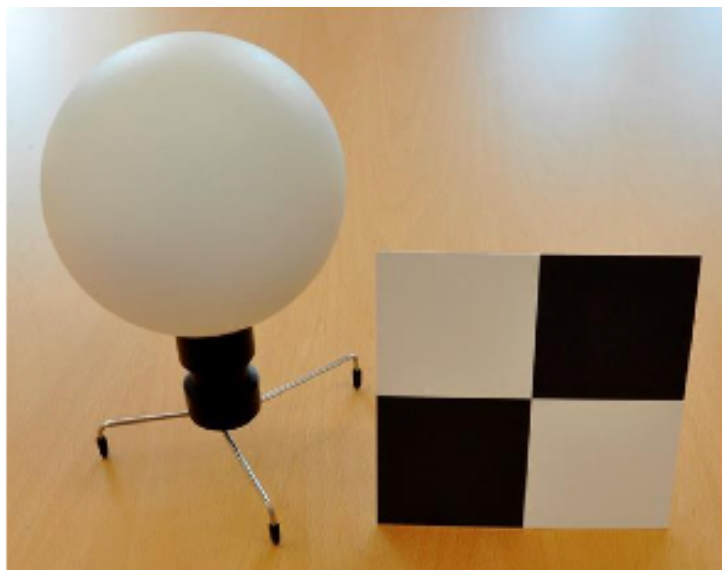
3D-laserscanning har visat sig vara ett utmärkt sätt att samla in detaljerad information. Noggrannheten hos de inscannade punkterna skiljer sig, beroende på hårdvara, endast några millimeter från verkligheten och är generellt sett snabbare än att ta mått för hand för att sedan skapa en 3D-modell i ett CAD-program. Punktmolns-tekniken möjliggör dessutom för utmärkta visualiseringsmöjligheter av fabriken eller produktionssystemet [8].

2.2 Stationär 3D-laserscanning

En 3D-laserscanner använder sig, som namnet antyder, av laser för att inhämta information om ett föremåls bredd, höjd och längd. Genom att avge och ta emot reflekterade laserstrålar kan 3D-laserscannern mäta avståndet till föremålet [5]. Den reflekterade laserstrålen motsvarar den närmsta punkten i scannerns mätriktning och innehåller information om läget i x-, y- och z-riktning. När sedan 3D-laserscannern roterar kring sin horisontella och vertikala axel är det möjligt att generera en 3D-bild av omgivningen. Den färdiga scanningen innehåller i de flesta fall miljontals mätpunkter vilka tillsammans bildar ett så kallat punktmoln. De flesta 3D-laserscannrar har en inbyggd kamera som tar bilder av miljön i samband med scanningen. På så vis är det möjligt att även få en uppfattning om punktmolnets färg [5].

Att scanna en större fabrik kräver vanligtvis hundratals individuella scanningar [6]. För att skapa ett större gemensamt punktmoln bör de enskilda scanningarna lokaliseras relativt varandra med hjälp av referenser [6, 9]. I många fall används referens-

sfärer eller svartvita schackbräden, så kallade checkerboards, likt de i Figur 2.1 men även fasta föremål som väggar och hörn kan användas för lokaliseringen.



Figur 2.1: Referenssfär och checkerboard. Från [5], Återgiven med tillstånd.

För att möjliggöra stegvis scanning av produktionsmiljön placeras fästen till sfärerna på orörliga föremål i fabriken [6]. När ett visst område behöver uppdateras monteras sfärerna och området scannas på nytt. Den berörda delen tas enkelt bort från det befintliga punktmolnet och ersätts med den nya scanningen, förutsatt att det finns en fabriksram (factory frame) eller ett koordinatsystem baserat på GPS-koordinater [6]. Själva scanningsprocessen kan med fördel delas in i tre delar, enligt nedanstående punktlista [5, 9].

1. Förbered scanning - Scannerns och referensernas positioner bestäms. För att försäkra sig om att all nödvändig data samlas in måste scannerns synfält innehålla dels det undersökta föremålet, dels referenspunkterna. Fabriker eller andra komplexa miljöer kräver ofta scanningar från ett flertal olika positioner.
2. Genomför scanning - 3D-laserscannern placeras på de tänkta platserna och scanningen genomförs. För bästa resultat bör all rörelse i lokalen undvikas. Hur lång tid den enskilda scanningen tar beror i första hand på parametrar som upplösning och kvalitet hos 3D-laserscannern.
3. Bearbeta scanningsdata - Scanningarna kombineras till ett dataset. Denna halvautomatiserade process genomförs i olika mjukvaror med hjälp av referenspunkterna.

2.2.1 Puls- och fasbaserad scanning

För att beräkna avståndet från scannern till en yta eller ett föremål utnyttjar 3D-laserscannrar i första hand två olika tekniker: puls- och fasbaserad scanning. Pulsbaserad scanning bygger på tiden det tar för en emitterad laserstråle att nå ett visst föremål och tillbaka till scannern. Med hjälp av ljusets hastighet c kan avståndet bestämmas som $c * t/2$ där t är tiden från scannern och tillbaka. Pulsbaserad scanning fungerar väl vid längre avstånd men kräver korta ljuspulser med hög linsstyrka (optical power) för att fungera optimalt [10].

Vid fasbaserad scanning beräknas istället avståndet med hjälp av fasskillnaderna hos de skickade och mottagna ljusstrålarna. Oftast används sinusoidala signaler varpå fasskillnaden kan bestämmas genom korskorrelation. Avståndet kan sedan enkelt beräknas om frekvensen hos ljusstrålen är känd [10]. Fördelen med fasbaserade scannrar är att de kan scanna föremål inom en halv meters avstånd med god noggrannhet. I inomhusmiljöer passar därför fasbaserade scannrar generellt sett bättre än pulsbaserade scannrar [5].

2.2.2 FARO Focus^{3D}

FARO Focus^{3D}, se Figur 2.2, är en stationär 3D-laserscanner från det amerikanska mätteknikföretaget FARO Technologies. FARO Focus^{3D} fungerar genom att låta en roterande spegel sprida ljuset från en infraröd laserstråle varpå ljus från omgivande föremål reflekteras tillbaka till scannern [9]. Positionerna i x-, y-, och z-led hos varje mätpunkt bestäms med hjälp av pulsgivare vilka mäter spegelns vertikala och scannerns horisontella rotation. För att beräkna avståndet använder Focus^{3D} fasbaserad scanningsteknik.



Figur 2.2: FARO Focus^{3D} S 120. Från [5], Återgiven med tillstånd.

Scannerns synfält är 360x305 grader. Avståndet samt de vertikala och horisontella vinklarna omvandlas sedan till kartesiska koordinater. Genom att mäta intensiteten av den mottagna laserstrålen kan reflektionsfaktorn (kvoten mellan infallande och reflekterad våg) hos ett visst föremål bestämmas. Generellt sett reflekterar ljusa ytor en större del av den utsända laserstrålen än mörka ytor. Reflektionsfaktorn används sedan för att tilldela ett motsvarande "gråvärde" till samtliga mätpunkter [9].

De enskilda punktmätningarna upprepas upp till 976 000 gånger per sekund och resulterar i ett 3D-punktmoln [9]. Antalet punkter i punktmolnet kan i sin tur variera från 0,7 till 710,8 miljoner punkter beroende på vald upplösning [9]. Informationen från scanningen lagras på ett SD-kort vilket möjliggör en överföring till exempelvis SCENE, FAROs programvara för scanningsdata.

2.3 Handhållen 3D-laserscanning

Handhållna scannrar har vuxit fram som ett komplement till de större och framförallt dyrare stationära 3D-laserscannrarna. Tekniken för handhållna scannrar varierar beroende på tillverkningsföretag, men har som gemensamt att de är mindre och smidigare, men inte lika användbara för att scanna in större föremål och rum. Handhållna scannrar används istället främst för att scanna in enskilda föremål. Många handhållna scannrar har även en skärm som visar punktmolnet i realtid så att det går att se om hela objektet har scannats in. Ett exempel på en handhållen scanner är FARO:s senaste produkt; FARO Freestyle. Enligt FARO kan den använda sig av samma referenspunkter som Focus^{3D} och behöver inte någon uppvärmningstid [11].

2.3.1 DotProduct DPI-7

DotProduct har tagit fram en handhållen scanner som de kallar för DPI-7. Scannern består av en PrimeSense Carmine-kamera kopplad till en surfplatta av märket Nexus med operativsystemet Android. DPI-7 utnyttjar infraröd structured light-teknik för att bestämma det undersökta föremålets utseende. Genom att projicera ett infrarött mönster på ytan kan en 3D-bild konstrueras med hjälp av snedvridningen av mönstret [12]. Mjukvaran som är utvecklad för att köras på plattan har DotProduct döpt till Phi.3D och är framtagen av DotProduct för att göra surfplattan och kameran till en komplett scanner [13].

DPI-7 har en så kallad uppvärmningstid (warm-up-time) vilket innebär att den måste startas upp till 20 minuter innan själva scanningen. Tiden behövs för att kameran ska hinna värmas upp och ta bra bilder. Avståndet som DPI-7 och liknande scannrar kan mäta är kraftigt begränsat och problem uppstår ofta vid scanningen av vissa genomskinliga, reflexiva och absorptiva ytor [12]. Slutligen kan DPI-7 endast scanna miljöer av begränsad storlek då minnet är relativt litet [14].

2.4 Mjukvaror för punktmolnsbehandling

Programvaror för punktmolnsbehandling gör det möjligt att skapa och bearbeta punktmoln av scanningsdata och behandlar scanningsfiler direkt från en 3D-scanner. Vissa av programvarorna hanterar fall då flera scannningar är utförda för att få med en hel yta. Det är bland annat då referensfärerna i Figur 2.1 används. Vissa programvaror använder referenspunkterna för att kombinera de olika scannningarna med varandra. En annan möjlighet för att kombinera scannningarna är att använda naturliga referenser. På så vis skapas ett projekt-punktmoln med data från alla scannningar [6].

En del programvaror är tänkta att bara visualisera punktmolnet medan andra är mer inriktade på redigeringen av det. Företag som utvecklar 3D-scannrar utvecklar ofta mjukvara för punktmolnsbehandling för att skapa bra kompatibilitet mellan scanningsdata och mjukvaran. Exempel på företag som gör både scannrar och punktbehandlingsprogram är FARO och Leica Geosystems som har utvecklat punktmolnsbehandlingsprogrammen SCENE respektive Leica Cyclone.

2.4.1 Autodesk ReCap Pro

ReCap Pro är ett program för att skapa 3D-bilder med hjälp av foton eller laserscanning [15]. Programmet är utvecklat av Autodesk och fanns förut i tre olika varianter. Numera har Autodesk omarbetat ReCap och nylanserat det under nya namn [16]. Autodesk själva skriver att ReCap Pro minskar tiden det tar att jobba på ett projekt med mer än 50 % utan att noggrannheten påverkas [17].

ReCap fungerar med de flesta scannrar och är kompatibel med ett antal olika filtyper. Programmet är tänkt att utföra allt som behövs för att gå från en ”rå” scanningsfil till ett färdigt project där alla scannningar är på rätt plats och överblivna punkter tagits bort.

2.4.2 FARO SCENE

SCENE är en programvara som FARO har utvecklat för registrering och bearbetning av punktmoln [18]. Programmet är speciellt utformat för den scanningsdata som FARO Focus^{3D} genererar. SCENE lokaliserar automatiskt sfäriska referenser för att kombinera enskilda scannningar till ett projekt-punktmoln bestående av flera olika scannningar. Alternativt kan checkerboards eller naturliga referenser som hörn och väggar användas.

Det finns ett flertal insticks-applikationer till SCENE [19] som kan underlätta arbetet eller som lägger till helt nya funktioner. De som har varit relevanta i projektet redovisas nedan.

ATS Quality Manager

ATS Quality Manager är en applikation utvecklad av företaget ATS [20]. Quality Manager ger en detaljerad översikt på projektets kvalitet och klassar de olika scanningarna och referensernas kvalitet som hög, medium eller låg efter kraven i Tabell 2.1. Applikationen genererar automatiskt en rapport där scanningskvalitet och medelfel på punktmolnens referensmatchningar finns med. Medelfelet på punktmolnens referensmatchningar syftar på skillnaden mellan de angivna och uppmätta referenskoordinaterna [21].

Tabell 2.1: ATS bedömning för vad som klassas som Hög, Medium och Låg kvalitet.

Kvalitet på punktmoln	Hög	Medium	Låg
Intervall för punktavstånd [mm]	<10	10-20	>20
Intervall för punktdrift [mm]	<1	1-5	>5
Intervall för absolut longitudinellt fel [mm]	<10	10-20	>20
Intervall för longitudinellt fel [mm]	<10	10-20	>20
Intervall för orthogonalt fel [mm]	<10	10-20	>20
Intervall för inklinometerfel [grad]	<1	1-5	>5
Kvalitet på referenser			
Intervall för punktantal	>80	80-20	<20
Intervall för avståndsfel [mm]	<10	10-20	>20
Intervall för longitudinellt fel [mm]	<10	10-20	>20
Intervall för orthogonalt fel [mm]	<10	10-20	>20

ATS DotProduct Suite

Applikationen är utvecklad av företaget ATS och används för att läsa och skriva DotProduct-filer. Applikationen kan bland annat användas för att importera data från handscannern DPI-7.

FARO Video

Applikationen används för att rendera filmer av scannings-projektet [22]. Det finns möjlighet att spara kameravinklar och skapa en bana som kameran ska följa.

3

Metod

Kapitlet radar upp de material och förklarar de metoder som användes i projektet. Projektet är uppdelat i två större delar: genomföra scannningar med olika hårdvaror och experimentera med mjukvara för att nå en lösning på problemformuleringen. Det sistnämndas resultat presenteras i Kapitel 4.

3.1 Material

Materialen som användes under projektet listas nedan.

FARO Focus^{3D} S 120

Stationär 3D-laserscanner

DotProduct DPI-7

Handscanner

Referenssfärer (139 mm i diameter)

För användning med FARO Focus^{3D} S 120

FARO SCENE

Version 5.3.3 användes i projektet.

Autodesk ReCap

Version 1.4.0.132 användes i projektet

Dator

Processor - Intel(R) Core(TM) i7-4770K CPU @ 3.50GHZ 8 Kärnor

RAM - 16 GB

Grafikkort - NVIDIA Quadro FX 1800 1 GB

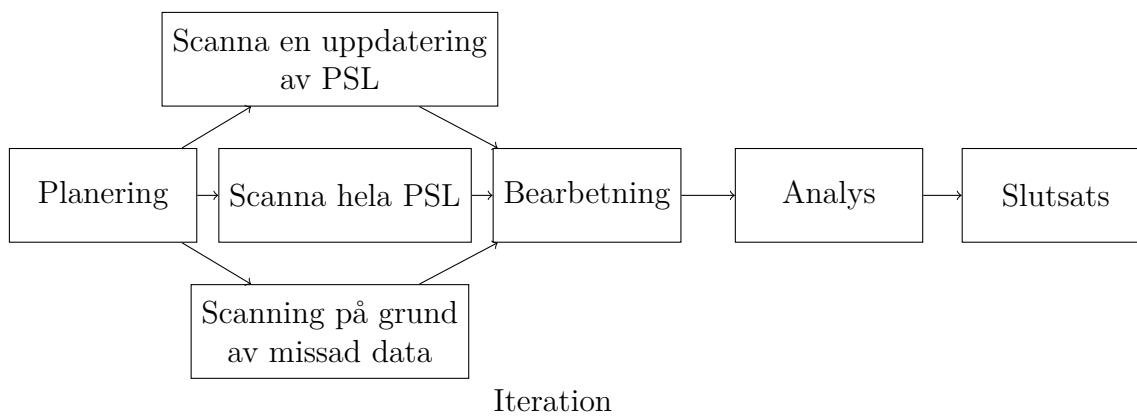
Hårddiskar - Intel(R) SSDSC2BW180A4 180 GB

- Seagate Barracuda ST250DM000 250GB

3.2 Arbetsmetod

För att testa de olika kombinationerna av hård- och mjukvara skapades en metod i början av projektet. Metoden består av fem huvudsteg och kan ses i Figur 3.1.

Metoden utvecklades med hjälp av litteraturstudier (se avsnitt 2.2) och logiska slutledningar. En scanning måste exempelvis ha utförts innan bearbetningen av scanningsdatan kan påbörjas.



Figur 3.1: Arbetsstegen som utfördes i projektet.

3.2.1 Planering

Metodsteget planering bestod av litteraturstudier för att undersöka scannrarna och deras kompatibilitet med olika mjukvaror. De frågor som förväntades besvaras var:

- Kan scannern användas till fullskalig 3D-scanning och uppdatering av utrymmet?
- Lämpar sig scannern bäst till att endast uppdatera utrymmet med?
- Kräver scannern förberedelser innan scanning (uppvärmningstid, referenspunkter)?
- Finns det information som tyder på att kombinationen av hårdvarans scanning-data och mjukvara kan användas till att uppdatera punktmoln som önskat?
- Var bör referenserna placeras i de fall scannern kräver dessa?

För att få information om vad som redan var möjligt och vad projektet behövde åstadkomma genomfördes först litteraturstudier av mjukvarorna. Resultatet av litteraturstudierna presenteras i detta och nästa kapitel i form av figurer som visar varje steg som behöver genomföras i mjukvaran. Ett exempel på ett arbetsmoment som helt strukturerades utifrån litteraturstudier är skapandet av ett projekt i SCENE med data från Focus^{3D} (Figur 3.4) och ett exempel på ett arbetsmoment som projektet behövde skapa är vid uppdateringen av punktmolnet med data från Focus^{3D} i SCENE (Figur 4.1).

En empirisk metod användes för att ernå de arbetsmoment som inte kunde skapas genom litteraturstudier. Ett första steg, i projektet kallat utforskningssteget, genomfördes för att erhålla erfarenheten som behövdes för den empiriska metoden. Utforskningssteget bestod av att bekanta sig med vald mjukvara med hjälp av försök och misstag (Trial and Error) och att genomföra de moment som litteraturstudien gav. Genom att utföra de nämnda stegen kunde mjukvaran undersökas och empiriskt kunde slutsatser dras om hur ett visst arbetsmoment skulle struktureras. Dessa arbetsmoment användes sedan i bearbetningssteget för att få fram det önskade resultatet (se Kapitel 4 för arbetsmomenten).

3.2.2 Scanning

Scanningssteget omfattade scanningsarna av miljön. Som Figur 3.1 visar fanns det tre fall som behövde genomföras:

- Scanning av hela PSL - En fullständig scanning av hela utrymmet. Viktig för att det måste finnas ett startpunktmoln som uppdateringar kan bygga på.
- Scanning av en uppdatering av PSL - En scanning som utförs när en tillräckligt stor uppdatering har byggts i utrymmet. Denna scanning kan delas upp i två ytterligare fall: **Tilläggs-scanning** då något har byggts till i utrymmet och **Ombyggnads-scanning** då en del av utrymmet har byggts om.
- Scanning vid missad data (komplettering) - Om data saknas i punktmolnet sedan tidigare. Det vill säga då inget nytt har lagts till i utrymmet men data i punktmolnet fattas.

Syftet med scanningsmomentet ansågs vara uppfyllt då de tre scanningsfallen kunde genomföras med någon kombination av hårdvara. Under avsnitt 3.3 och 3.4.2 i detta kapitel beskrivs scanningsarna i detalj.

3.2.3 Bearbetning

Steget bearbetning innebar att använda den valda mjukvaran för att ladda in datan från scannern och att skapa ett punktmoln. Det finns tre olika bearbetningsfall som följer av fallen i scanningssteget ovan. Det tillkommer också ett extra fall i bearbetningssteget: Att kunna ladda in och flytta runt CAD-modeller i mjukvaran. Fallet är relevant om det är tänkt att metodiken ska användas som ett alternativ till 2D-ritningar. Då måste punktmolnet istället kunna användas vid planering av framtida tillägg. Att använda en CAD-modell och se om den passar in i punktmolnet uppfyller detta krav.

Syftet med bearbetningsmomentet ansågs vara uppfyllt då alla fall från scanningssteget kunde bearbetas och sammanfogas till ett projekt i mjukvaran. I avsnitt 1.2 framgår att den slutgiltiga metodiken ska hjälpa användaren att scanna produktionssystem från början och uppdatera punktmolnet stegvist. Därför är den slutgiltiga metodiken oanvändbar om den inte kan bearbeta alla fall som scanningsarna genererar.

3.2.4 Analys och Slutsats

I analyssteget undersöktes resultatet av bearbetningen med avseende på punktmolnets noggrannhet och effektivitet av metodiken med avseende på tid. Dessa resultat samlades i rapportens utvärderingskapitel (Kapitel 5). Eftersom alla scanningsfallen och utförandet av dessa med olika hårdvaror måste analyseras är en iterering från scanning till analys en del av arbetsmetoden (Figur 3.1).

I slutsats utvärderades huruvida ett resultat uppnådde målet med projektet. Steget bestod även av att jämföra de olika resultaten analysen generade, dra en slutsats om vilken metodik som var mest tidseffektiv och exakt och genom det vilken kombination av hård- och mjukvara som borde användas. Slutsatserna av detta steg samlades i rapportens utvärderingsavsnitt (avsnitt 5.5).

3.3 Scanning med DPI-7

DPI-7 användes i första hand vid tillägg av befintliga scannningar. Kompletteringar med handscannern gjordes i de fall där FARO Focus^{3D} inte hade kommit åt.

Det första som scannades in med DPI-7 var en robot i cellen. När denna scannades fanns inte ATS:s DotProduct-applikation till SCENE att tillgå varför roboten först laddades in i ReCap för att göra om filformatet. Det uppstod dock problem när roboten importerades till SCENE eftersom den ej var skalenlig. Problemet löstes då det visade sig finnas en inställning i ReCap för att ändra måtten mellan olika enheter.

För att undersöka vad som skulle scannas vid kompletteringen av en befintlig scanning gjord med Focus^{3D} granskades de scannningar som fanns att tillgå noggrant. Det visade sig att saker som är svåra att få med för en stationär scanner är ytor i hörn och mot väggar där den stationära scannern inte går att placera. Ett exempel på vad Focus^{3D} missade var baksidan av en lastpall som då scannades in med handscannern för att komplettera punktmolnet. I både kompletteringsfallet och tilläggsfallet tog scanningen cirka fem minuter att utföra.

Scanningsteknik

DPI-7:s bruksanvisning lästes för att få en överblick av de olika funktionerna [14]. På den tillhörande surfplattan valdes fliken "IMAGE" högst upp till vänster, här visades hur lång tid som var kvar till att sensorn blev tillräckligt varm för att kunna scanna med. När uppvärmningen var klar valdes "Start" i högra hörnet i den aktuella fliken för att påbörja scanningen av objektet. Det var bra att följa rådet i bruksanvisningen; använd små cirkelrörelser genom att försiktigt röra underarmen och flytta scannern långsamt runt hela föremålet. DPI-7:s skärm visar när en scanning är så bra som möjligt genom att hela ytan av föremålet som scannas ska bli grönt. Från början är allt som syns på skärmen rött, för att sedan övergå till gult och slutligen grönt när scannern tycker att den har nog med punkter.

3.4 Scanning med Focus^{3D}

Totalt genomfördes två scanningstillfällen med Faro Focus^{3D}. Den första scanningen var av hela PSL och genomfördes 2015-02-03. Den andra var av ett tillagt bord i PSL-miljön och scannades 2015-02-25. Bordet var tänkt att symbolisera en ny maskin som tillkommit. För att kunna genomföra scanningsfallen ombyggnation

och komplettering behövdes ytterligare punktmoln. För de två fallen användes ett tidigare punktmoln av PSL scannat 2014-01-29.

3.4.1 Inställningar vid scanning

Focus^{3D} har ett antal olika inställningar som det går att välja mellan. Inställningarna valdes enligt Tabell 3.1 för att vara så bra anpassade till PSL som möjligt utan att ta för lång tid. Med de valda inställningarna tog varje scanning cirka sju minuter. Båda scanningstillfällena använde samma inställningar. PSL har fem fasta positioner för referensfärer. Vid samtliga scanningstillfällena utnyttjades alla referenser.

Tabell 3.1: Inställningar för FARO Focus^{3D}.

<i>Inställningar för FARO Focus 3D vid scanning av PSL 2015-02-03</i>	
Resolution	1/5 (8192) [pt/360°]
Quality	3x
Speed	244 [kpt/sec]

3.4.2 Scanning av hela PSL

Vid det första scanningstillfället (2015-02-03) togs sex individuella scanningar på platser som valdes ut för att få en bra helhetsbild av PSL, se Figur 3.2. Dessutom togs placeringen av referenspunkterna i beaktning för att scannern skulle kunna se minst tre stycken från varje scanningsposition. Den sammanlagda tiden för scanningstillfället blev cirka 50 minuter inkluderat uppsättning av referenspunkter och placering av scannern på de olika positionerna.



Figur 3.2: Scanningspositioner vid scanning av hela PSL 2015-02-03.

3.4.3 Scanning av en uppdatering av PSL

Vid det andra scanningstillfället (2015-02-25) utfördes en uppdaterande scanning med Focus^{3D}. Syftet var att undersöka hur väl det skulle gå att lägga till en ny komponent i det befintliga punktmolnet i SCENE. Ett bord fick bli den nya komponenten, och fyra olika scanningspositioner användes. De fyra scanningspositionerna kan ses i Figur 3.3.

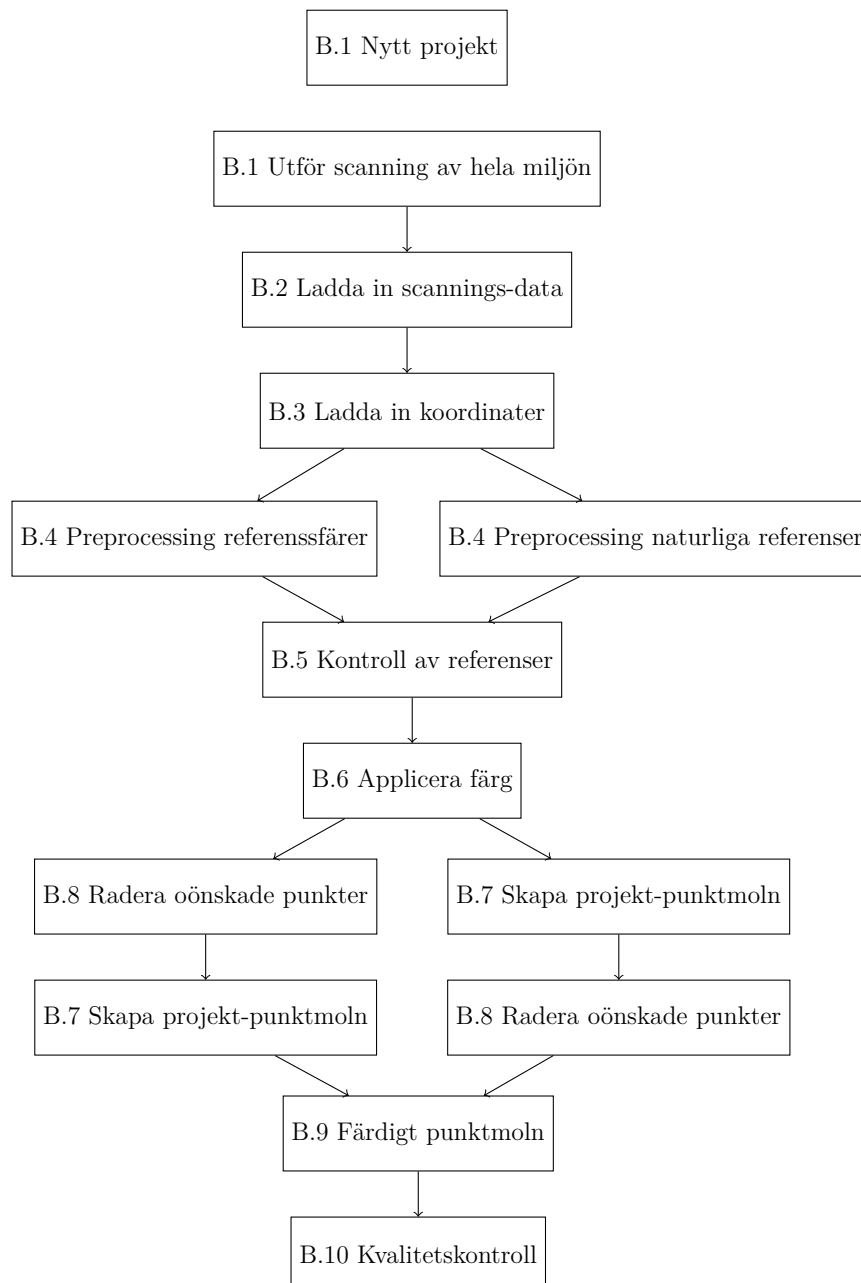
Den fjärde scanningen genomfördes för att få med bordets undersida. Scanningen togs dock för nära bordet och inte tillräckligt långt ner för att se undersidan av bordet vilket medförde att scanningen valdes bort. Den sammanlagda tiden för scanningstillfället blev cirka 40 minuter, uppsättning av referenspunkter och placering av scannern på de olika positionerna inkluderat.



Figur 3.3: Scanningspositioner vid kompletterande scanning av bord i PSL 2015-02-25.

3.5 Bearbetning i SCENE: Focus^{3D} komplett scanning

I Figur 3.4 syns den generella arbetsgången i SCENE. Metodiken togs fram med hjälp av SCENE:s bruksanvisning och har alltså inte skapats empiriskt. I Appendix B är alla steg i metodiken förklarade med tillhörande bilder. För bättre förståelse av de andra metodikerna i Kapitel 4 bör den här metodiken läsas först.



Figur 3.4: Generell arbetsgång i SCENE framtagen genom litteraturstudier.

4

Beskrivning av framtagna metodiker

Enligt metoden beskriven under avsnitt 3.2 kunde ett antal arbetsmetodiker för mjukvaran skapas. Arbetsmetodikerna presenteras här i form av två flödesscheman med förklarande text som klargör metodikerna ytterligare.

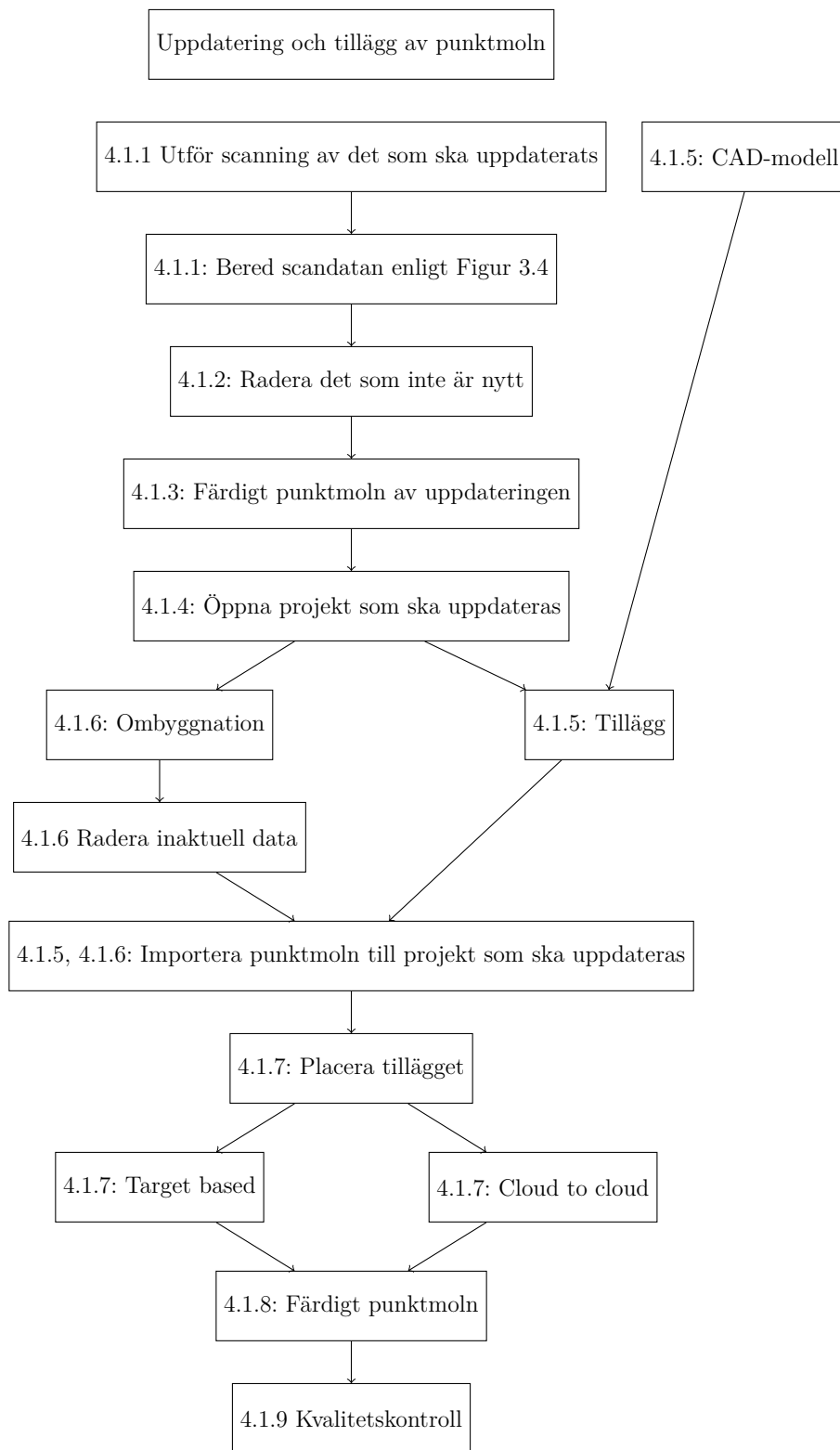
4.1 Bearbetning i SCENE: Focus^{3D} uppdatering av inaktuell information

Vid visualiseringen av planerade layoutförändringar är det viktigt att på ett effektivt sätt implementera förändringarna i punktmolnet. Metodiken i Figur 4.1 visar stegen som utförs i SCENE för att genomföra en uppdatering.

Metodiken för uppdatering är uppdelad i två fall:

- *Tillägg*
Används då något nytt ska läggas till i det befintliga punktmolnet. Exemplet i metodiken visar tillägget av ett bord i PSL. Bordet kan symbolisera en maskin eller något som är mer relevant vid layoutplanering. Scanningen av bordet ägde rum i PSL 2015-02-25.
- *Ombyggnation*
Används då en specifik del av punktmolnet har förändrats och behöver uppdateras med ny information. Exemplet som visas i metodiken är uppdateringen av robotcellen i PSL från 2015-02-03. Robotcellen ska kombineras med PSL från 2014-01-29 då förändringar skett i cellen. Scanningsdatan som används från PSL 2014-01-29 har inte genererats från något av scanningstillfällena i projektet. Datan är från ett tidigare scanningstillfälle som genomförts på institutionen för Produkt- och produktionsutveckling på Chalmers tekniska högskola.

Metodiken för ombyggnation kan även tillämpas om någon del av punktmolnet behöver kompletteras. Komplettering med Focus^{3D} visas med ett exempel där en del av en vägg i PSL 2014-01-29 saknar punkter. Punkterna kompletteras med data från scanningen i PSL 2015-02-03.

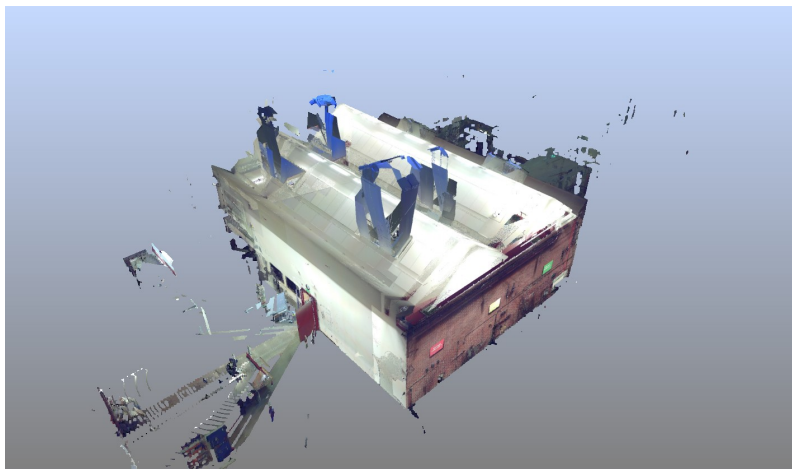


Figur 4.1: Framtagen arbetsmetod genom en empirisk undersökning för komplettering och uppdatering i SCENE med data från FARO Focus^{3D}.

4.1.1 Skapa ett nytt projekt

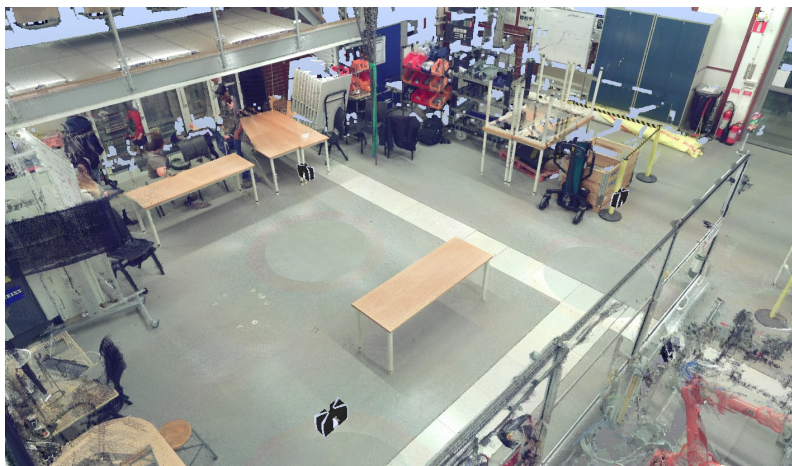
Utför en scanning av delen i miljön som ska uppdateras och för över scanndatan till datorn. För att kunna uppdatera den information som saknas eller ska läggas till i det inaktuella punktmolnet skapas ett nytt projekt. Projektet innehåller den uppdaterade informationen och följer arbetsgången i Figur 3.4. När stegen har genomförts är projektet med den aktuella informationen färdigt.

I Figur 4.2 visas punktmolnet på PSL inscannat 2015-02-03. Punktmolnet innehåller den uppdaterade versionen av robotcellen. Eftersom ombyggnationer har skett i robotcellen ska informationen användas för att uppdatera ett tidigare punktmoln av PSL inscannat 2014-01-29.



Figur 4.2: Oredigerat punktmoln innehållande den uppdaterade versionen av robotcellen, scannat 2015-02-03.

I Figur 4.3 visas punktmolnet med bordet som symboliserar ett tillägg, scannat i PSL 2015-02-25. Bordet ska klippas ut för att kunna läggas till i andra scanningsprojekt.

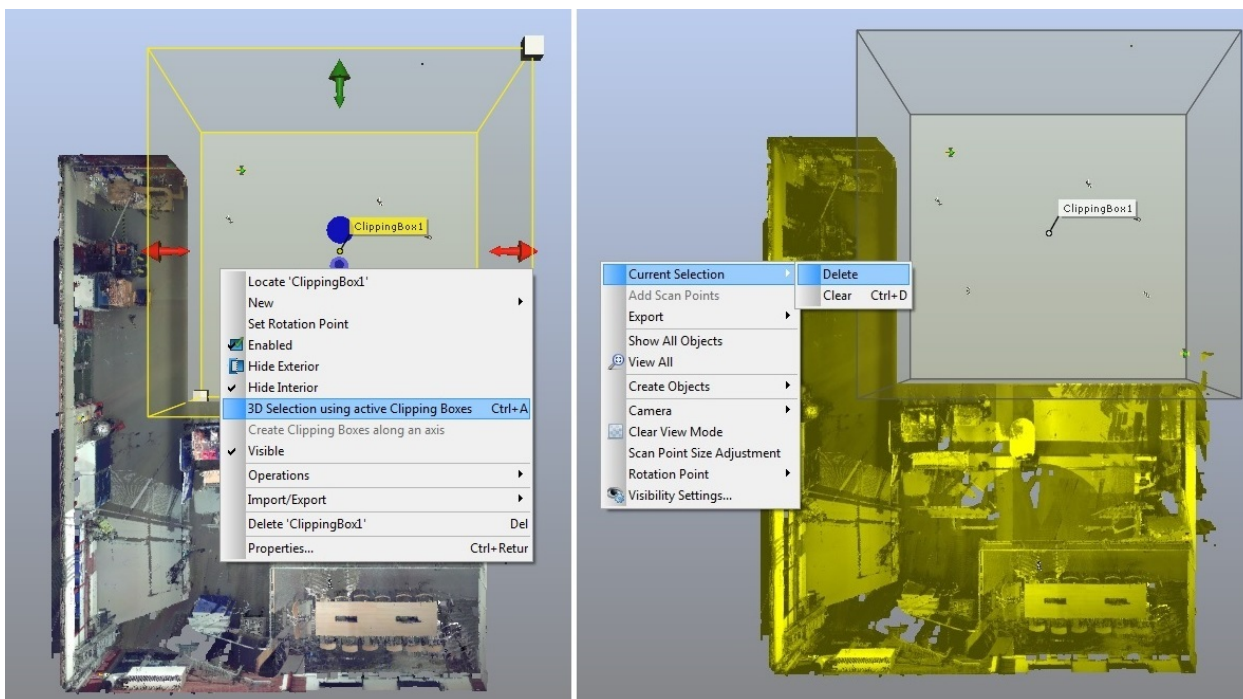


Figur 4.3: Oredigerat punktmoln innehållande tillägget med bordet, scannat 2015-02-25.

4.1.2 Radera det som inte är nytt

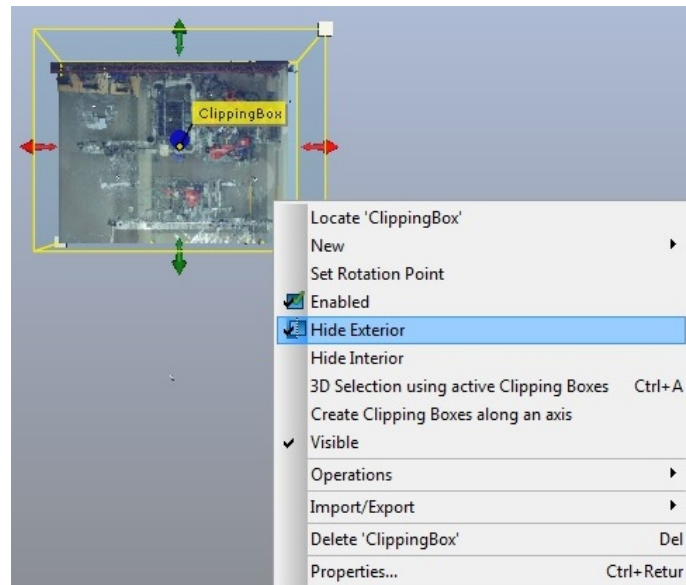
Informationen som inte är ny raderas eftersom endast en specifik del av punktmolnet har förändrats. I exemplen med ombyggnation och tillägg ska allt utom robotcellen respektive bordet raderas. Det utförs genom att använda "Clipping Boxes" och "Polygon Selector" i SCENE. "Clipping Boxes" används för att radera projektpunktmolns-punkter och "Polygon Selector" används för att radera resterande punkter.

I Figur 4.4 visas borttagning av allt i PSL, utom robotcellen, med "Clipping Boxes". För att radera området runt robotcellen väljs "Hide Interior" vilket innebär att endast det utanför "Clipping Boxen" är synligt. För att markera området väljs "3D Selection using active Clipping Boxes" och för att radera det markerade området används funktionen "Delete" under "Current Selection"-menyn.



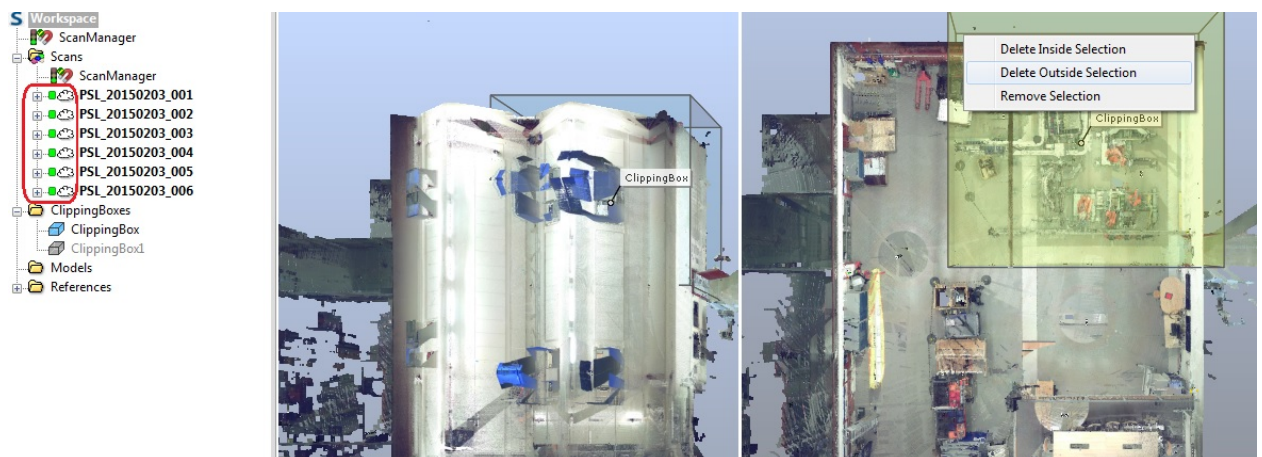
Figur 4.4: Användning av "Clipping Boxes" för att radera allt utom robotcellen.

I Figur 4.5 visas den utklippta uppdaterade robotcellen från PSL 2015-02-03. Eftersom "Clipping Boxen" är aktiverad måste "Hide Exterior" väljas för att den ska visas.



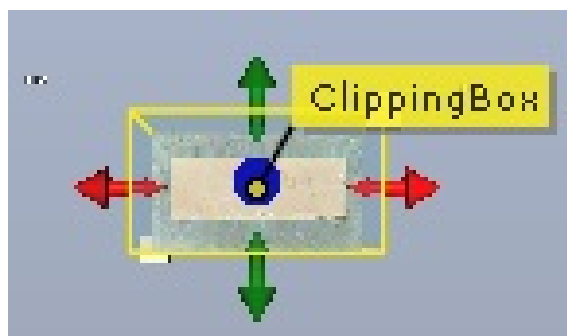
Figur 4.5: Utklippt robotcell PSL 2015-02-03 med hjälp av "Clipping Boxes".

När filter och liknande operationer används i ett projekt skapas en reducerad version av punktmolnet. Alla punkter existerar dock fortfarande och visas när de olika scannarna laddas. För att ladda en scanning väljs "Loaded" genom att högerklicka på respektive scanning. När scannarna är laddade visas en grön ruta till vänster om punktmolnet, se Figur 4.6 till vänster. Då scanningsdatan är laddad visas alla punkter enligt Figur 4.6 till vänster och således är den övriga informationen fortfarande kvar. För att radera de laddade punkterna används verktyget "Polygon Selector" enligt figur 4.6 till höger.



Figur 4.6: Till vänster, Robotcellen med laddad data. Till höger, radering av de laddade punkterna.

Arbetsgången för bortklippning i **tilläggs-** och **kompletteringsfallet** är identisk. Först används en "Clipping Box" för att ta bort projektpunktmolns-punkter, sedan används verktyget "Polygon Selector" för att radera den laddade datan.



Figur 4.7: Användning av "Clipping Boxes" för att klippa ut bordet.

4.1.3 Färdigt punktmoln av uppdateringen

När allt som inte är ny information är bortklippt är projektet klart och ska sparas. I Figur 4.8 visas den uppdaterade versionen av robotcellen inscannad 2015-02-03. Den används i ombyggnationsfallet då förändringar skett i robotcellen och scanningen från 2014-01-29 behöver därför uppdateras med den aktuella informationen.



Figur 4.8: Färdigt punktmoln med den uppdaterade robotcellen från PSL 2015-02-03.

I tilläggs-exemplet blir resultatet liknande med den enda skillnaden att endast bordet är kvar i punktmolnet.

4.1.4 Öppna projekt som ska uppdateras

Öppna projektet som innehåller punktmolnet som ska uppdateras. I det här fallet är det PSL 2014-01-29 som ska uppdateras. Eftersom två olika former av uppdatering existerar finns också två olika arbetsgångar vilka beskrivs i följande två avsnitt.

4.1.5 Tillägg

Tillägg används då något nytt ska adderas till punktmolnet. Bordet är utklippt och ska läggas till i projektet för att visualisera tillägget. Det utförs genom att välja "File", "Import" för att importera projektet innehållande endast bordet.

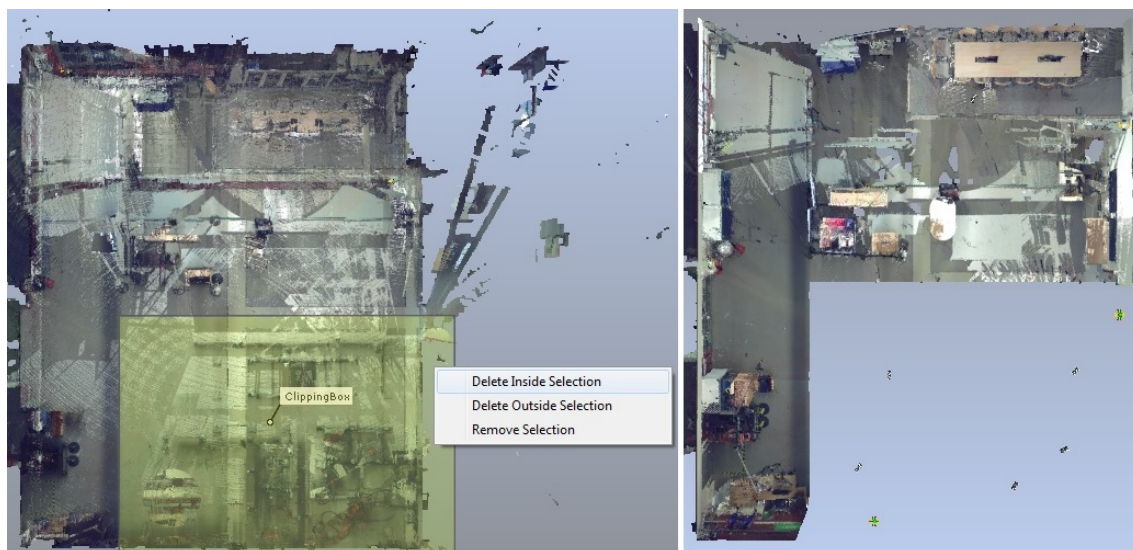
Eftersom bordet är inscannat i PSL med överensstämmande referenser och koordinatsystem som projektet kommer bordets position vara densamma som när det scannades in vid den andra tidpunkten. Bordet går att flytta runt i punktmolnet för att visualisera olika placeringar.

CAD-modell

För att kontrollera att tillägget får plats i miljön kan det vara lämpligt att först lägga in en CAD-modell med samma proportioner som tillägget. Om CAD-modellens proportioner passar in i punktmolnet kan beslut om att bygga tillägget tas. Vid tillägg av mer komplexa objekt är det troligen mer effektivt både med avseende på tid och noggrannhet att scanna in objektet direkt istället för att först göra en CAD-modell.

4.1.6 Ombyggnation

För att hålla punktmolnet uppdaterat vid ombyggnation klipps den inaktuella delen ut med hjälp av "Clipping Boxes" och "Polygon Selector" enligt Figur 4.9. Även här måste båda verktygen användas för att radera projektpunktmolns-punkter samt de laddade punkterna. Det uppdaterade punktmolnet importeras genom att välja "File", "Import" och projektet namn, i exemplet PSL 2015-02-03.



Figur 4.9: Till vänster, PSL 2014-01-29 med bortklippt robotcell med laddade punkter kvar. Till höger, PSL 2014-01-29 med bortklippt robotcell.

4.1.7 Placera tillägget

Placeringen sker genom att välja "Scans", "Operations", "Register" och till sist "Place Scans". Placeringen är referensbaserad då PSL har samma referenspunkter på de olika scanningarna som kombineras. För att genomföra en referensbaserad scanning välj alternativet "Target Based". Det går även att använda funktionen "Cloud to cloud" för att placera punktmolnen i relation till varandra. Funktionen kombinerar punktmolnen genom att söka upp gemensamma referenser och punkter.

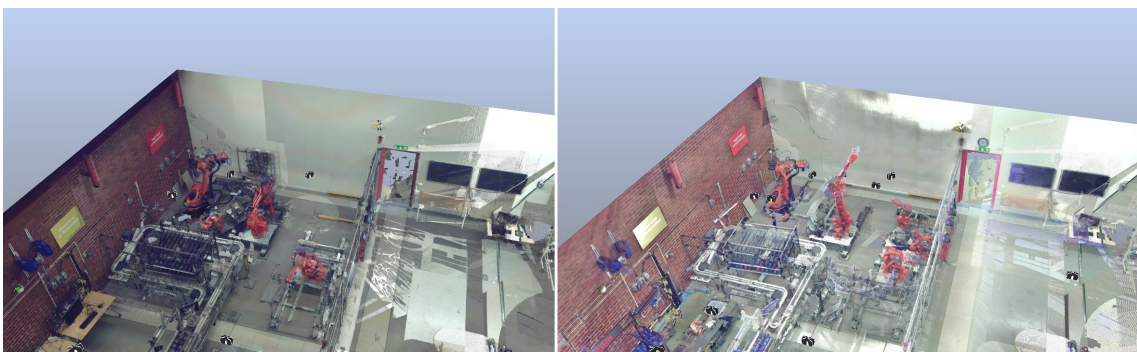
4.1.8 Färdigt projekt

Efter att ha följt de olika stegen ovan är projektet klart. Det kan vara bra att titta igenom punktmolnet för att kontrollera att allt ligger på rätt plats och att det ser bra ut. I Figur 4.10 visas resultatet av den stegvisa ombyggnationen. Robotcellen inscannad 2015-02-03 är kombinerad med PSL inscannat 2014-01-29.



Figur 4.10: Robotcell 2015-02-03 kombinerad med PSL 2014-01-29.

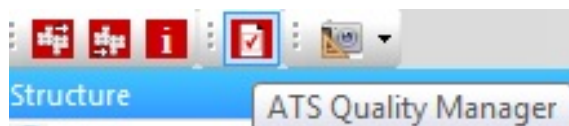
I Figur 4.11 visas PSL 2014-01-29 till vänster. Till höger visas kombineringen av de två punktmolnen från en annan vinkel. Det som har förändrats i robotcellen är bland annat att två robotar lagts till.



Figur 4.11: Till vänster, PSL 2014-01-29. Till höger, PSL 2014-01-29 kombinerad med den ombyggda robotcellen från 2015-02-03.

4.1.9 Kvalitetskontroll med Quality manager

För att kontrollera kvaliteten på projektet användes ATS applikation Quality Manager eftersom den ger en detaljerad sammanfattning över hur väl de olika scanningarna överensstämmer med varandra. Quality Manager startas genom att trycka på knappen "ATS Quality Manager", se Figur 4.12. En dialogruta med resultaten öppnas och det går att spara rapporten som en pdf (se appendix 1). Rapporten tar upp kvaliteten på de olika scanningarna och visar avvikelser och kvalitet mellan referenserna.

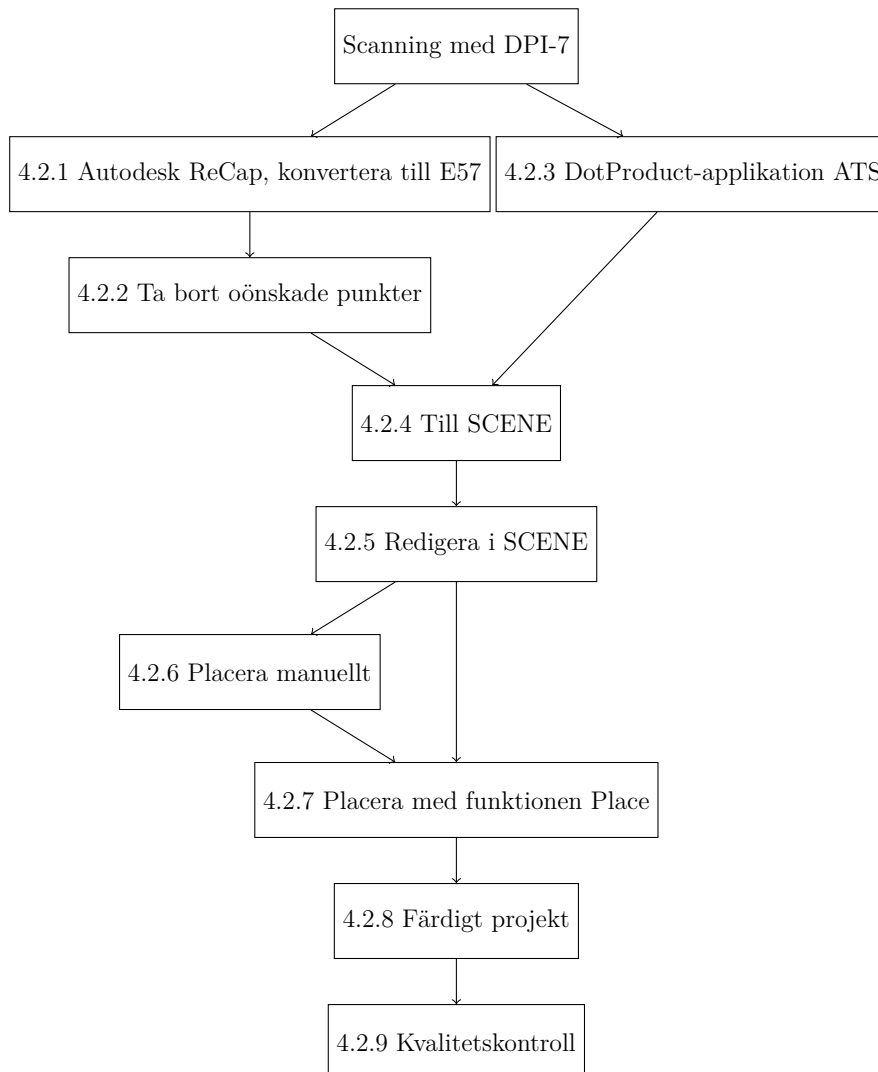


Figur 4.12: Knapp för att starta Quality Manager i SCENE.

Resultaten för ombyggnation och tillägg redovisas i avsnitt 5.2 respektive avsnitt 5.3.

4.2 Bearbetning i SCENE: DPI-7 tillägg och komplettering

Två sidor på en lastpall scannades med DPI-7 för komplettering och en robot i cellen scannades för att göra ett tillägg i produktionsmiljön. Båda två placerades sedan i ett tidigare punktmoln genererat med Focus^{3D}. Eftersom arbetsgången är densamma för båda två förklaras endast arbetet med lastpallen i det här avsnittet. I 4.13 syns arbetsmetodiken som tagits fram och används.



Figur 4.13: Den framtagna metodiken genom en empirisk undersökning för handscannern DPI-7.

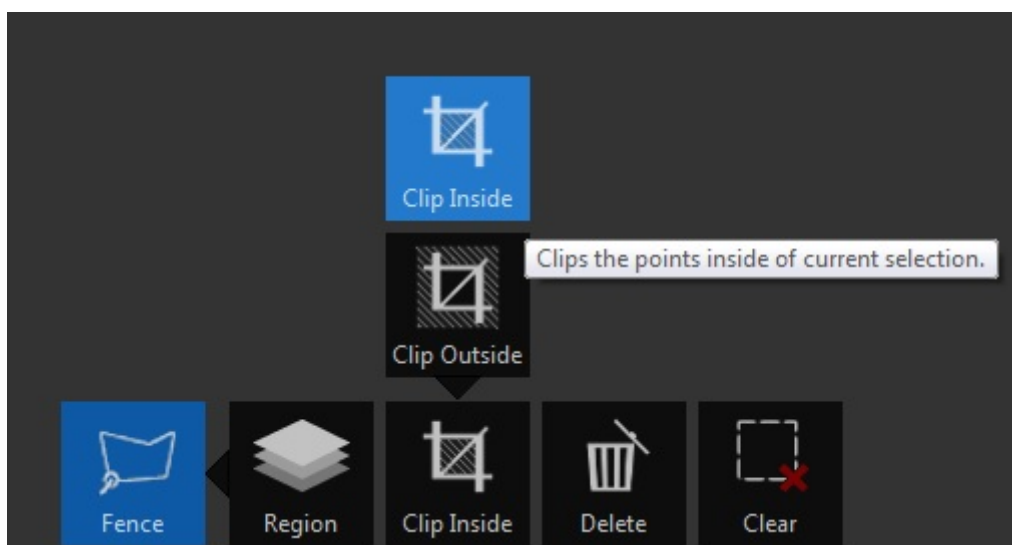
4.2.1 Konvertering med Autodesk ReCap

Det går inte att öppna filer direkt från DPI-7 i SCENE då filformaten som går att välja i DPI-7 inte är kompatibla med de filformat som går att välja i SCENE. Däremot går det att öppna filerna i ReCap. I ReCap går det sedan att spara punktmolnet i det generella filformatet e57 som SCENE också kan behandla.

4.2.2 Radera oönskade punkter

I ReCap finns det möjlighet att radera oönskade punkter. Därför raderas punkter som inte ska användas när filen är inne i ReCap innan byte av format.

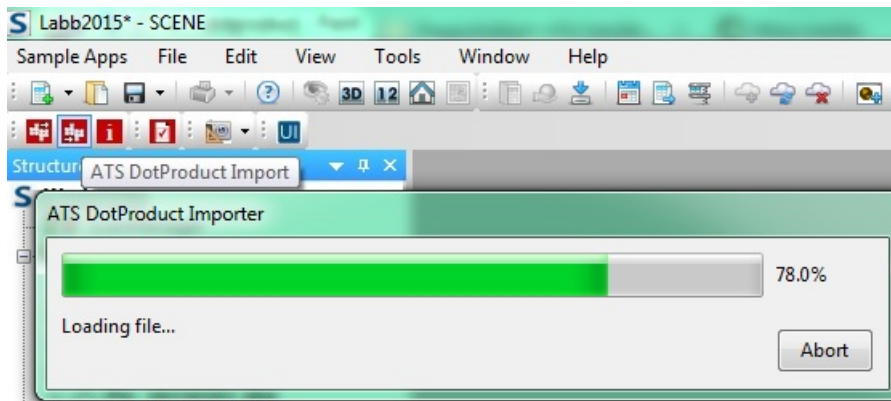
I Figur 4.14 visas verktygen som används för punktmolnsredigering i ReCap. Funktionen "Fence" (längst till vänster) används för att markera oönskade punkter innan "Clip Inside" används för att ta bort de som tidigare markerats. Ovanstående upprepas sedan tills endast de punkter som är önskvärda finns kvar.



Figur 4.14: Punktredigeringsverktyg i SCENE.

4.2.3 ATS DotProduct applikation

ATS applikation för att importera filer med DotProducts filformat i SCENE gör att det går att öppna filerna från DPI-7 direkt i SCENE. Stegen som beskrivs i 4.2.1 och 4.2.2 går därför helt att utelämna om applikationen finns att tillgå. Användning av applikationen kan ses i Figur 4.15.



Figur 4.15: ATS DotProduct-applikation.

4.2.4 Till SCENE

Om ATS-applikation för att importera DotProduct-filer (se avsnitt 4.2.3) har använts finns redan scanningen inlagd i SCENE i det här steget. Har ReCap använts för att spara i e57 format behöver dock filen nu importeras. För att få in filen från ReCap till SCENE så väljs "File" och sedan "Import". Då öppnas en dialogruta där det går att leta upp och välja filen som ska importeras. Ett varningsmeddelande om att alla vyer i SCENE inte är tillgängliga dyker upp på skärmen, men då ingen av de vyer som finns listade i varningsmeddelandet kommer att användas i den här metodiken kan meddelandet ignoreras.

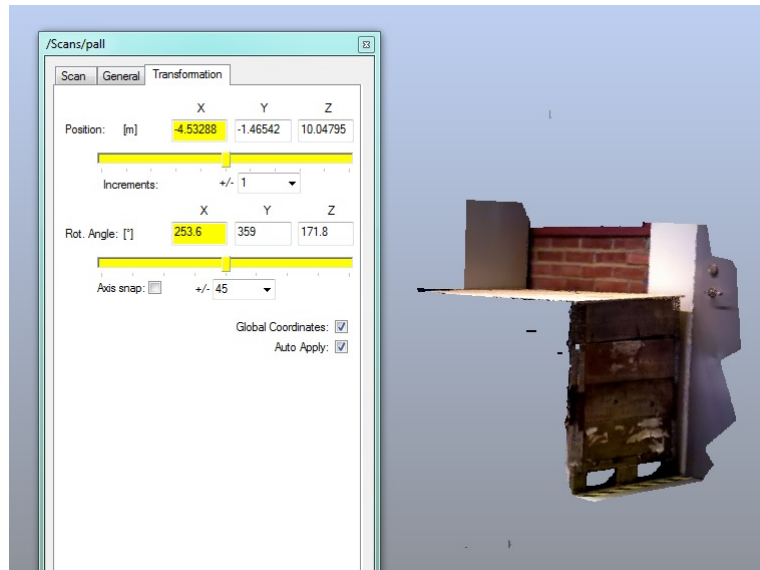
4.2.5 Redigera i SCENE

När filen är inne i SCENE behövs vissa punkter redigeras bort i de fall då det inte redan gjorts i ReCap. Verktygen som beskrivs i bilaga B.8 används här, en blandning av verktygen används för att få bort alla överblivna punkter.

4.2.6 Placera manuellt

Nu är filen från DPI-7 inlagd i SCENE och de oönskade punkterna har tagits bort. Det återstår att placera scanningen så att den hamnar på på rätt ställe i det befintliga punktmolnet. Dialogrutan i Figur 4.16 öppnas genom att högerklicka på scanningen i fillistan till vänster i SCENE och välja "Properties" för att sedan välja fliken "Transformation". Scanningen flyttades dels genom att först välja vilken placering i x-,y- eller z-led som skulle ändras och sedan dra i de gula "listerna" men också genom att mata in de önskade x-,y- och z-koordinaterna som värden.

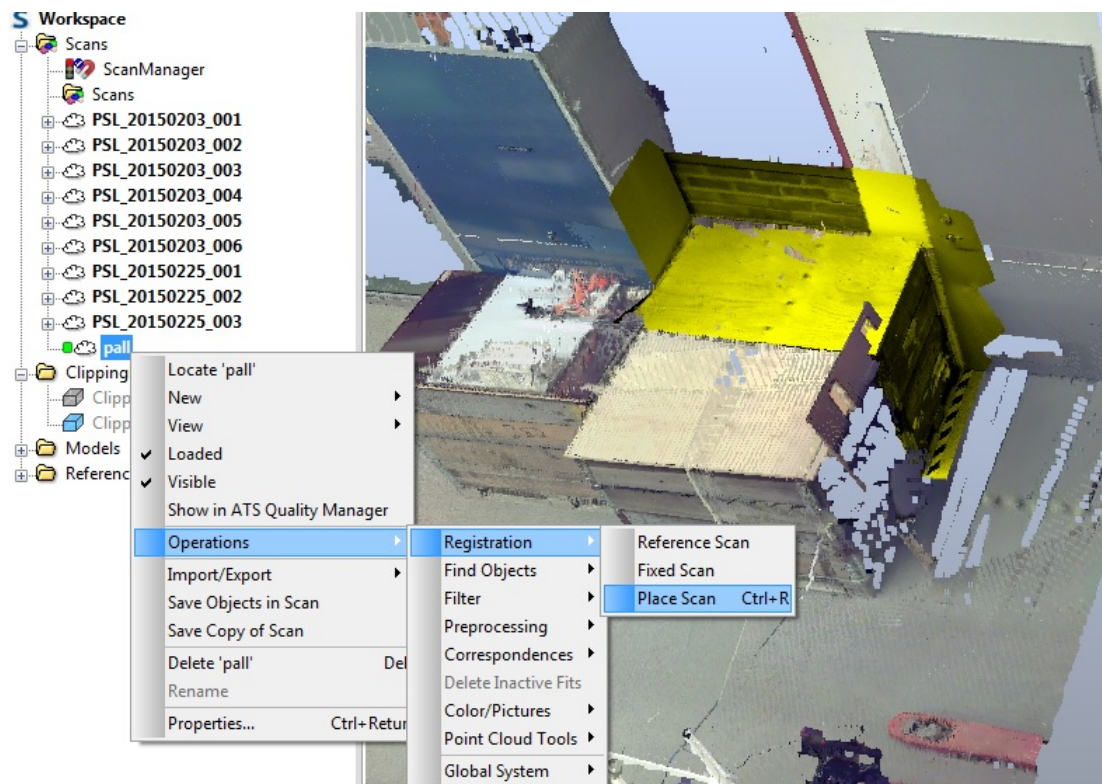
4. Beskrivning av framtagna metodiker



Figur 4.16: Här visas pallen som laddats in till SCENE och dialogrutan som används för att flytta den manuellt.

4.2.7 Placera med funktionen Place

När punktmolnet är tillräckligt nära pallen så används SCENE:s funktion "Place" för att lägga den ytterligare lite bättre. "Place" väljs genom att följa Figur 4.17, därefter väljs "Cloud to Cloud" som placeringsätt i dialogrutan som öppnas.



Figur 4.17: Funktionen för att placera pallen automatiskt.

4.2.8 Färdigt projekt

Alla steg för att komplettera punktmolnet med DPI-7 är nu klara. Resultatet med före- och efterbilder syns i Figur 4.18. Notera att det bara är lastpallen längst in som har scannats med DPI-7 och uppdaterats.



Figur 4.18: Innan (till vänster) och efter (till höger) den kompletterande scanning.

4.2.9 Kvalitetskontroll

Då handscannern inte använder sig av referenser kan inte Quality Manager användas med lastpallen. Däremot kan avvikelser i "Cloud to cloud" placeringen ses med hjälp av den inbyggda funktionen "ScanFit" i SCENE.

4. Beskrivning av framtagna metodiker

5

Utvärdering av metodikernas resultat

Genom att följa analyssteget i metodavsnitt 3.2.4 togs tider och kvalitetsmått fram. Tiderna redovisas i tabeller för att visa hur lång tid en hel metodik tog. Noggrannheten presenteras i en kvalitetsrapport som applikationen Quality Manager har genererat. De framtagna metodikernas resultat jämförs till sist i avsnitt 5.5.

5.1 Komplet scanning med Focus^{3D}

I avsnittet nedan redovisas resultaten från projektets fullständiga scanning av PSL 2015-02-03. Även ett bearbetningsresultat från en fullständig scanning av PSL presenteras som genomfördes av institutionen för Produkt- och produktionsutveckling 2014-01-29.

5.1.1 Tider

I Tabell 5.1 och 5.2 visas bearbetningstiderna för respektive operation. Tabellerna visar samma arbetsprocess genomförd två gånger med olika scanningsdata och båda följer arbetsgången som visas i Kapitel 3 (Figur 3.4).

Tabell 5.1: Tidsresultat, bearbetning PSL 2014-01-29.

Operation	Tid
Projekt PSL 2014-01-29	hh:mm:ss
Skapa nytt projekt PSL 2014 Lägg in koordinater Preprocessing	00:10:22
Kontrollera referenspunkter Referenspunkternas noggrannhet	00:05:25
Skapa projekt-punktmoln Applicera färger och bilder Ta bort oönskade punkter	00:12:53
Kvalitetskontroll	00:04:00
Total tid PSL 2014-01-29	00:32:40

Den totala bearbetningstiden för scanningen 2014-01-29 kan ses längst ner i tabellen ovan.

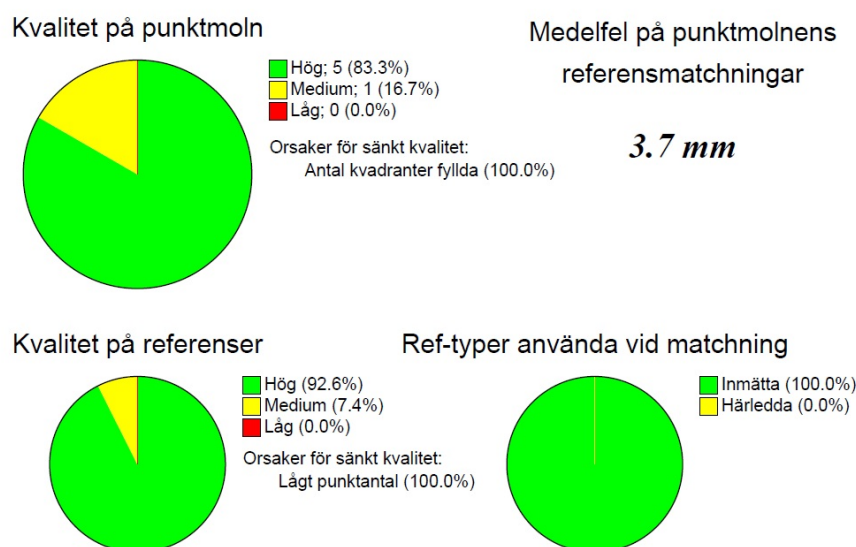
Tabell 5.2: Tidsresultat, bearbetning PSL 2015-02-03.

Operation	Tid
Projekt PSL 2015-02-03	hh:mm:ss
Skapa nytt projekt PSL 2015	
Lägg in koordinater	00:09:06
Preprocessing	
Kontrollera referenspunkter	
Referenspunkternas noggrannhet	00:03:45
Applicera färger och bilder	
Skapa projekt-punktmoln	00:10:46
Ta bort oönskade punkter	
Kvalitetskontroll	00:04:00
Total tid PSL 2015-02-03	00:27:37

Den totala bearbetningstiden för scanningen 2015-02-03 kan ses i tabellen ovan. Trots att operationerna är identiska kan en tidsvariation observeras. Tidsvariationen beror bland annat på om färger och bilder appliceras före eller efter skapandet av projektpunktmolnet.

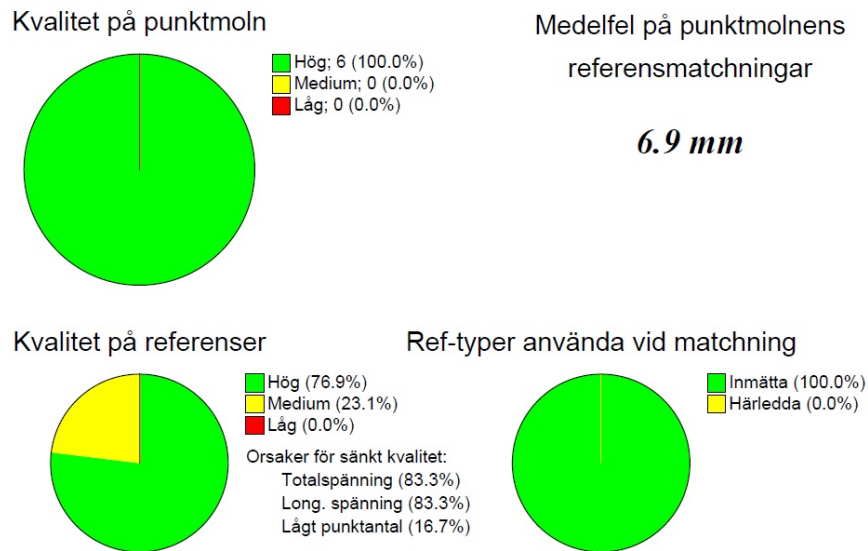
5.1.2 Kvalitet

Kvalitetsresultatet av den fullständiga scanningen som utfördes i PSL 2014-01-29 redovisas i Figur 5.1. Medelfelet på punktmolnets referensmatchningar var 3,7 mm. Ett punktmoln var av medium kvalitet.



Figur 5.1: Kvalitetsresultat från ATS Quality Manger, scanning PSL 2014-01-29.

Kvalitetsresultatet av den fullständiga scanningen som utfördes i PSL 2015-02-03 redovisas i Figur 5.2. Medelfelet på punktmolnets referensmatchningar var 6,9 mm, alla punktmoln var av hög kvalitet. En referens var av medium kvalitet.



Figur 5.2: Kvalitetsresultat från ATS Quality Manger, scanning PSL 2015-02-03.

Medelfelet på referensmatchningarna var alltså 53,6 % bättre i PSL 2014-01-29. Punktmolnet var dock av något sämre kvalitet medan kvaliteten på referenserna var bättre.

5.2 Ombyggnation med Focus^{3D}

I avsnittet nedan redovisas resultaten från uppdateringen av PSL:s punktmoln med den nyare robotcellen. Båda scanningarna utfördes med Focus^{3D}.

5.2.1 Tider

Bearbetningstiden för en ombyggnation i SCENE presenteras i Tabell 5.3.

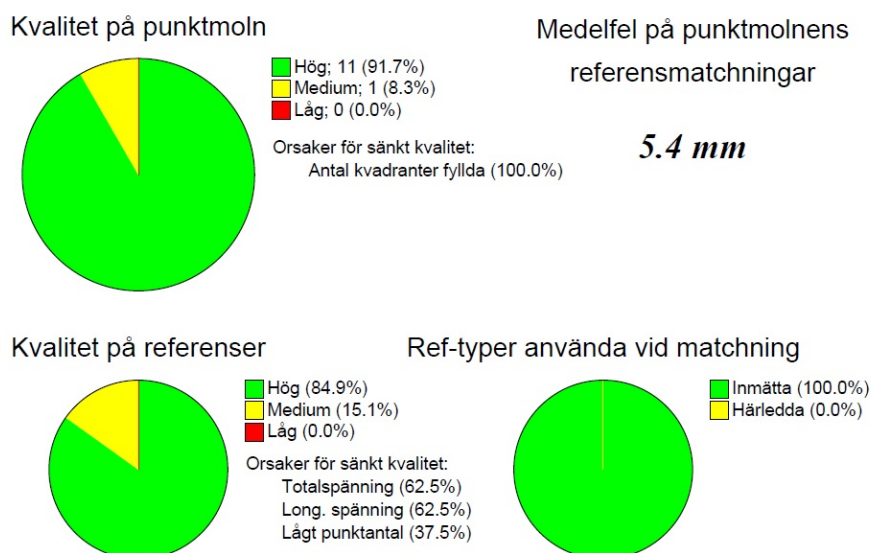
Tabell 5.3: Tidsresultat, uppdatering av robotcell PSL.

Operation	Tid
<i>Uppdatering av Robotcell PSL 2014-01-29 uppdateras med robotcell från PSL 2015-02-03</i>	hh:mm:ss
Projekt i SCENE PSL 2015-02-03 enligt 5.2	00:27:37
Klipp ut cell i PSL 2015-02-03	00:18:35
Ta bort cell i PSL 2014-01-29	00:12:22
Importerera uppdatering Place, target based	00:10:19
Kvalitetskontroll	00:05:00
Total tid uppdatering	01:13:53

För en mer ingående beskrivning om vad varje steg i tabellen innebär, se Figur 4.1 vilken visar arbetsmetodiken som följdes.

5.2.2 Kvalitet

I Figur 5.3 redovisas de kvalitetsmått som genereras av Quality Manager. Rapporten visar att medelfelet på punktmolnets referensmatchningar var 5,4 mm. Ett av punktmolnen är av medium kvalitet. 84,9 % av referenserna är av hög kvalitet och 15,1 % är av medium kvalitet.



Figur 5.3: Kvalitetsresultat från ATS Quality Manger. Resultat med PSL 2014-01-29 kombinerat med robotcell från PSL 2015-02-03.

Kvalitetsrapporten innehåller dubbelt så många punktmoln jämfört med Figur 5.2 och Figur 5.1 då det är en sammanfogning av de två projektens scannningar.

5.3 Tillägg och komplettering med Focus^{3D}

I avsnittet nedan redovisas resultaten från tillägget av bordet i PSL som scannades in 2015-02-25. Med tillägg avses det punktmoln av bordet som lades till i ett fullständigt punktmoln av PSL inscannat 2015-02-03. Vidare redovisas resultatet av en komplettering med Focus^{3D} av en vägg där punkter saknades från PSL 2014-01-29.

5.3.1 Tider

Tiderna i Tabell 5.4 visar bearbetningstiden för ett tillägg i SCENE med data genererad från Focus^{3D}.

Tabell 5.4: Tidsresultat, tillägg med Focus^{3D}.

Operation	Tid
<i>Tillägg med användning av CAD-modell</i>	hh:mm:ss
Projekt i SCENE PSL 2015-02-25, cirka tid enligt 5.2	00:27:37
Klippa ut delen som ska användas	00:15:52
Öppna PSL 2015-02-03 där bordet ska läggas till	00:04:42
Lägga in CAD-modell för att kontrollera proportioner och passform	
Importera delen som ska läggas till	00:12:53
Placering	
Kvalitetskontroll	00:04:00
Total tid utan användning av CAD-modell	00:56:22
Total tid	01:05:04

En mer detaljrik förklaring av vad varje steg i tabellen innebär återfinns i Figur 4.1. Nedan redovisas tiderna för en komplettering i Tabell 5.5.

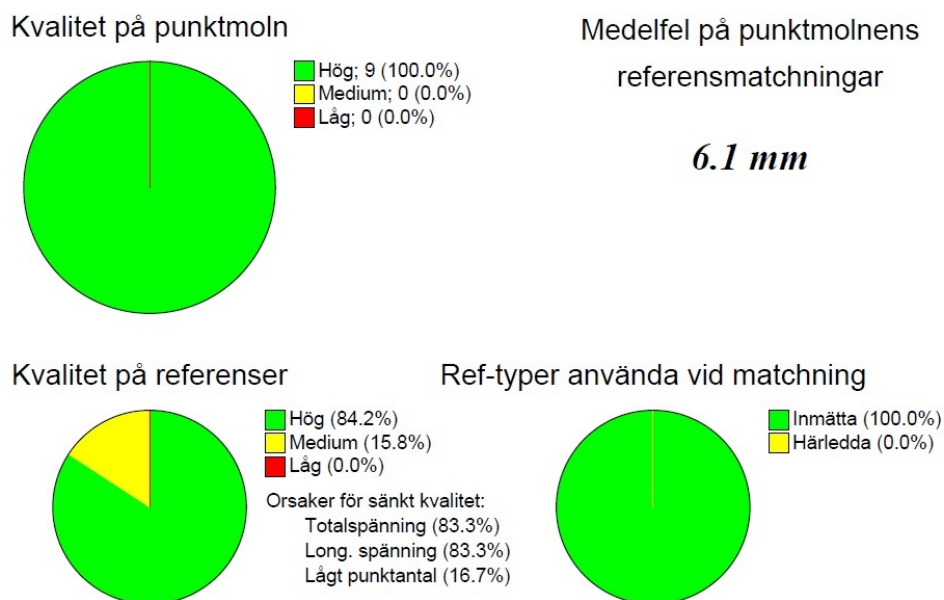
Tabell 5.5: Tidsresultat, komplettering med Focus^{3D}.

Operation	Tid
<i>Komplettering av missad data med Focus^{3D}</i>	hh:mm:ss
Projekt i SCENE PSL 2015-02-03 enligt 5.2	00:27:37
Klipp ut det som ska kompletteras i PSL 2015-02-03	00:11:24
Radera området där punkter saknas i PSL 2014-01-29	00:08:14
Importera uppdatering	00:08:51
Place, target based	
Kvalitetskontroll	00:05:00
Total tid komplettering	01:01:06

Att scanna ett tillägg i form av ett bord och att göra komplettering på en vägg i PSL tog alltså ungefär lika lång tid.

5.3.2 Kvalitet

I Figur 5.4 redovisas de kvalitetsmått som genereras av Quality Manager för tillägg med Focus^{3D}. Kvalitetsrapporten visar att medelfelet på punktmolnets referensmatchningar var 6,1 mm. Kvaliteten på punktmolnen är hög. 84,2 % av referenserna är av hög kvalitet och 15,8 % är av medium kvalitet.



Figur 5.4: Kvalitetsresultat från ATS Quality Manger. Resultat med inscannat bord PSL 2015-02-25 kombinerat med PSL 2015-02-03.

Kvalitetsrapporten innehåller totalt nio punktmoln, tre från PSL 2015-02-25 och sex från PSL 2015-02-03. Kvaliteten för komplettering av väggen överensstämmer med kvalitetsrapporten i Figur 5.3 då det är samma punktmoln som kombineras vid fallet av ombyggnationen.

5.4 Tillägg och komplettering med DPI-7

Nedan följer resultatet för arbetet med DPI-7. Resultatet presenteras i form av tiden det har tagit att utföra metodikerna för DPI-7 i SCENE och vilken kvalitet som uppnåtts. Med tillägg avses här en robot som skulle läggas till i det existerande punktmolnet av PSL från 2015-02-03. Kompletteringen bestod av en lastpalls punktmoln som scanningen från 2015-02-03 med Focus^{3D} hade missat.

5.4.1 Tider

Tiderna i Tabell 5.6 har mätts upp för den inscannade lastpallen. Tabellens steg förklaras i avsnitt 4.2. Totalt tog operationen 12 minuter och 48 sekunder, från det att filerna var överförda till datorn.

Tabell 5.6: Tiden det tog att uppdatera lådan med DPI-7.

Operation	Tid
<i>Komplettera punktmoln med handscannad data från DPI-7</i>	hh:mm:ss
Importera till SCENE med ATS DotProduct-applikation	00:00:40
Redigera i SCENE	00:02:30
Placera	00:06:38
Kvalitetskontroll	00:03:00
Total tid	00:12:48

Tiderna i Tabell 5.7 har mätts upp för den inscannade roboten. Arbetet med roboten följer samma arbetsgång som lastpallen. Totalt tog det 12 minuter och 31 sekunder att göra, från att filerna var överförda till datorn.

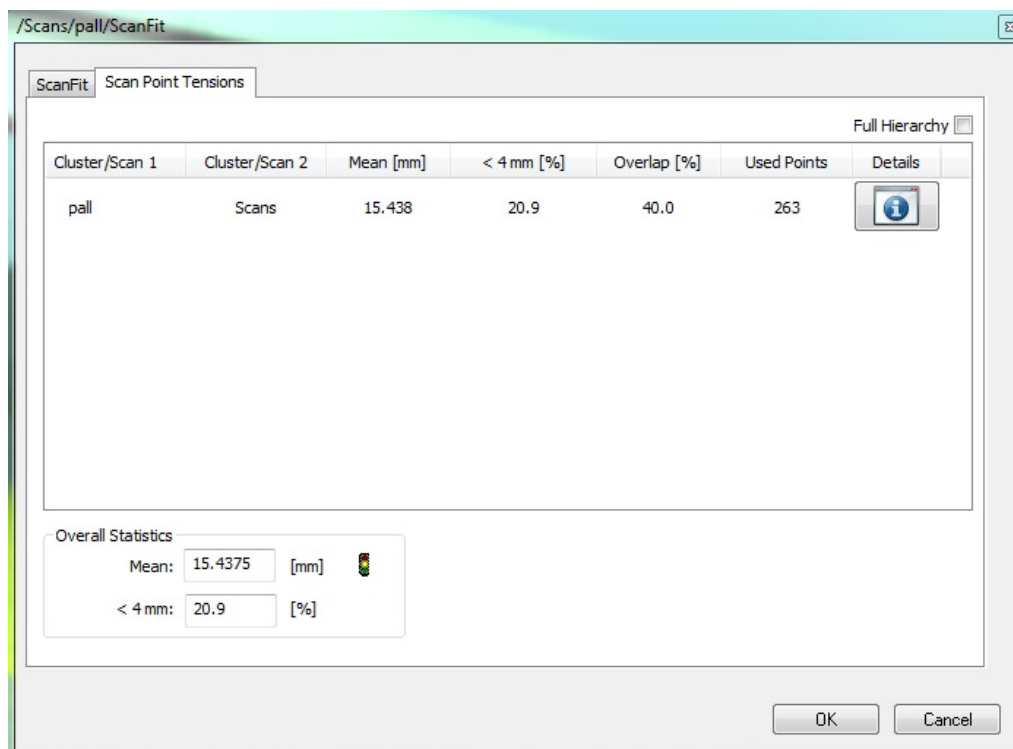
Tabell 5.7: Tiden det tog att göra ett tillägg av en inscannad robot med DPI-7.

Operation	Tid
<i>Tillägg av robot med användning av DPI-7</i>	hh:mm:ss
Importera till SCENE med ATS DotProduct-applikation	00:00:40
Redigera i SCENE	00:03:30
Placera	00:05:21
Kvalitetskontroll	00:03:00
Total tid	00:12:31

Det skiljer 17 sekunder mellan tiden det tog att komplettera lastpallen och tiden för att lägga till roboten. Det som skiljer de båda metodikerna är att den automatiska funktionen "Place" inte kan användas för roboten, då den inte har några gemensamma punkter med punktmolnet den placeras i.

5.4.2 Kvalitet

I Figur 5.5 visas SCENE:s inbyggda funktion ”ScanFit” som visar hur väl placerad lastpallen är efter att ”Place”-algoritmen med algoritmtyp ”Cloud to cloud” är genomförd. I det här fallet är lastpallen importerad via ReCap. Från figuren kan det konstateras att funktionen använt sig av 263 punkter. 20,9 % av punkterna hade en avvikelse på mindre än 4 mm men 15,5 mm är dock medelavvikelsen.



Figur 5.5: Avvikelser för lastpallen efter placering med ”Cloud to cloud”.

Det går inte ta fram något kvalitetsmått på hur bra tillägget med roboten blir då de två punktmolnen inte har några gemensamma punkter.

5.5 Jämförelse av resultat

Genom att jämföra de olika resultaten med hänsyn till tid och noggrannhet kan slutsatser om vilken metodik som passar bäst till vilken typ av uppdatering dras. I Tabell 5.8 visas de olika fall som har utförts i projektet. De bearbetningstyper som enligt litteraturstudierna är mindre lämpliga har markerats med ett kryss och därför inte utförts.

Tabell 5.8: Möjliga fall i PSL.

Bearbetning	Focus ^{3D}	DPI-7
Komplett	✓	x
Ombyggnation	✓	x
Tillägg	✓	✓
Komplettering	✓	✓

Endast Focus^{3D} kan användas för komplett scanning och scanning av ombyggnation av PSL vilket medför att det inte finns några metodiker att jämföra i de fallen. De andra två fallen presenteras i Tabell 5.9. Där återfinns den metodik som har minst avvikelse respektive kortast tid i de fall då det är möjligt att använda både DPI-7 och Focus^{3D}.

Tabell 5.9: Jämförelse av noggrannhet och tid vid tillägg och komplettering .

Jämförelse	Noggrannhet	Tid
Tillägg	Focus ^{3D}	DPI-7
Komplettering	Focus ^{3D}	DPI-7

Lägst medelkvalitet har tillägg och komplettering med DPI-7, där medel ligger på 15,4 mm för lastpallen. Motsvarande tal för Focus^{3D} är 6,1 mm respektive 5,4 mm. Tiden det tar vid bearbetning av komplettering och tillägg med DPI-7 är 12 minuter och 38 sekunder respektive 12 minuter och 10 sekunder. Med Focus^{3D} tar samma operationer 65 minuter och 4 sekunder respektive 61 minuter och 6 sekunder. Det är alltså en noggrannhetsskillnad på cirka 10 mm och en tidsskillnad på cirka 50 minuter mellan metodikerna.

6

Diskussion

I kapitlet diskuteras tid- och kvalitetsvariationer från resultat och metod. Avslutningsvis diskuteras möjligheten att applicera metodikerna i andra miljöer.

6.1 Tidsvariationer i resultat

Det är viktigt att nämna att tiderna som presenteras i resultatet kan variera beroende på användare och omständigheter. Omständigheterna inkluderar storlek på miljön som ska scannas och scannern som används.

6.1.1 Tidsvariation relaterat till mjukvara

Tidigare erfarenhet med mjukvaran har en stor påverkan på arbetstakten och mycket tid kan behöva läggas på användning av SCENE om användaren önskar erhålla det redovisade resultatet. I Tabell 5.1 återfinns punkten ”Radera oönskade punkter” vars tid varierar stort beroende på miljö; oönskade punkter kan betyda allt från bråte i produktionssystemet till människor som kommit med i scanningen.

En minst lika viktig aspekt är datorn som används för att köra mjukvaran. I metodikerna finns vissa punkter (exempelvis ”Creating Project Point Cloud”) som tar många minuter. Den långa tiden är inte på grund av steg som användaren behöver utföra utan det är istället datorn som behöver tid att arbeta. Tiderna i resultatet kan alltså variera från fall till fall då de är beroende av hårdvaran i datorn. Datorns specifikationer som projektet använde kan ses i avsnitt 3.1. Om projektet ska återskapas kommer en starkare dator kunna minska tiden.

6.1.2 Tidsvariation på grund av hårdvara

Scanningstiden för Focus^{3D} varierar beroende på scanningsinställningarna. I projektet har scannern ställts in på en relativt hög nivå med avseende på avstånden i PSL och en önskan om hög noggrannhet. Tid lades aldrig ned på att scanna med lägre kvalitet då den stora tidsskillnaden berodde på bearbetningstiden i SCENE för Focus^{3D} jämfört med DPI-7. Därför kommer DPI-7 alltid vara snabbare i tillägg och komplettering (se Tabell 5.9) oavsett hur snabb scanningen med Focus^{3D} är.

Inställningarna som valdes medförde att det tog cirka sju minuter för varje scanning med Focus^{3D}. Följaktligen tog det första scanningstillfället av hela labbet, som nämns i avsnitt 3.4.2, cirka 50 minuter att utföra. Det andra tillfället, som nämns i avsnitt 3.4.3, krävde inte lika många scanningspositioner och tog därför cirka 40 minuter. Scanningstiden varierar alltså beroende på storleken av objektet som scannas.

DotProduct DPI-7 har som nämnts i 2.3.1 en uppvärmningstid som varierar beroende på när den senast användes. Enligt manualen tar det som längst 17-20 minuter för att värma upp scannern [14]. Hur lång tid det tar att scanna något beror helt på föremålets storlek, men görs inga misstag tar det cirka tre till fem minuter att scanna ett objekt lika stort som en standard lastpall.

6.2 DPI-7

Då DPI-7 inte använder sig av några referenser måste SCENE passa in datan genom att matcha punktmolnen mot varandra. Således kan exaktheten på punktmolnet sjunka. I avsnitt 5.4.2 redovisas kvaliteten för lastpallen som lagts in i projektet. Lastpallen hade en standardavvikelse på 15,5 mm vilket är mycket jämfört med standardavvikelsen för FARO Focus^{3D} (cirka 6,9 mm). Tilläggsscanning i resultatet kunde inte generera någon noggrannhet eftersom SCENE inte kan placera objekt då gemensamma punkter saknas. Placeringen av punktmolnet kan dock bli noggrannare om en del oförändrad data scannas i samband med tilläggsscanningen. Punktmolnet skulle då innehålla både tillägget och oförändrade punkter vilket medför att "Place"-funktionen skulle kunna användas då punktmolnen har gemensam data.

Resultatet av kompletteringen av lastpallen som syns i Figur 4.18 blev bra visuellt då ingen klar avvikelse går att se. Det går däremot att se kontrastskillnader mellan de olika punktmolnen. Skillnaden kan bero på ljuset i lokalen (om solen skiner eller inte eller om det är samma lampor som sist), men det har också att göra med att olika scannrar har olika kvalitet och använder sig av olika tekniker. Således går det inte att undvika kontrastskillnader helt.

6.3 Focus^{3D}

FARO Focus^{3D} fungerar väl vid scanningen av ett helt system. Tid krävs för att sätta upp referenspunkter som syns i hela miljön och för att utföra själva scanningen. Med många referenspunkter blir exaktheten på punktmolnet väldigt hög vilket är eftertraktat. Focus^{3D} fungerar också mycket väl vid uppdateringen av punktmoln då samma referenspunkter kan användas (så länge de finns kvar efter ombyggnation). Dock blir det mer arbete i SCENE när ett tillägg eller en komplettering av punktmolnet ska genomföras jämfört med DPI-7. Komplettering är inte särskilt tidseffektivt med Focus^{3D} då det tar tid att sätta upp alla referenspunkter bara för att till exempel scanna en liten del av en vägg. Vissa delar kan Focus^{3D} inte ens komplettera då den inte får plats i mindre utrymmen.

6.4 Andra miljöer

Som tidigare nämnts i avgränsningar (avsnitt 1.4) fokuserar projektet på PSL. Det är ändå intressant att diskutera om arbetsmetoden som skapades i Kapitel 3 kan användas i andra miljöer. I en personlig intervju med Rolf Berlin på ATS togs problemen med andra miljöer upp och om det på något sätt går att planera inför dem. Han ansåg att det inte går att göra en generell planering för alla miljöer utan att det bör bestämmas från fall till fall. Problem som var referenspunkterna ska sitta, de ovannämnda tidsvariationerna, hur stor en scanning behöver vara samt komplexiteten på det som ska scannas är alltså något som måste bestämmas för varje specifik miljö. Eftersom den framtagna arbetsmetoden omfattar generella frågor som är gemensamma för i princip alla scanningsprojekt bör den kunna användas i andra miljöer. Viss komplettering kan dock behövas.

I resultatet under avsnitt 5.5 i Tabell 5.8 framgår att DPI-7 inte har använts vid den fullständiga scanningen och ombyggnationen av PSL. DPI-7 har nämligen en maximal storleksgräns för scanningar. När det gäller andra miljöer kan det därför vara värt att nämna att DPI-7 skulle kunna användas för en komplett scanning eller ombyggnation om ytan är mindre än PSL.

6.4.1 Nyttan med metodikerna

Huruvida de framtagna metodikerna kan nyttjas i andra produktionsmiljöer är en intressant aspekt. Förutsatt att SCENE och fasta referenspositioner används bör de framtagna metodikerna kunna utnyttjas i de flesta projekt som involverar stegvis uppdatering av punktmoln.

Vad blir tidsvinsten av att använda metodikerna? En jämförelse mellan att använda de framtagna metodikerna kontra att scanna om den uppdaterade miljön igen leder till följande: Resultatet talar egentligen emot att det skulle spara tid. Att bearbeta ett komplett punktmoln (från Focus^{3D}) tar enligt resultatet i Tabell 5.1 cirka 32 minuter. Bearbetning av en uppdatering kan ta dubbelt så lång tid (Tabell 5.3).

Resultatet är problematiskt eftersom scanningstiderna inte presenteras. Scanningen av hela PSL (188 m²) tog cirka 50 minuter medan scanningen av en ombyggnation tog cirka 40 minuter. Totalt tog den fullständiga scanningen med bearbetning cirka 82 minuter medan ombyggnationsscanningen med bearbetning tog cirka 110 minuter. Att den framtagna metodiken tog längre tid än den fullständiga scanningen med bearbetning innebär dock inte att resultaten är oanvändbara, då ett produktionssystem i industrin ofta är betydligt större än PSL.

I ett teoretiskt produktionssystem skulle scanningen av en fem gånger så stor miljö ta cirka $50 * 5 = 250$ minuter. Tiden för bearbetning skulle också öka något, men för enkelhetens skull är den i exemplet samma vilket leder till att den sammanlagda tiden för en fullständig scanning av miljön med bearbetning tar cirka 280 minuter. Om det som behöver uppdateras är i storleksordning med robotcellen blir scannings-

tiden cirka 40 minuter och bearbetningstiden cirka 70 minuter. Den sammanlagda tiden, 110 minuter, är mer än en halvering av tiden jämfört med att scanna hela produktionsmiljön. Exemplet med större miljöer illustrerar hur projektets framtagna metodiker kan spara betydande tid.

Med DPI-7 går det direkt att se en uppenbar förbättring i tid. Enligt Tabell 5.6 tar bearbetningen av en komplettering endast 12 minuter och inklusive scanning med förberedelser cirka 27 minuter. Punktmolnets precision försämras dock med cirka 10 mm. På grund av den korta bearbetningstiden är det alltid snabbare än att scanna om hela systemet.

7

Slutsats

Resultatet visar att projektets syfte och mål har uppfyllts då flera metodiker som fungerar för PSL och liknande miljöer har skapats. Genom att följa metodikerna går det att skapa ett punktmoln av ett produktionssystem och uppdatera punktmolnet när produktionssystemet förändras istället för att behöva scanna hela miljön på nytt.

7.1 Besvarade frågeställningar

Av resultatet framgår att en kombination av Focus^{3D} och DPI-7 tillsammans med SCENE är att föredra då det ger en ökad flexibilitet och minskad tidsåtgång. Att använda hårdvara och mjukvara från samma företag, Focus^{3D} och SCENE i det här fallet, tar bort eventuella kompatibilitetsproblem. SCENE fungerar dessutom väl med DPI-7 vilket styrker valet av mjukvara. Focus^{3D} kan användas i alla fall av produktionsförändringar med bra kvalitetsresultat. DPI-7 är ett bra komplement där Focus^{3D} inte kommer åt och kan användas i de fall noggrannheten är mindre viktig för att spara tid.

De två produktionsförändringar som har undersökts i projektet är: Ombyggnation och tillägg. Resultaten visar att Focus^{3D} är den enda scanner som kan användas vid ombyggnation. I tilläggsfallet kan båda scannrarna användas. Resultatet från fallet visar att Focus^{3D} har en bättre noggrannhet medan DPI-7 är mer tidseffektiv. Om punktmolnet ska användas i visualiseringssyfte kan DPI-7 användas men om punktmolnen ska användas som stöd för ritningar bör Focus^{3D} användas på grund av den ökade noggrannheten.

Metodikerna som har tagits fram för arbetet i SCENE fungerar för respektive hårdvara vid de olika produktionsförändringarna. Metodikerna har resulterat i ett stabilt arbetssätt för att både uppdatera och komplettera punktmoln och beskrivs ingående i Kapitel 4.

7.2 Rekommendationer

Handscannern FARO Freestyle borde vara effektivare för att göra tillägg i punktmolnet vid uppdateringar jämfört med DPI-7. Det kombinerade punktmolnet skulle bli mer exakt på grund av gemensamma referenser med Focus^{3D}, vilket skulle spara tid i SCENE.

Eftersom en stegvis uppdatering med Focus^{3D} visade sig ta längre tid i PSL jämfört med att göra en ny fullständig scanning bör framtida projekt endast nyttja metodikerna om miljön är större än 188 m². Är ytan mindre är det mer tidseffektivt att göra en ny fullständig scanning av hela miljön. DPI-7 kan användas för att spara tid oavsett storlek men då tillkommer problem med noggrannhet i punktmolnet.

Avslutningsvis rekommenderar projektet användningen av SCENE oavsett hårdvara på grund av möjligheten att skapa och ladda ner applikationer som kan lösa kompatibilitetsproblem gällande filtyper. Då kommer metodikfigurerna i Kapitel 4 att kunna användas. Om SCENE inte är tillgänglig går det att följa arbetsmetoden projektet utnyttjade i avsnitt 3.2 för att skapa ny metodik för annan mjukvara.

Litteraturförteckning

- [1] LiDAR-UK, "What is LiDAR?," *LiDAR-UK*, 2015;
<http://www.lidar-uk.com/what-is-lidar/> [Hämtad: 7 maj, 2015].
- [2] J. Hecht, "Laser," i *Britannica Online Encyclopaedia*. [Online];
<http://academic.eb.com/EBchecked/topic/330874/laser> [Hämtad: 7 maj, 2015].
- [3] B. Breuckmann, "25 Years of High Definition 3D Scanning: History, State of the Art, Outlook," i *EVA 2014*, London, Storbritannien, 8-10 Juli 2014, London, Storbritannien, 2014;
http://www.bcs.org/upload/pdf/ewic_ev14_s19paper3.pdf [Hämtad: 1 maj, 2015].
- [4] J. H. Loedeman, Methods of capturing reality can be improved," *GIM International*, vol. 13, nr. 10, ss. 48-51, Okt. 1999;
http://hds.leica-geosystems.com/hds/en/GIM_en99.pdf [Hämtad: 14 Maj, 2015].
- [5] E. Lindskog, "Towards Realistic Visualisation of Production Systems," Göteborg : Chalmers University of Technology (Research series from Chalmers University of Technology, Department of Product and Production Development: report, nr: 88), 2014, Tillgänglig: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/198091/198091.pdf> [Hämtad: 8 maj, 2015].
- [6] E. Shellshear,; R. Berlin och J.S. Carlson, Maximizing Smart Factory Systems by Incrementally Updating Point Clouds,"*Computer Graphics and Applications*, IEEE , vol.35, no.2, pp.62,69, Mar.-Apr. 2015 doi: 10.1109/MCG.2015.38; <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7064671&isnumber=7064631> [Hämtad: 8 maj, 2015].
- [7] F. Bernardini och H. Rushmeier, (2002, June), "The 3D model acquisition pipeline," In *Computer graphics forum* (Vol. 21, No. 2, pp. 149-172). Blackwell Publishers Ltd.
- [8] D. Rex och S. Stoli, "Applications of 3D Laser Scanning in a Production Environment," masteruppsats, Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för Produktion och Produktionsutveckling, 2014; [http:](http://)

- [//publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/202372/202372.pdf](http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/202372/202372.pdf)
[Hämtad: 14 maj, 2015].
- [9] FARO Technologies, "Faro Laser Scanner FOCUS 3D Manual", Version: October 2011.
- [10] R. Horaud, "Three-Dimensional Sensors Lecture 3," *Perception*; http://perception.inrialpes.fr/~Horaud/Courses/pdf/Horaud_3DS_3.pdf
[Hämtad: 12 maj, 2015].
- [11] FARO Technologies, "FARO Scanner Freestyle 3D: Efficiency in your hands," *S.D.M CO.,LTD.*, 2015; <http://www.sdm.th.com/images/products/3dscanner/faro-freestyle-brochure.pdf> [Hämtad: 13 maj, 2015].
- [12] F. Alhwarin, A. Ferrein och I. Scholl, "IR Stereo Kinect: Improving Depth Images by Combining Structured Light with IR Stereo" i *Robotics Science and Systems (RSS) conference*, Berkeley, 12 juli 2015, Aachen Germany; Aachen University of Applied Sciences, 2014; <http://www.cs.cornell.edu/~hema/rgbd-workshop-2014/papers/Alhwarin.pdf>
[Hämtad: 14 maj, 2015].
- [13] DotProduct LLC "Introducing Phi.3D 2.0 Technology" *DotProduct LLC*;
<http://www.DotProduct3d.com/Phi3D.php> [Hämtad: 14 maj, 2015].
- [14] DotProduct, DPI-7 User Manual, DotProduct3D LLC;
<http://dotproduct3d.com/assets/pdf/WebManual.pdf> [Hämtad: 23 februari, 2015].
- [15] Autodesk Inc. "How ReCap works" *Autodesk Inc.*;
<https://recap.autodesk.com/how-recap-works/> [Hämtad 14 maj, 2015].
- [16] Autodesk Inc. "Autodesk ReCap" *Autodesk Inc.*;
<https://recap.autodesk.com> [Hämtad 14 maj, 2015].
- [17] Autodesk Inc. "Features for ReCap Pro" *Autodesk Inc.*, 2014;
<http://web.archive.org/web/20141022141835/http://www.autodesk.com/products/recap/features/recap-pro/all/gallery-view> [Hämtad 16 maj].
- [18] FARO Technologies, SCENE, FARO;
<http://www.faro.com/en-us/products/faro-software/scene/overview>
[Hämtad: 12 maj, 2015].
- [19] FARO Technologies, "SCENE Plugin Apps," *FARO*, 2015;
<http://www.faro.com/faro-3d-app-center/scene-plugin-apps>
[Hämtad: 13 maj, 2015].
- [20] ATS Advanced Technical Solutions, "ATS Software," *ATS*, 2015;
<http://ats.se/products-software.html> [Hämtad: 14 maj, 2015].

- [21] FARO Technologies, "ATS Quality Manager Version:2.1.1," *FARO*, 2015; <http://www.faro.com/faro-3d-app-center/scene-plug-in-apps/ats-quality-manager> [13 maj, 2015].
- [22] FARO Technologies, "Video for SCENE 5.1 and above" *FARO*, 2015; <http://www.faro.com/faro-3d-app-center/scene-plug-in-apps/video-%28faro%29> [Hämtad: 13 maj, 2015].

A

Appendix

A.1 Kvalitetsrapport av komplett scanning av PSL-labbet med FARO FOCUS^{3D}

Kvalitetsrapport för punktmolnsregistrering

Scanning av PSL 2015-02-03

2015-05-11

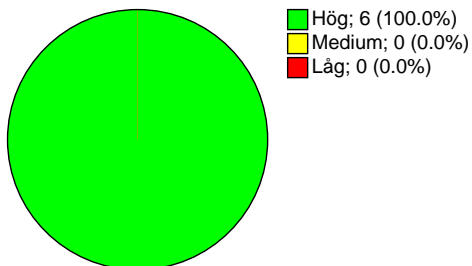


Skannerns modell:

FARO Focus 3D 120s

Sammanfattning

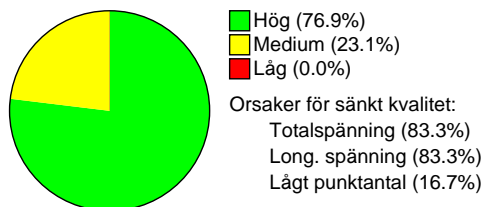
Kvalitet på punktmoln



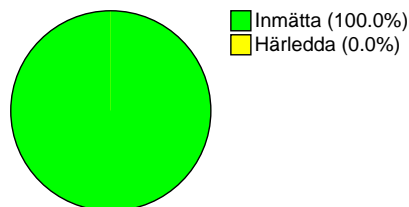
Medelfel på punktmolnens referensmatchningar

6.9 mm

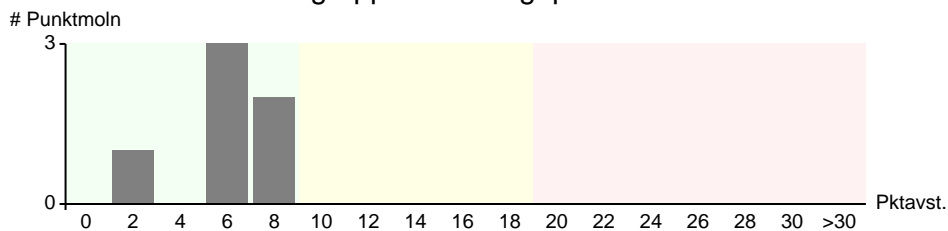
Kvalitet på referenser



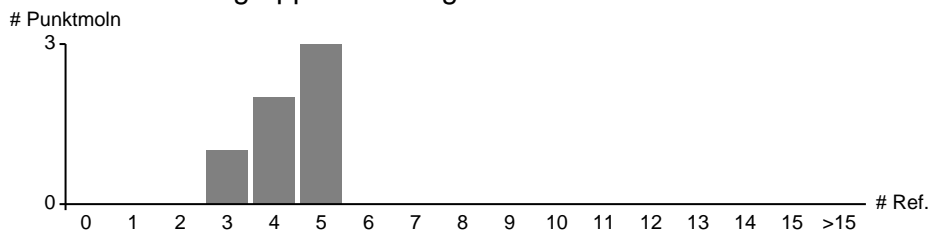
Ref-typer använda vid matchning



Punktmoln grupperade enligt punktavstånd



Punktmoln grupperade enligt antal använda referenser



Totalt antal punktmoln:	6
Totalt antal referenser:	11 (5 inmätta och 6 härledda)
Baserat på workspace:	Labb2015 (2015-05-11 15:09:49)

Kvalitetsintervall

Mall som använts för kvalitetsintervall:

FARO Normal

Namn	Högre gräns	Lägre gräns
Kvalitet på punktmoln		
Intervall för punktavstånd [mm]	10	20
Intervall för punktdrift [mm]	1	5
Intervall för absolut longitudinellt fel [mm]	10	20
Intervall för longitudinellt fel [mm]	10	20
Intervall för orthogonalt fel [mm]	10	20
Intervall för inklinometerfel [grad]	1	5
Kvalitet på referenser		
Intervall för punktantal	80	20
Intervall för avståndsfel [mm]	10	20
Intervall för longitudinellt fel [mm]	10	20
Intervall för orthogonalt fel [mm]	10	20

Hög > [Högre gräns] >= Medium >= [Lägre gräns] > Låg

Punktmoln

Namn	Pktavst.	Ref.	Inklin.	X	Y	Z
● PSL_20150203_001	7.30	5	JA	-3.571	-5.623	1.584
● PSL_20150203_002	7.24	5	JA	3.179	-7.990	1.591
● PSL_20150203_003	8.23	4	JA	5.148	-2.666	1.587
● PSL_20150203_004	3.52	4	JA	3.840	-0.068	1.589
● PSL_20150203_005	8.10	3	JA	0.196	-0.601	1.580
● PSL_20150203_006	6.78	5	JA	2.261	-10.883	4.222

Referenser

Namn	Typ	Storl.	X	Y	Z
Ext_Sphere1	Sfär	69.8	-0.364	1.366	2.262
Ext_Sphere2	Sfär	69.8	6.719	-4.781	2.898
Ext_Sphere3	Sfär	69.8	6.726	-10.204	3.418
Ext_Sphere4	Sfär	69.8	-4.420	-13.894	2.936
Ext_Sphere5	Sfär	69.8	-5.219	-6.227	2.350

Rapport

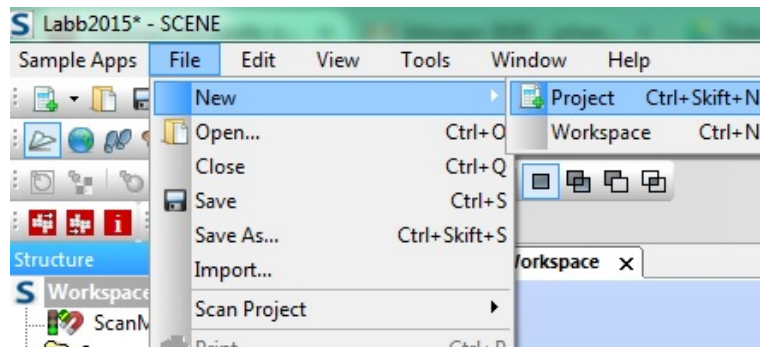
Namn	X	Y	Z	dX	dY	dZ	Tot.
Scans/PSL_20150203_001							
Ext_Sphere1	-0.364	1.364	2.259	-0.2	-2.4	-2.9	3.8
Ext_Sphere2	6.717	-4.780	2.893	-1.9	0.7	-4.7	5.2
Ext_Sphere3	6.720	-10.205	3.432	-6.0	-1.4	14.6	15.8
Ext_Sphere4	-4.415	-13.890	2.933	4.8	3.4	-3.4	6.8
Ext_Sphere5	-5.216	-6.228	2.346	3.3	-0.3	-3.6	4.9
Scans/PSL_20150203_002							
Ext_Sphere1	-0.364	1.365	2.259	0.6	-0.6	-2.4	2.6
Ext_Sphere2	6.716	-4.780	2.893	-2.1	0.6	-5.1	5.6
Ext_Sphere3	6.718	-10.205	3.431	-7.7	-1.9	13.5	15.7
Ext_Sphere4	-4.414	-13.891	2.934	6.3	3.4	-2.6	7.6
Ext_Sphere5	-5.216	-6.229	2.347	3.0	-1.5	-3.4	4.7
Scans/PSL_20150203_003							
Ext_Sphere2	6.717	-4.780	2.891	-1.2	1.3	-6.8	7.0
Ext_Sphere3	6.719	-10.206	3.430	-7.0	-2.0	12.8	14.7
Ext_Sphere4	-4.416	-13.891	2.934	4.2	2.5	-2.3	5.4
Ext_Sphere5	-5.215	-6.229	2.346	4.0	-1.9	-3.7	5.7
Scans/PSL_20150203_004							
Ext_Sphere1	-0.363	1.363	2.260	0.8	-3.1	-1.3	3.5
Ext_Sphere2	6.715	-4.781	2.896	-4.0	-0.3	-1.4	4.2
Ext_Sphere4	-4.418	-13.890	2.937	2.1	3.7	1.1	4.4
Ext_Sphere5	-5.218	-6.228	2.352	1.0	-0.4	1.6	2.0
Scans/PSL_20150203_005							
Ext_Sphere1	-0.363	1.364	2.257	0.9	-2.5	-4.2	5.0
Ext_Sphere2	6.720	-4.777	2.891	1.2	3.5	-7.0	7.9
Ext_Sphere3	6.724	-10.205	3.429	-2.1	-1.1	11.2	11.4
Scans/PSL_20150203_006							
Ext_Sphere1	-0.366	1.365	2.260	-1.5	-0.7	-2.0	2.6
Ext_Sphere2	6.719	-4.780	2.891	0.2	0.9	-6.8	6.9
Ext_Sphere3	6.719	-10.207	3.430	-6.8	-3.1	12.6	14.6
Ext_Sphere4	-4.414	-13.891	2.934	5.6	3.3	-2.4	7.0
Ext_Sphere5	-5.217	-6.228	2.349	2.5	-0.5	-1.3	2.9

B

Appendix

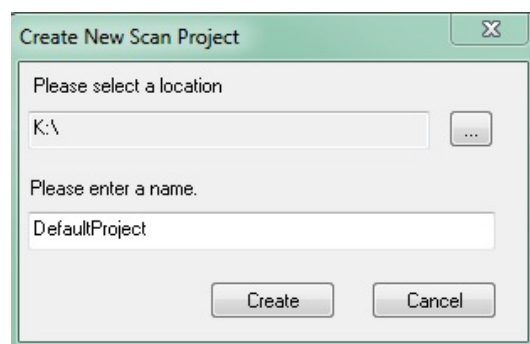
B.1 Nytt projekt

Utför först en scanning av hela miljön och för över den genererade scanndatan till datorn. För att skapa ett nytt projekt i SCENE väljs under menyn "File", "New", "Project". Se Figur B.1. Nästa steg är att bestämma namn på projektet och välja katalog där det ska sparas, det görs i dialogrutan i Figur B.2.



Figur B.1: Nytt projekt i SCENE.

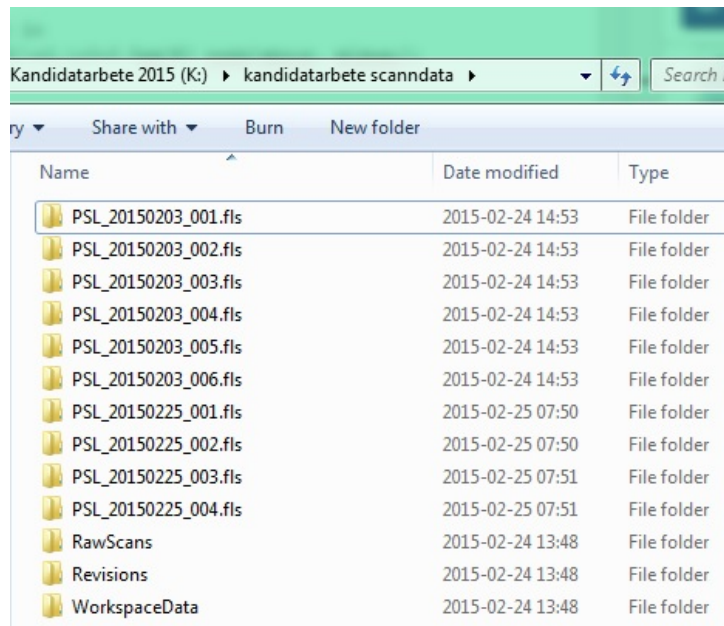
I Följande dialogruta väljs namn på projektet och var det ska sparas.



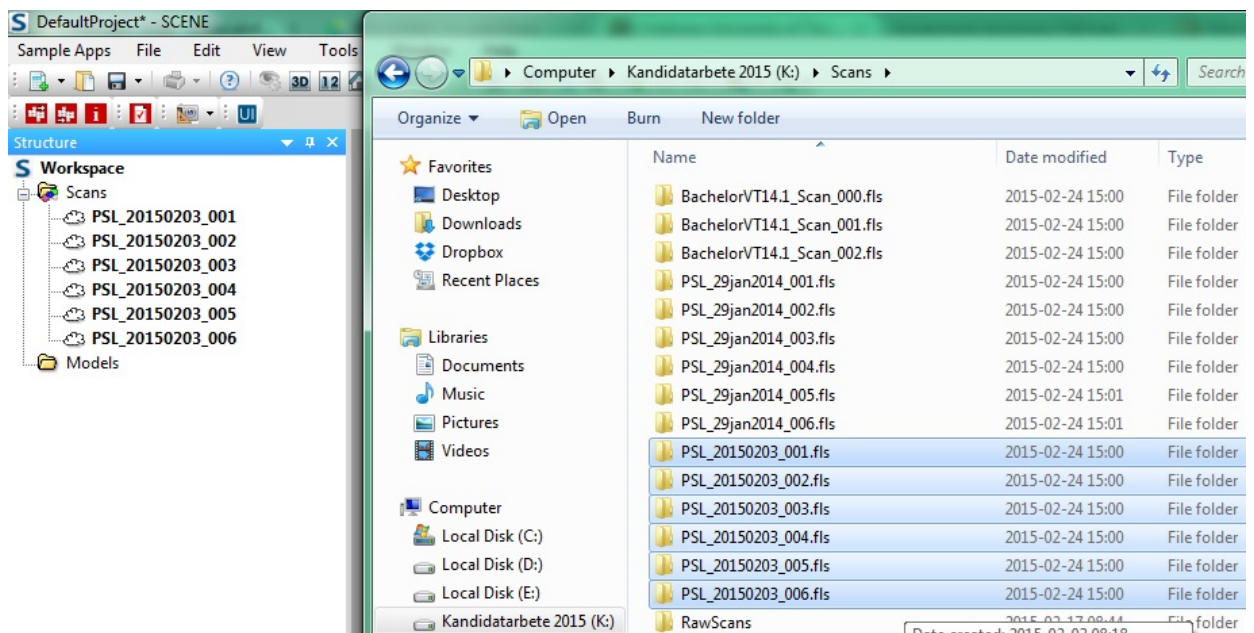
Figur B.2: Dialogruta för sparning av projektet.

B.2 Ladda in scannings-data

Scanningsfilerna som genereras av FARO Focus^{3D} importeras till SCENE där varje scanning har en egen mapp med numrering och datum. För att ladda in den inscannade datan som ska bearbetas öppnas katalogen med filerna, se Figur B.3. För att importera filerna till SCENE markeras de önskade mapparna och dras in i SCENE. Se Figur B.4.



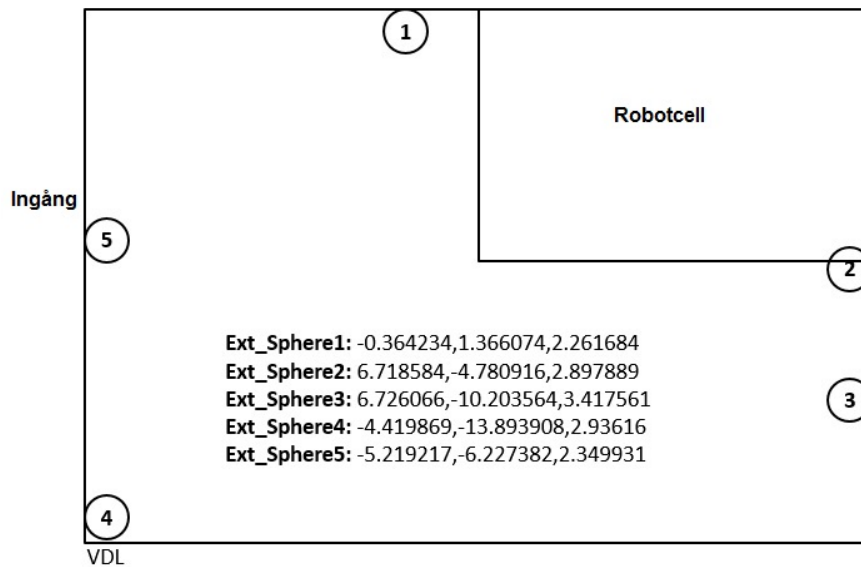
Figur B.3: Mapper innehållande scanningsfiler.



Figur B.4: Mapparna importeras till SCENE.

B.3 Ladda in koordinater

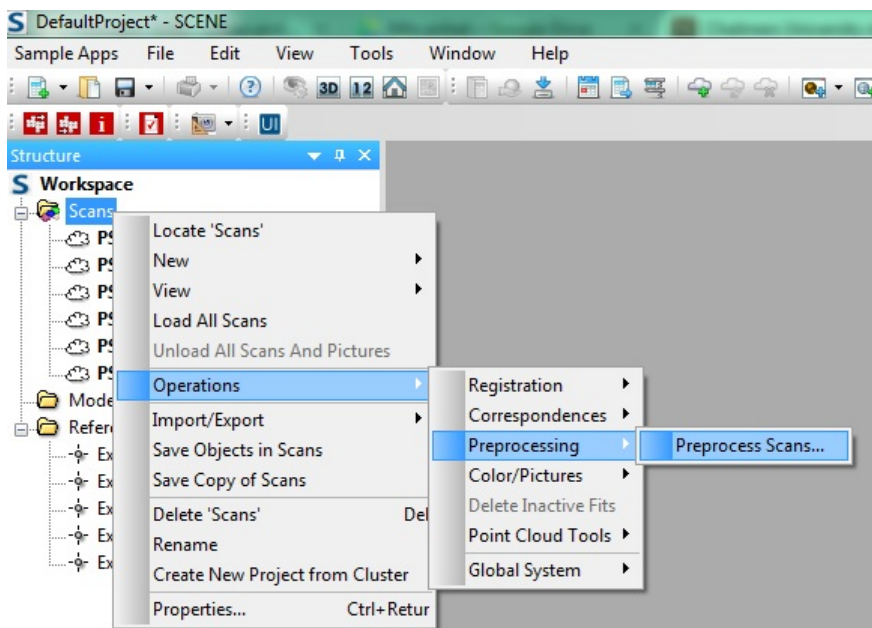
Det är viktigt att exakta koordinater på referenserna är givna, speciellt vid kombinerad av scannings-data från olika tidpunkter. För att referensernas koordinater ska överensstämma med SCENE importerar referensernas exakta koordinater. Koordinatsystemet i PSL bestämdes i samband med att referenserna monterades. Referenserna och motsvarande koordinater är givna i Figur B.5. Tillvägagångssättet för att importera koordinaterna sker på samma sätt som för scannings-datan, genom att dra in filerna i SCENE.



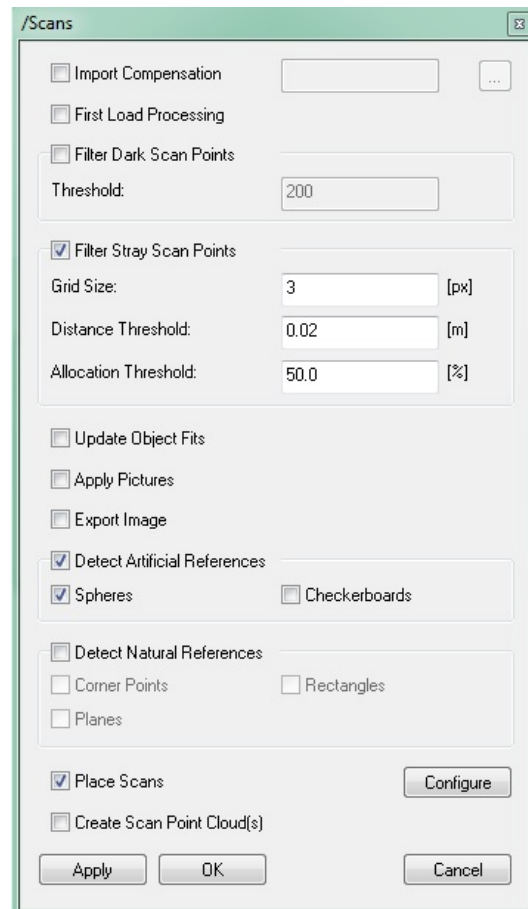
Figur B.5: Koordinater för referenspositioner i PSL.

B.4 Preprocessing

Preprocessing används främst för att identifiera referenser och registrera de olika scanningsarna. Verktøget kan identifiera ett flertal olika referenser: sfäriska, checkerboards och naturliga referenser. De naturliga referenserna består av hörn, rektanglar och plan. Under operationen finns även alternativ för applicering av filter för att filtrera bort avvikande punkter. Dialogrutan för preprocessing (Figur B.7) fås fram genom att högerklicka på "Scans", välja "Operations", "Preprocessing", "Preprocess Scans" enligt Figur B.6. Möjligheter att skapa punktmoln och placera scanningsarna är även tillgängliga i dialogrutan. Enligt metoden som används väljs "Place scans" vilket innebär att de olika scanningsarna matchas mot varandra med avseende på gemensamma referenser. Sfäriska referenser används i metodiken.



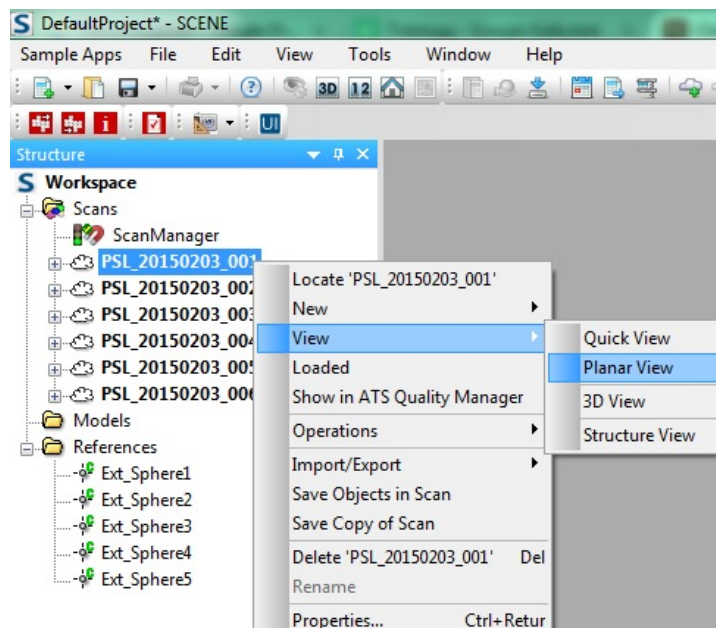
Figur B.6: Steg för att påbörja preprocessing.



Figur B.7: Dialogruta med alternativ för preprocessing.

B.5 Kontroll av referenser

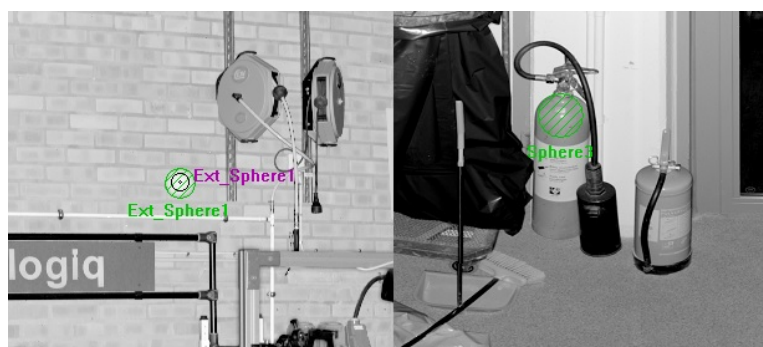
Arbetet med att kontrollera kvalitén på de sfäriska referenser som har lokaliserats sker genom att först ta bort felaktiga referenser. Det görs genom att gå igenom varje scanning i "planar view". Planar view-läget öppnas genom att högerklicka på den givna scanningen, följt av "View", "planar View" enligt Figur B.8.



Figur B.8: Steg för att öppna en scanning i "planar View".

Planar view ger en vy över varje scanning innehållande de referenser som lokaliserats. SCENE har olika färgkodningar på referenserna beroende på antal punkter som hittats på sfären. Grön ring runt sfären betyder att tillräckligt många punkter lokaliserats, gul ring tyder på ett bristfälligt antal punkter hittats.

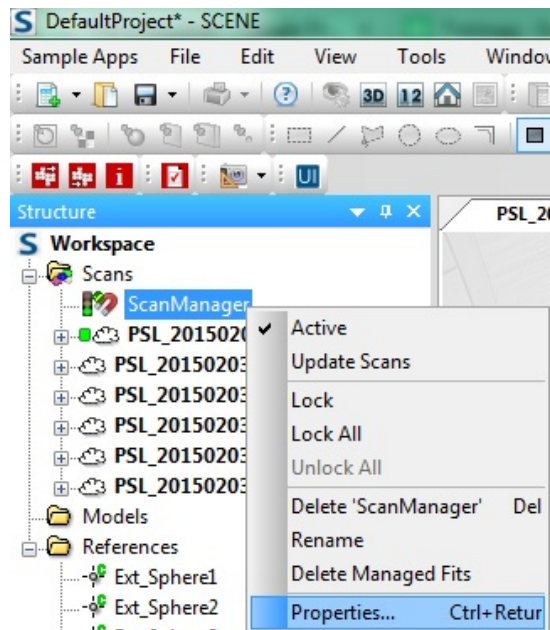
Eftersom SCENE letar efter sfärer med en viss diameter kan stundtals felaktiga sfärer lokaliserats på till exempel robotar, rör eller andra föremål som kan uppfattas som sfäriska se Figur B.9, till höger. De felaktiga sfärerna tas bort genom att högerklicka på sfären och välja "delete". En korrekt identifiering av en sfäris referens visas till vänster i Figur B.9.



Figur B.9: Till vänster, en korrekt identifierad sfär. Till höger, en felaktig identifierad sfär.

För att kontrollera hur noggrant scanningarna matchar mot referenserna och andra scanningar analyseras avvikelser. Det utförs genom att högerklicka på "ScanManager", välja "Properties" enligt figur B.10 och genererar dialogrutan i figur B.11. Om värdena aviker allt för mycket bör den givna scanningen kontrolleras igen för att

säkerställa att referenserna är placerade på given sfär.



Figur B.10: Steg för att kontrollera avvikelser på referenserna.

Reference	Tens...	Scan 1	Scan 2
Ext_Sphere3	0.0147	PSL_20150203_003	References
Ext_Sphere3	0.0157	PSL_20150203_002	References
Ext_Sphere3	0.0158	PSL_20150203_001	References
Ext_Sphere4	0.0007	PSL_20150203_002	PSL_20150203_006
Ext_Sphere4	0.0012	PSL_20150203_001	PSL_20150203_006
Ext_Sphere4	0.0015	PSL_20150203_001	PSL_20150203_003
Ext_Sphere4	0.0016	PSL_20150203_003	PSL_20150203_006
Ext_Sphere4	0.0017	PSL_20150203_001	PSL_20150203_002
Ext_Sphere4	0.0022	PSL_20150203_002	PSL_20150203_003
Ext_Sphere4	0.0041	PSL_20150203_003	PSL_20150203_004
Ext_Sphere4	0.0044	PSL_20150203_004	References
Ext_Sphere4	0.0050	PSL_20150203_004	PSL_20150203_006
Ext_Sphere4	0.0052	PSL_20150203_001	PSL_20150203_004

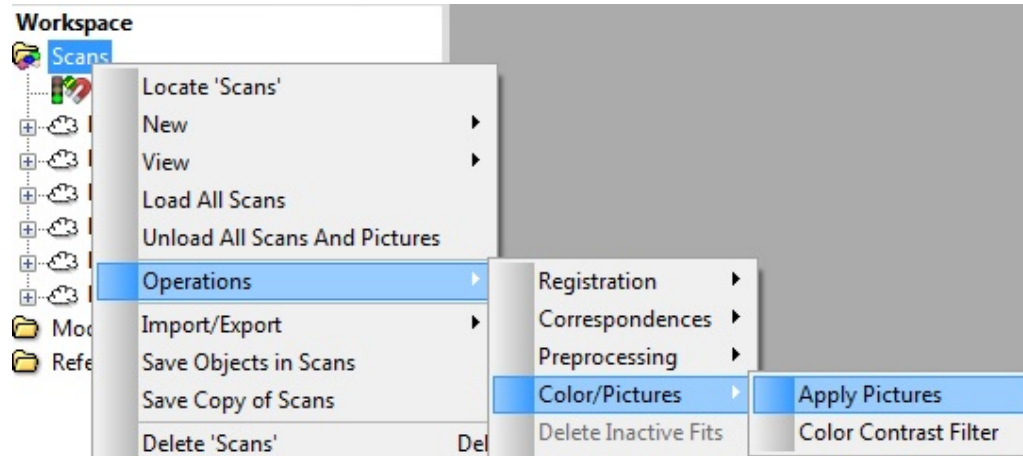
Weighted Statistics	
Mean:	0.0035
Min:	0.0000
Deviation:	0.0034
Max:	0.0158

Figur B.11: Dialogruta med avvikelser.

B.6 Applicera färg

För att Applicera färg på punktmolnet utförs operationen "Apply Pictures" vilken lokaliserar genom att högerklicka på "Scans", "Operations", "Color/Pictures",

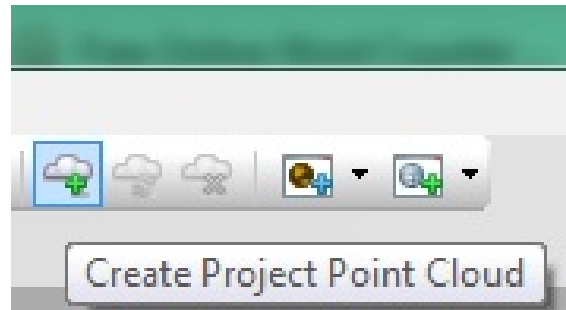
”Apply Pictures”. Se Figur B.12. Eftersom FOCUS^{3D} tar bilder vid varje enskild scanning appliceras färgerna från bilderna på varje punkt i punktmolnet. För att jämna ut kontrastskillnaderna i punktmolnet kan ”Color Contrast Filter” appliceras enligt Figur B.12.



Figur B.12: Steg för att utföra Apply Pictures och Color Contrast Filter.

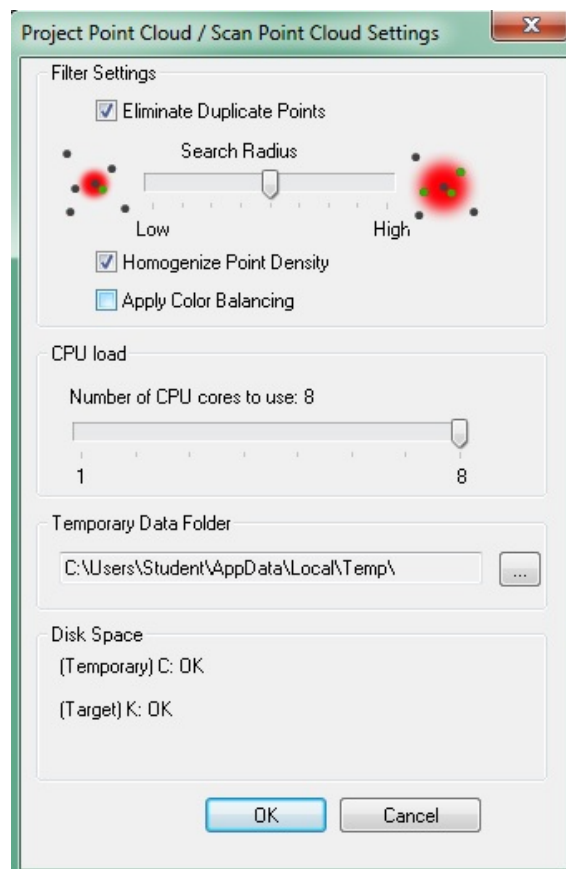
B.7 Skapa projekt-punktmoln

För att sammanfoga de olika scanningarna till ett projekt-punktmoln används funktionen "Create Project Point Cloud" enligt symbolen i Figur B.13.



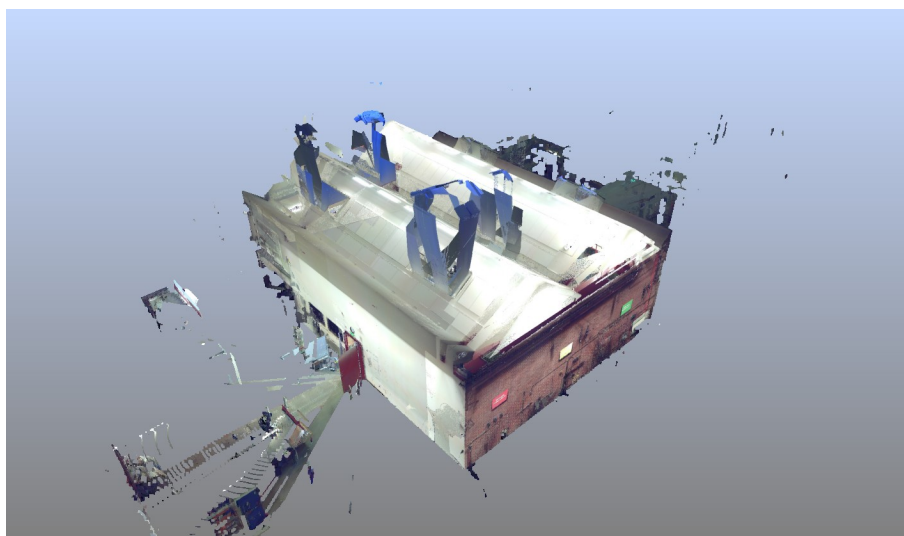
Figur B.13: Skapa Projekt-punktmoln.

En dialogruta visas där olika alternativ kan väljas. Dublicerade punkter kan elimineras med "Eliminate Duplicate Points". "Apply Color Balancing" är ett Filter för att jämna ut kontrasten mellan de olika scanningarna. "Homogenize Point Density" är ett filter för att anpassa punkternas densitet i de områden som innehåller mycket punkter, se Figur B.14.



Figur B.14: Alternativ för "Project Point Cloud".

Punktmolnet som genereras visas i Figur B.15, det kontrolleras och vid behov redigeras oönskade punkter bort.



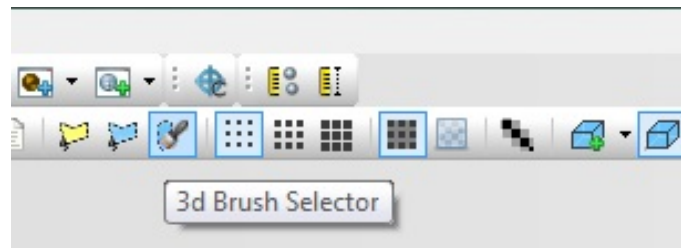
Figur B.15: Oredigerat punktmoln PSL 2015-02-03.

B.8 Ta bort oönskade punkter

Det går att ta bort punkter på flera olika sätt i SCENE. Verktögen "Polygon Selector" och "Point Cloud Polygon Selector" fungerar på liknande sätt. "Polygon Selector" används för att ta bort de laddade punkterna som består av all scanningsdata oavsett filtrering. "Point Cloud Polygon Selector" tar endast bort punkter i projekt-punktmolnet. Verktöget används genom att markera området som ska raderas för att sedan ta bort det genom att högerklicka och välja "Delete Inside Section" eller "Delete Outside Section".

Ett annat verktyg som är smidigt att använda är "Clipping Boxes". Med hjälp av verktyget dras en box ut över ett område. Det går antingen att ta bort området som boxen innesluter, eller området runt omkring boxen. Observera dock att inga laddade scanningsfiler raderas med användning av "Clipping Boxes". Den raderar endast punktmolnspunkter. Borstverktöget "3d Brush Selector" används för att markera och radera punkter på samma nivå. "3d Brush Selector" fungerar endast på punktmolnspunkter.

I Figur B.16 visas "3d Brush Selector" markerad längst till vänster, till vänster av den ligger de två polygon verktygen och längst till höger visas knappen för att använda Clipping Boxes.



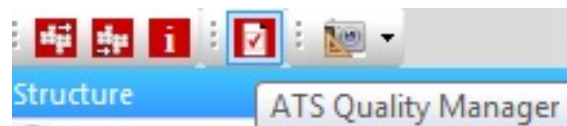
Figur B.16: Redigeringsverktyg.

B.9 Färdigt projektpunktmoln

Efter att ha följt de olika stegen ovan är nu projektet klart. Det kan vara bra att titta igenom projektet för att kontrollera att allt ligger på rätt plats och att det ser bra ut.

B.10 Kvalitetskontroll

För att kontrollera kvaliteten på projektet används ATS applikation Quality Manager med anledning av att den ger en detaljerad sammanfattning över hur de olika scanningarna överensstämmer med varandra. Quality Manager startas genom att trycka på knappen "ATS Quality Manager", se Figur B.17. En dialogruta med resultaten öppnas och det går att spara ner rapporten till datorn för att ha kvar (se appendix 1). Rapporten tar upp kvaliteten på de olika scanningarna och visar avvikelser och kvaliteten mellan referenserna.



Figur B.17: Knapp för att starta ATS Quality Manager i SCENE.