

CHALMERS



Kombinerad 3D-scanning

Ett arbete om att undersöka en handhållen 3D-scanners egenskaper – dels enskilt och dels i kombination med en stativmonterad 3D-scanner

Examensarbete inom Mekatronikingenjörsprogrammet

ALEXANDER BERGGREN

Institutionen för Produkt- & Produktionsutveckling
Avdelningen för Produktionssystem
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige, 2014
Examinator: Rolf Berlin

Förord

I den här rapporten undersöks scanning med en handhållen 3D-scanner. Arbetet utförs på företaget som ett avslutande examensarbete (15 högskolepoäng) för högskoleingenjörsprogrammet Mekatronik på Chalmers Tekniska Högskola. Arbetet är utfört under institutionen för Produkt- och produktionsutveckling.

Jag vill tacka ATS AB och dess personal för den öppenhet och hjälpsamhet som visats under hela arbetet.

Ett stort tack riktas till Rolf Berlin på ATS AB för att jag fått möjligheten att göra mitt arbete på företaget och för den expertis han har kunnat bistå med i ämnet.

Göteborg, maj 2014

Alexander Berggren

Sammanfattning

3D-scanningsteknikerna utvecklas snabbt och nya tillämpningar och kunder hittas ständigt. Det är ett kraftfullt verktyg som blir billigare – eller snarare att billigare tekniker blir bättre.

En handhållen scanner som *DPI-7* bygger på en väldigt billig teknik i förhållande till 3D-scannrar som *FARO Focus X 330*. Med tanke på prisnivån för sensorn i *DPI-7* är den erhållna 3D-scanningsdatan överraskande bra. Särskilt med tanke hänsyn till vissa brister som känslig ljusmiljö, noggrannhet och tolerans. Även matchningen (för-optimeringen i *PHI3D* på enheten) är aningens bristfällig då hela scanningen förskjuts mot koordinatsystemet, vid användning av targets.

DPI-7 kan efter tester anges ha en tolerans under 10mm på upp till 3,5m från objektet och ungefär 4mm för 1m avstånd.

Efter tester på kombinerad mellan scanningsdata från *DPI-7* och *Focus* kan en tolerans för denna kombinerade data anges som ungefär 2cm.

Med detta sagt tror jag att kombinerad 3D-scanning, med dessa tekniker, har en god framtid. Dessutom då sensorn som *DPI-7* använder sig av tillhör första generationen av dess sort (lanserades 2011) tror jag att åtminstone noggrannhet och tolerans kan förbättras inom en relativt snar framtid.

Summary

3D-scanning technology is a fast growing field of science. New applications and customers are still to be found. The 3D-scanning is a powerful tool that gets cheaper every day – or rather the cheap ones gets better.

A hand-held scanner like DPI-7 is built on a cheap technology, compared to stationary 3D-scanners as the FARO Focus X 330. Given the price level for the sensor used by the DPI-7, the 3D-data acquired are surprisingly good. Even despite some deficiencies as light environment, accuracy and tolerance. In addition, the matching (preprocess optimization in PHI3D on the device) are also imperfect due to the fact that the whole scanning is displaced from the coordinate system in which reference targets are placed.

The tolerance for DPI-7, can after some tests, be specified to have a tolerance below 10mm up to a distance of 3,5m from the target and about 4mm for 1m distance.

The tolerance of combined 3D-scanning can from performed tests on data combined from DPI-7 and Focus, be said to be about 2cm.

With this said I personally think there is a bright future for combined 3D-scanning with these technologies. In addition, because the sensor used by DPI-7 belongs to the first generation of its sort (released 2011) I think the accuracy and tolerance can and will be improved in a near future.

Innehållsförteckning

BETECKNINGAR, UTTRYCK OCH DEFINITIONER.....	1
1 INTRODUCTION	2
1.1 BAKGRUND.....	2
1.2 SYFTE	2
1.3 FRÅGESTÄLLNING.....	2
1.4 AVGRÄNSNINGAR.....	3
2 TEORETISK BAKGRUND	4
2.1 3D-SCANNING	4
2.2 OLIKA 3D-MÄTNINGSTEKNIKER.....	4
2.3 3D-SCANNING – FÖRDELAR & ANVÄNDNINGSOMRÅDEN.....	6
2.4 ANVÄND UTRUSTNING	7
2.4.1 DPI-7	7
2.4.2 FARO Focus X 330	8
2.4.3 FARO EDGE, CMM-ARM	8
2.4.4 PROGRAMVARA	9
2.4.5 ÖVRIG UTRUSTNING.....	10
3 METOD	11
3.1 ERHÅLLA GRUNDLÄGGANDE KUNSKAP	11
3.1.1 STUDERANDE AV FAKTA	11
3.1.2 INSTRUERANDE HANDLEDNING	11
3.1.3 INTRODUCERANDE TESTER.....	11
3.2 ARBETA I <i>GEOMAGIC CONTROL</i>	12
3.2.1 KONTROLL-KALIBRERING AV CMM-PROBE	12
3.2.2 MÄTNING MED CMM-PROBE	12
3.2.3 KONTROLL-KALIBRERING AV CMM-SCANNER.....	13
3.2.4 SCANNING MED CMM-SCANNER.....	13
3.2.5 BEARBETNING AV PUNKTMOLN	14
3.2.6 ANALYSERA PUNKTMOLN	14
3.3 SCANNING I PHI3D MED DPI-7	15
3.4 ARBETA I SCENE	16
3.4.1 REGISTRERING FOCUS.....	16
3.4.2 CLOUD-TO-CLOUD.....	16
3.4.3 EXPORTERING AV PUNKTMOLN	19
4 RESULTAT AV CMM-SCANNING.....	21
5 HANDHÅLLEN 3D-SCANNING.....	22
5.1 CIRCLEMEASURE.....	22

5.1.1	UTFORMNING AV TEST	23
5.1.2	INNAN SCANNING	24
5.1.3	SCANNING.....	25
5.1.4	ANALYSERING.....	26
5.1.5	RESULTAT	26
5.2	LINEMEASURE	27
5.2.1	UTFORMNING AV TEST	27
5.2.2	INNAN SCANNING	28
5.2.3	SCANNING.....	28
5.2.4	RESULTAT	28
6	KOMBINERAD 3D-SCANNING.....	29
6.1	UTFORMNING OCH FÖRBEREDELSE AV TEST	30
6.2	SCANNING	31
6.3	KOMBINERING.....	32
6.4	ANALYSERING.....	32
6.5	RESULTAT	33
7	SLUTSATSER.....	35
7.1	HANDHÅLLEN 3D-SCANNING.....	35
7.1.1	CIRCLEMEASURE	35
7.1.2	LINEMEASURE	36
7.2	KOMBINERAD 3D-SCANNING	36
7.3	FÖRDELEN MED KOMBINERAD 3D-SCANNING	37
8	DISKUSSION.....	37
8.1	KÄLLKRITIK	37
9	KÄLLFÖRTECKNING.....	39
10	FIGURFÖRTECKNING	40
BILAGOR	A	
BILAGA 1 – ERHÅLLNA AVVIKELSEVÄRDEN FÖR CIRCLEMEASURE-TESTET.....	A	
BILAGA 2 – ANALYS FYRA REFERENSER – REFERENS: CMM (FÄRGAD), TEST: DPI-7 PICASSO 50CM.....	B	
BILAGA 3 – ANALYS FYRA REFERENSER – REFERENS: CMM (FÄRGAD), TEST: DPI-7 PICASSO 100CM	D	
BILAGA 4 – ANALYS FYRA REFERENSER – REFERENS: CMM (FÄRGAD), TEST: DPI-7 PICASSO 150CM	F	
BILAGA 5 – ANALYS FYRA REFERENSER– REFERENS: CMM (FÄRGAD), TEST: DPI-7 KÄNGAN 50CM.....	H	
BILAGA 6 – ANALYS FYRA REFERENSER – REFERENS: CMM (FÄRGAD), TEST: DPI-7 KÄNGAN 100CM	J	
BILAGA 7 – ANALYS FYRA REFERENSER – REFERENS: CMM (FÄRGAD), TEST: DPI-7 KÄNGAN 150CM	L	
BILAGA 8 – DPI-7 MANUAL	0	
BILAGA 9 – SPECIFIKATIONSBLAD FÖR DPI-7	00	
BILAGA 10 – SPECIFIKATIONSBLAD FÖR FARO LASER SCANNER FOCUS X 330.....	QQ	

Beteckningar, uttryck och definitioner

Användbarhet – *”Den grad i vilken användare i ett givet sammanhang kan bruka en produkt för att uppnå specifika mål på ett ändamålsenligt, effektivt och för användaren tillfredsställande sätt.”* [1]

App – Applikation (program)

ASTM – *”American Society for Testing and Materials”* är en globalt erkänd organisation för standardisering. Läs mer på deras hemsida. [2]

Checkerboards – en form av target som är en tavla med ett schackrutigt mönster.

Cluster – Flera punktmoln kan läggas i ett ”cluster”. Görs bland annat för att sätta kombinationen av flera punktmoln som referensmoln.

CMM – Coordinate measuring machine.

CSV – *”Comma separated values”*, datafil där sammanhängande data är separerade med kommatecken.

Mesh – Ett 3D objekt som består av polygonytor (trianglar).

Noise – Är engelska för oväsen. Inom 3D-scanning används begreppet för i en scanning felaktigt registrerade punkter, som alltså inte stämmer överens med verkligheten.

Probe – Engelska för sond. Här är det beteckningen för punktmätning med en kulspets på CMM-armen.

Punktmoln – Koordinater för flera punkter som är lagrade i samma fil. I 3D-vy syns det som ett moln av punkter.

RAW-format – Ej processad/bearbetad data från exempelvis kameror och scannrar.

Reverse Engineering – *”omvänd ingenjörskonst”*, att ta fram ritningar och specifikationer på/utifrån hur en färdig produkt fungerar.

RGB – *”Red Green Blue”* är en färgkodning där de tre olika färgerna går från värdet 0-255 och kan med olika kombinationer på dessa återskapa ett spektrum av kulörer.

RMS – *”Root Mean Square”*, ett medelvärdesliknande mått på avvikelse.

Targets – Föremål, exempelvis tavlor, som används för att markera ut referenspunkter.

1 Introduktion

Det här kapitlet är tänkt att ge en bakgrund om ATS AB – vad dem jobbar med och kort historik om deras utveckling. Det kommer även att beskriva syftet med arbetet, frågeställningar och avgränsningar.

1.1 Bakgrund

ATS AB grundades 1990 och står för Advanced Technical Solutions AB och är ett företag med kunskap inom både teoretisk och praktisk lasermätning. Deras verksamhet innefattar huvudsakligen återförsäljning- men även produktutveckling av komponenter för 1D-, 2D- och 3D-mätning respektive scanning.

Som en del av företagets huvudprodukt säljer de Focus 3D Laser Scanner från FARO (läs mer under teoretisk bakgrund).

Sedan 1997 tillhandahåller ATS AB 2D och 3D lösningar lämpade för tunnelbyggen, gruv-, fordons-, process- och konstruktion & byggnadsindustrin.

Deras lösningar går att använda för stora som små objekt och i både analyserings- och "reversed engineering" syfte.

Företaget vill nu ha undersökt en potentiell ny produkt som de hade tänkt börja återförsälja. Det är en så kallad handhållen 3D-scanner, DPI-7, från företaget *Dot Product LLC*. Med denna handhållna scanner hoppas ATS AB kunna kombinera eller komplettera 3D-scanning erhållen med den stativmonterade 3D-scannern Focus. Eller helt enkelt bara kunna erbjuda separata 3D-scanningslösningar med DPI-7.

Företaget vill därför ha undersökt hur noggrann, vilken variation scanningen har och hur scanning med den utförs, dels enskilt och dels kombinerat med Faro Focus, på ett sätt som ger kvalitetssäker information/data.

1.2 Syfte

Arbetets syfte är att undersöka en handhållen 3D-scanner. Detta görs dels enskilt och dels i kombination med en stativmonterad 3D-scanner.

Vidare är syftet att ta fram en arbetsprocess för hur de olika 3D-scannrarna kan kombineras på ett sätt som ger kvalitetssäkert resultat.

1.3 Frågeställning

Hur noggrann är den handhållna scannern gentemot en CMM-arm?

Håller den handhållna scannerns data god kvalitet med låg variation?

Kan den handhållna scannerns data, med god kvalitet, kombineras med den stativmonterade scannerns data?

Hur ser tillvägagångssättet ut för att kombinera (med kvalitetssäker information) 3D-scanningsdata mellan en handhållen- och en stativmonterad 3D-scanner?

1.4 Avgränsningar

I rapporten kommer endast ingående beskrivning för den handhållna enhetens (DPI-7) scanning att beskrivas. Annan scanning som den med Focus (stativmonterad) och Edge (CMM-arm) kommer beskrivas i korthet.

All utrustning antas vara kalibrerad. Undantag är den nödvändiga kalibreringen innan mätning med CMM-armen.

Hur arbetet i programvarorna utförs kommer endast beskrivas kortfattat, med antagandet att läsaren (om denne är intresserad) redan har en grundläggande kunskap om dessa program.

2 Teoretisk Bakgrund

Det här kapitlet är tänkt att ge en allmän förståelse för arbetets tekniska område och även ge läsaren nödvändig kunskap för vidare läsning.

2.1 3D-scanning

En 3D skanner är ett instrument som kan analysera form och utseende för objekt eller omgivning. Data med denna information kan sedan sparas digitalt och användas för att skapa digitala 3D-modeller.

Det finns många olika sätt baserade både på en eller en kombination av flera olika 3D-scanningstekniker – alla med sina fördelar och nackdelar.

2.2 Olika 3D-mätningstekniker

3D-mätning och -scanning kan delas upp i två grundläggande kategorier, *beröring* eller *beröringsfri*. Alltså om en mätning/scanning kräver kontakt, med föremålet som det görs 3D-mätningar på, eller ej. [3]

Ett typiskt exempel på en 3D-mätning som måste vidröra det som mäts är en CMM-arm.

En CMM-arm använder en probe. Probens rörelse registreras av sensorer i armens leder. Dessa leder kan mäta rörelse ner på nanometernivå. [4]

CMM-arm används oftast i tillverkningssammanhang och är idealiska för att sondera i sprickor eller trånga invändiga utrymmen med trånga öppningar (läs mer under kapitlet "CMM-arm"). [3]

Till de beröringsfria teknikerna hör bland annat *time-of-flight*, *phase-shift*, *triangulation*, *structured light*, *siluette*, *stereoskopisk* och *photometrisk*. Där de två sistnämnda (och delvis även *siluette*) är av sorten passiva, de andra är av sorten aktiva. Passiva skiljer sig från de aktiva genom att de inte sänder ut någon form av stråle. Istället förlitar sig tekniken på att strålning av olika slag når enheten. Exempel på sådan strålning är synligt- eller infrarött ljus. [3]

Time-of-flight scannrar använder sig av laserpulser, som skickas ut och träffar en punkt. Genom att mäta tiden det tar för pulsen från att den skickas ut till att den återvänt kan man, då ljusets hastighet är känt, mycket exakt beräkna avståndet till punkten.

Hur exakt en scanner som använder sig av *time-of-flight* är beror huvudsakligen på hur precist tiden kan mätas. En annan begränsning för scannrar av denna sort är att de bara kan mäta en punkt åt gången i en bestämd riktning. För att scanna fler punkter i en vy krävs det att antingen rotera avståndsmätaren eller istället använda spegelsystem som roterar. Vanligtvis används den sistnämnda då speglar är lättare och kan rotera mer exakt, vilket också ger en större precision. [3]

Time-of-flight tekniken möjliggör mätning över väldigt stora avstånd. Typisk räckvidd för scannrar med tekniken *time-of-flight* är 2-1000m. Detta gör tekniken framförallt lämplig för att scanna stora objekt som byggnader och geografiska platser. [5]

En brist för *time-of-flight* är om lasern träffar en kant och pulsen som kommer tillbaka ger information om två olika avstånd. När detta inträffar kommer koordinaten för denna punkt anta ett medelvärde av de olika avstånden. Detta sänker noggrannheten. Högre upplösning ger fler av dessa kantträffar. Dessa punkter syns som brus precis bakom en

kant i 3D-datan. Smalare laserstrålar ger mindre av denna effekt, men med mindre stråle minskar även räckvidden för scannern.[3]

Scannrar av typen *time-of-flight* brukar kunna mäta 10 000 ~100 000 punkter per sekund, beroende på upplösning. Vilket vid scanning av stora föremål eller platser och/eller hög upplösning, då miljontals mätningar krävs, kan medföra att en scanning tar lång tid. Om det som scannas förändras under scanningen kan detta medföra problem som förvrängning av insamlad data. Därför krävs det ofta att både det som scannas och själva scannern placeras/monteras på ett stabilt sätt som även minimerar vibrationer. [5]

En annan begränsning för *time-of-flight* är att det är svårt att exakt mäta tiden för ljuspulsen – då ljuset färdas så fort. Mindre exakt tidsräkning medför relativt låg noggrannhet (millimeternivå) i förhållande till andra tekniker som exempelvis *triangulation* och *phase-shift*. [3]

Phase-shift

Phase-shift är en teknik som till mycket liknar *time-of-flight*. Även denna sänder ut en laserpuls, men till skillnad från *time-of-flight* mäts fasförskjutningen på signalen. Detta gör mätningen mer exakt och ger mindre noise i den insamlade datan. Phase-shift tekniken är snabbare än *time-of-flight*, men har en mindre räckvidd. [5] Räckvidden ligger i storleksordningen på 2m-400m. [6]

Triangulation

Triangulation-baserad, eller svenskans trianguleringsbaserade, 3D-laser scannrar använder, liksom *time-of-flight* scannrar, en laser för sin mätning. Skillnaden är att en kamera registrerar var laserpunkten befinner sig i vyn. Som man kan se i Figur 2-1 bildar lasern och kameran en triangel – som förändras beroende på avståndet till objektet. Vidare kan man i figuren se hur lasern registreras på ett annat ställe på sensorn om objektet flyttas närmre eller längre ifrån lasern.

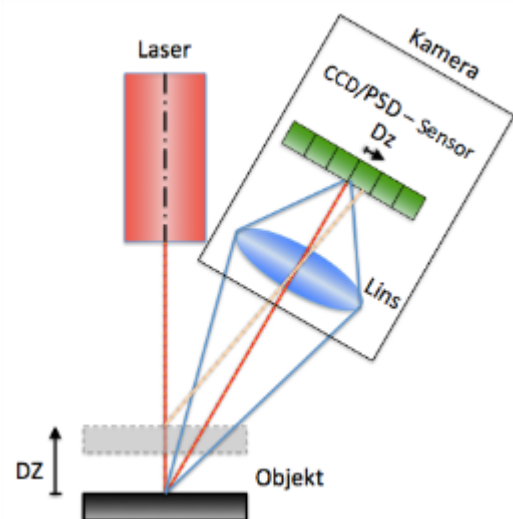
Till skillnad från *time-of-flight* tekniken är *triangulering* mer exakt, ner till hundradelar av en millimeters noggrannhet, och har en avstånds begränsning på bara några meter (i förhållande till kilometer för *time-of-flight*). [3]

Structured light

Ett annat sätt att 3D-scanna är att använda så kallat *strukturerat ljus*. *Strukturerat ljus* är en teknik där ljus med ett visst specifikt mönster projiceras på en yta, varpå en (eller flera) kameror registrerar hur mönstret förvrängs beroende på hur ytan ser ut.

Källan för projiceringen behöver vara stabil och ge ett tydligt och klart mönster.

Kameran (eller kamerorna) är placerad med ett litet offset från projiceringskällan och kan utifrån hur det projicerade mönstret förvrängts räkna ut avstånd till varje synlig punkt.



Figur 2-1 Illustrering av Triangulering

Fördelen med att använda tekniken *strukturerat ljus* är den snabba scanningstiden och exaktheten. Detta kommer framförallt från att tekniken tillåter scanning av samtliga punkter i vyn åt gången. Alltså kan en hel vy scannas på bråkdelen av en sekund.

Detta minskar och i vissa fall tar bort risken för distorsion, som orsakats av rörelse i vyn/scanningen.

Det finns även vissa system för *strukturerat ljus* som i realtid kan scanna objekt som rör på sig. [7]

Stereoskopisk

Denna teknik fungerar på ett liknande sätt som människans syn. På motsvarande sätt som våra ögon är placerade, aningens isär men riktade åt samma håll, placeras två kameror eller sensorer. De två ögonen/kamerorna/sensorerna kommer då att se i stort sett samma bild, med en viss förskjutning mellan dem. Genom att analysera avståndet mellan motsvarande punkter i de två olika bilderna, kan avstånd till punkten bestämmas.

Photometrisk

Till skillnad från *stereoskopiska* använder *photometriska* sig bara av en kamera/sensor. För att kunna bestämma avstånd till olika punkter i bilden tas flera bilder av samma vy fast under olika ljusförhållanden. Genom att analysera skillnaden mellan dessa bilder kan ytornas orientering vid varje pixel tas fram.

Silhouette

Silhouette-tekniken registrerar och skapar konturer runt objekt i bilder. Genom att kombinera en sekvens med bilder runt samma 3D-objekt kan dessa konturer kombineras. De kombinerade konturerna extruderas och sammanfogas för att bilda en visuell kropp. Med denna teknik kan vissa konkaviteter i objekt missas. Exempel på saker som inte syns är insidan på en skål, alltså hela urgröpningen. [3]

2.3 3D-scanning – Fördelar & Användningsområden

Det finns många fördelar och användningsområden med 3D scanning. Allt ifrån nöjesbranschen till industrins *reversed engineering*.

3D-scanning används mycket vid skapande av 3D-modeller i film och videospelsbranschen. Det går mycket fortare att scanna in objekt till en digital virtuell miljö än att manuellt bygga upp modeller med 3D-modelleringsprogram.

Ofta skapas även fysiska skulpturer som sedan scannas in till digital form istället för att, som tidigare nämnt, återskapa dem med 3D-modelleringsprogram. [3]

Samma metod med att fysiskt skapa en skulptur, i exempelvis lera, är något som med fördel kan användas inom industrin vid idé- och konceptutveckling. Detta är även något som ofta görs. [8]

Vid design och konstruktion kan 3D-scanning ge fördelar som bättre passform med andra delar, ersätta gamla delar och ge ökad effektivitet vid arbete av komplexa former och delar. Denna form av arbete kan ofta benämnas som *reversed engineering* inom industrin. En produkt måste ibland exempelvis utvecklas för att få plats mellan andra objekt, eller så skall produkten tillverkas för att passa runt ett annat objekt. [8]

Om CAD används inom ett företag kan 3D-scanning användas till att uppdatera utdaterade CAD-ritningar och säkerställa att verkligheten överensstämmer med CAD-ritningarna. Detta genom att scanna in verkligheten och jämföra med CAD-ritningarna.

Ett annat stort område för 3D-scanning är för att rekonstruera och spara kulturarv digitalt – för bevarande till framtiden.

3D-scanning har även fått betydelse inom medicinska områden. Dels för skapandet av fixturer och proteser, men även för introvert scanning.

Sammanfattningsvis kan 3D-scanning leda till stora kostnadsminskningar. [3]

2.4 Använd utrustning

För arbetet krävdes en del utrustning, både fysisk och i form av programvaror. Bland den fysiska utrustningen, som kan behöva förklaras mer ingående, hör *DPI-7* (den handhållna 3D-scannern), *Focus X 330* (den stationära 3D-scannern) och *EDGE* (CMM-armen). Nedan ges mer teoretisk bakgrund till dessa komponenter samt om programvarorna som användes, utöver vanliga desktopprogram som exempelvis office-paketet.

Övrig nödvändig utrustning, som används i testerna beskrivs kortfattat under rubriken *Övrig Utrustning* nedan.

2.4.1 DPI-7

DPI-7 (se Figur 2-2) är en handhållen scanner som tillverkas av *DotProduct3D*. Den väger mindre än 1kg och kostar ungefär en tiondel av FARO Focus x 330.

Hårdvaran som den använder sig av är *ASUS Xtion Pro* och surfplattan *Google Nexus 7*. *Google Nexus 7* använder sig av operativsystemet *Android 4,2*. Produkten som *DotProduct3D* tillhandahåller är en app, *3DPHI* (läs mer under kapitel 3.2), som används för att samla in, sammanställa, analysera och kombinera data för att slutligen kunna exportera 3D-data på objekt.

I Figur 2-3 ses samtliga delar som DPI-7 kittet består av.

ASUS Xtion Pro är en djupfält rörelsesensor som lanserades 2011. Den använder sig framförallt av en form av *structured light* teknik. Ett spräckligt infrarött mönster



Figur 2-3 Delarna som DPI-7 består av

projiceras, som med samma metod som för *structured light*. Detta mönster registreras av en infraröd-kamera. Mönstren som registreras delas upp i delar/områden som jämförs mot referensmönster, som finns lagrade i enheten. Detta resulterar i information om avstånd och förbättrar även information om punktens färg. Informationen som ges (färg och avstånd) från mätningen med det infraröda ljuset kombineras och matchas med pixlar från en bild tagen med en vanlig RGB kamera. Denna RGB kamera har upplösning 640x480 pixlar vid 30 bilder per sekund och 320x240 pixlar vid 60 fps.



Figur 2-2 DPI-7 monterad

I *PHI3D* har *DotProduct3D* implementerat funktionen att använda sig av en kalibreringsfil som förbättrar registreringen som sensorn gör på det som scannas.

Google Nexus 7 är en vanlig surfplatta med operativsystemet Android 4,2 och den lanserades 2012.

I Tabell 2-1 kan toleranserna som *DotProduct3D* har angett för scanning med sin produkt *DPI-7* vid olika avstånd.

Tabell 2-1 Tillverkarens angivna toleranser för *DPI-7*

Avstånd	Typisk Noggrannhet (RMS)	Maximalt rapporterat fel
1 m	2 mm	4 mm
2 m	6 mm	9 mm
3,5 m	10 mm	16 mm
>3,5m	Ej specificerat	Ej specificerat

2.4.2 FARO Focus X 330

FARO har en 3D-scanner som heter *Focus X 330* (se Figur 2-4). Det är en 3D-scanner av sorten phase-shift. Som det står beskrivet om i kapitel 2.2 har scannrar av typen *phase-shift* en bra räckvidd. Detta är även fallet för *Focus X 330*, som har en räckvidd på 0.6m-330m (både inom- och utomhus). Den har en tolerans på +/- 2mm. För mer teknisk information se Bilaga 10.

Liksom för *DPI-7* kombinerar *Focus* sin 3D-scanning med fotografering från en vanlig kamera.

Focus X 330 väger 5,2kg och är en stativmonterad scanner.



Figur 2-4 *Focus X 330*

2.4.3 FARO Edge, CMM-arm

CMM står för *coordinate measuring machine* och är ett 3D-mättnings instrument som behöver kontakt med ett föremål för att skapa 3D-mätdata på det. Kontakten sker med en så kallad probe. Det är en stabil och exakt mätning – bortsett från att mätningen kan påverkas om föremålet rubbas när det mäts, då mätningen kräver kontakt med föremålet.[4]

En annan stor nackdel med CMM-armen är att den är relativt långsam i förhållande till andra scanningsmetoder. Till skillnad från exempelvis laser scannrar, som kan mäta mellan 10 till 500 kHz kan CMM endast mäta vid några hundra Hertz. CMM är alltså relativt långsam i förhållande till vissa andra tekniker.[3]

I detta arbete användes CMM-armen *Edge* från *Faro*. På denna kan även en form av scanner monteras, utöver den vanliga *probe*-mätningen. Denna scannermodul kan ses monterad i Figur 2-5. Scannermodulen ersätter det vanliga handtaget och gör CMM-armen till en *beröringsfri* scanner istället för en av typen *beröring*. Det är denna scanningsmodul som använts när det i arbetet omnämns CMM-scanning.



Figur 2-5 CMM-arm med monterad scanner-modul

Vid CMM-mätning är det *proben* som använts. För Probe-mätning användes ett högprecist, konformat verktyg med en perfekt rund boll (med diametern 6mm) som spets (se Figur 2-7).



Figur 2-7 Probe-verktyget, "6mm Ball Probe"

CMM-armen (som den användes) kan ses i Figur 2-6)

Enligt tillhörande specifikationer för *FARO Edge* anges det att toleransen för mätning av enskild punkt är 0.029mm och för mätning mellan punkter (avstånd) har toleransen +/- 0.041mm.



Figur 2-6 CMM-armen, som den användes

2.4.4 Programvara

De program som har använts i arbetet (utöver vanliga program, exempelvis textredigerare och web-brower) är *SCENE*, *ATS Scan Filter* och *Geomagic Control*.

SCENE är ett program framtaget av *FARO* för 3D laser-scanning och då framförallt för deras egen produktfamilj för 3D-scanning, *Focus*. Med *SCENE* kan scannad punktmolnsdata processas och hanteras. I programmet finns funktioner som möjliggör automatisk objektigenkänning, registrering och positionering med flera kombinerade scannningar. Programmet kan även placera scannningar rätt i förhållande till varandra – både med och utan targets.[10]

ATS Scan Filter är ett konverteringsprogram framtaget av *ATS AB*. Den klarar av att konvertera till format som XYZ, RCXYZ, CPC, E57 och PTS. Den har även extrafunktioner som gör att den kan filtrera data vid konvertering. I detta arbete har ingen filtrering använts och de format som kommer användas är XYZ, E57 och PTS, samtliga utan filter.

XYZ är ett format där varje punkt lagras enskilt (rad för rad) som koordinater.

Det kan även förekomma att färg för varje punkt lagras. Färgen sparas då i de tre sista värdena på en rad. Värdena för färg sparas enligt RGB-färgkodning.

E57 är ett relativt nytt (standardiserat av ASTM) kompakt open-source format för att lagra punkt-moln, bilder och metadata skapade av 3D avbildnings system som exempelvis laser scanners.[11]

PTS är till stor del samma som XYZ, båda är av typen ASCII. Det som skiljer är att PTS kan ha ett extra värde mellan koordinaterna och färgvärdena för punkten. Värdet på denna plats talar om vilken gråskala-intensitet punkten har. Detta värde ger möjligheten att antingen se punkterna i gråskala eller i färg. PTS kan även ha information i början av filen som talar om hur många punkter filen innehåller.

Geomagic Control är en tillverkare av programvaror för 3D-design, -konstruktion och -teknik. Deras program stödjer bland annat registrering av 3D-mätningar, som de som görs med CMM-arm.

2.4.5 Övrig Utrustning

Till scanningar och mätningar behövs även utrustning för att kontroll-kalibrera CMM-prob, mäta ut referenser samt lokalisera och registrera referenser i scanningsdata.

För kalibrering av CMM-prob behövs en kalibreringsfixtur (se Figur 2-8) denna används för "Hole Compensation Calibration" i *Geomagic Control*.

Vid kalibrering av CMM-scanner behövs en kalibreringsplatta med mycket exakta och goda egenskaper (se Figur 2-9).

För att skapa referenspunkter används magnetfästen (se Figur 2-10). Dessa används för att låsa referensutrustning mot metallytor. En offset-stav (se Figur 2-12) används för att erhålla en offset från magnetfäste till referenspunkt. Denna offset motsvarar avståndet till centrum för både checkerboard (se Figur 2-13) och sfär (se Figur 2-11).

Samtliga av dessa tre verktyg för referenspunkter (checkerboard, sfär och offset-stav) har ett snabbfäste, som utvecklats av ATS. Det består av en passiv magnet på undersidan av deras fäste. Denna magnet fästs mot en cirkulär bricka, med väldigt exakt preciserade egenskaper. Denna bricka är bland annat fastmonterad på magnetfästets ovansida, men kan även monteras på väggar och andra fasta föremål och ytor.

Detta kompletta system möjliggör att utrustning för referenser lätt kan bytas fram och tillbaka för olika mätningar och scanningar – utan att en referenspunkt rubbas.

Checkerboard används som targets för referenspunkter vid scanning med DPI-7 och sfärer används på motsvarande sätt för scanning med Focus.



Figur 2-8 Kalibreringsfixtur för Probe-mätning



Figur 2-9 Kalibreringsplatta för CMM-scanner



Figur 2-10
Magnetfäste med
brick-fäste



Figur 2-12
Offset-stav



Figur 2-11 Target -
sfär



Figur 2-13 Target -
Checkerboard

3 Metod

I det här kapitlet beskrivs metoderna som använts för de olika momenten (i den utförda ordningen) i arbetet. Arbetet kan delas upp i olika huvuddelar, *Erhålla grundläggande kunskap*, *Arbeta i Geomagic Control*, *Scanning i PHI3D med DPI-7* och *Arbeta i SCENE*.

3.1 Erhålla grundläggande kunskap

För att få en grundläggande förståelse för utrustningen som skulle användas gjordes faktasökningar om olika 3D-scanningstekniker och manualen för DPI-7 lästes. För att få kunskap om hur utrustning och programvaror fungerade gavs även handledande instruktion från anställda på företaget. Slutligen gjordes introducerande tester med DPI-7.

3.1.1 Studerande av fakta

För att få en förståelse om området för arbetet och funktioner hos utrustningen gjordes sökningar på internet, i manualer (som fanns på ATS AB) och med sökningar i databasen *Summon*, som är Chalmers biblioteks verktyg för databassökning (både i deras- och andras databaser).

Sökningar som gjordes på internet gav bra information om sensorn som DPI-7 använder, olika 3D-scanningstekniker och vad de har för för- respektive nackdelar.

Den manual som bland annat lästes och som gav mest behjälplig information för arbetet var den för DPI-7. Det var med denna manual som kunskap erhöles om hur de olika funktionerna i DPI-7 fungerar och hur de används.

3.1.2 Instruerande handledning

Mycket av utrustningen och programvaran som användes i arbetet är avancerad, med många funktioner och tillämpningsområden. Det snabbaste sättet att erhålla den grundläggande kunskap som behövdes var att bli instruerad av någon som kunde det.

De anställda på företaget erbjöd sig att ge guidning och instruktioner som snabbt resulterade i grundläggande och nödvändig kunskap – om utrustning och programvaror.

Den utrustning och programvara som detta gällde var CMM-armen (både kalibrering, mätning och scanning), *Focus*, *Geomagic Control* samt *SCENE*.

Något som var väldigt viktigt vid användning av CMM-armen var att den hade kontrollkalibrerats innan mätning och scanning (se kapitel 3.2.1 respektive kapitel 3.2.3).

3.1.3 Introducerande tester

De introducerande testerna som gjordes dokumenterades inte då de inte var tänkta att användas för något resultat.

Huvudsakligen testades DPI-7 men det gjordes även tester med CMM-armen och i liten utsträckning *Focus*.

Det första som gjordes med DPI-7 var att testa funktionerna som det stod beskrivet om i manualen för DPI-7. Efter att funktionerna testats kunde en grov metodik tas fram för att gå från scanning med DPI-7 till att bearbeta scanningsdata i *Geomagic Control*.

När denna grova metodik för hur handhållen scanning hade kartlagts gjordes även tester med mer avancerade funktioner som att med checkerboards placera den handhållna scanningen mot utmätta referenser. Alltså transformera scanningsdata till

önskat koordinatsystem. Koordinatsystemet och utmätning av referenspunkterna bestämdes med CMM-armen.

3.2 Arbeta i Geomagic Control

Geomagic Control var programvaran som användes tillsammans med CMM-armen, både för scanning och probe-mätning. För att kunna scanna eller mäta med CMM-armen behövde CMM-armen kontroll-kalibreras inför varje tillfälle. Detta gjordes med verktyg i *Geomagic Control*.

Geomagic Control användes även till att bearbeta, analysera och jämföra 3D-scanningsdata.

3.2.1 Kontroll-kalibrering av CMM-probe

Både för att kunna mäta och scanna med CMM-armen behövdes den kontroll-kalibreras innan användning. Detta gjordes i *Geomagic Control* med probe-verktyget "6mm Ball Probe" (se kapitel 2.4.5). Som namnet antyder bestod verktyget av en boll-spets som hade en diameter på 6mm. Detta verktyg hade oerhört exakta egenskaper (form och yta), detta för att kunna ge exakta kalibreringsvärden.

Till denna kontroll-kalibrering behövdes även en fysisk kalibreringsfixtur (se kapitel 2.4.5) denna sattes fast ordentligt, för att inte kunna rubbas vid kontakt med probe-verktyget.

Om CMM-armen inte hade använts sedan den senaste påslagningen behövdes även alla leder roteras ett varv. Detta instruerades med en interaktiv guide som visade med röda pilar vilka leder som behövde roteras. När alla leder roterats försvann guidningsfönstret automatisk.

Därefter valdes fliken Capture. I menyraden som visades valdes "Probe Capture", detta öppnade ett fönster till vänster om fönstret för 3D-vyn. I detta fönster valdes "Probe Options" och därefter "Hole Compensation". Efter detta öppnades en interaktiv guide för kalibreringen. När denna guide hade följts erhöles kalibreringsvärden, dessa sparades automatiskt i en log-fil i programmet.

Denna kalibreringsprocess upprepades ytterligare två gånger för att säkerställa att det erhållna värdet var pålitligt. Efter detta valdes "View Log" istället för "Hole Compensation" (se beskrivning ovan). Då öppnades en tabell med samtliga kalibreringsvärden. Av erfarenhet och uppskattning kunde en bedömning sedan göras huruvida kalibreringsvärdena för de nyss gjorda kalibreringarna var tillräckligt lika. Om de var det (i förhållande till CMM-armens tolerans) väljs den mest lämpliga. Efter detta kunde CMM-probens kalibrering anses vara kontrollerad och eventuellt godkänd. Var den inte detta upprepades hela processen tills kalibreringsvärdena var goda.

3.2.2 Mätning med CMM-probe

Efter att CMM-proben hade kalibrerats kunde mätningarna med den genomföras. Mätningar kunde göras på många olika sätt. Sättet som valdes för att mäta ut referenspunkterna koordinater var att gå till fliken Capture och där välja (i följande ordning) "Scan", "Probe Capture", "Single Points" och slutligen "Start Capture". Genom att trycka på den gröna knappen på CMM-armens handtag mättes en punkt ut för den position spetsen vid detta tillfälle hade. När önskat antal punkter hade mätts avslutades mätningssläget med den röda knappen på handtaget.

Vid referensmätningen underlättade det vid exporteringen om varje referenspunkt sparades i separata punktmoln/komponenter i ett projekt i *Geomagic Control*. För att göra detta upprepades processen ovan för varje referenspunkt.

För att exportera referensernas koordinater valdes fliken "Analysis" och där (i den övre menyraden) "Point Coordinates". Viktigt var att den referenspunkt, som det önskades erhålla koordinater för, måste vara markerad i projekt-trädet innan "Point Coordinates" väljs. Annars syntes inte punkten. Därefter markerades den sökta referensen (skulle bara synas en punkt som gick att markera) i 3D-vy fönstret. I fönstret som öppnades till vänster hamnade denna punkt med sina koordinat-värden. Redan vid detta skede var det bra att namnge punkten och se till att "Include labels on export" var markerad, innan koordinaten exporterades med knappen "Export". Filformatet som valdes för exporten var CSV.

När samtliga referenspunkter hade exporterats fick de manuellt kombineras till en fil i programmet Microsoft Office Excel.

Data från denna CSV-fil användes sedan till registrering av targets i DPI-7 (exporterades till enheten) och gjordes även manuellt om (i Microsoft Office Excel) till kolumnavgränsad data. Den kolumnavgränsade datan sparades fortfarande i filändelsen csv, men i filen var datan sparad på olika sätt.

Den kolumnavgränsade versionen av datan användes till registrering av targets (sfärer) i SCENE, för Focus scanningsdata.

3.2.3 Kontroll-kalibrering av CMM-scanner

Kontroll-kalibrering av CMM-scannern behövde göras innan tillförlitlig scanning med denna kunde utföras.

För att kalibrera CMM-scannern användes CMM-proben. Därför var CMM-proben tvungen att vara kontroll-kalibrerad (se kapitel 3.2.1) innan kontroll-kalibrering för scannern kunde utföras.

Till kalibreringen av CMM-scannern behövdes även en kalibreringsplatta (se kapitel 2.4.5).

När CMM-proben hade kalibrerats (se kapitel 3.2.1) startades kalibreringsguiden för scannern i *Geomagic Control* genom att först gå till fliken "Capture". Där valdes i följande ordning "Scan", "Laser Capture", "Calibrate Scanner" och slutligen "Plane Compensation". Därefter öppnades en interaktiv guide som tydligt visade varje steg för kalibreringen.

Efter att kalibreringen är genomförd bör den (liksom för kalibreringen av probe) upprepas minst två gånger till för att kalibreringsdatans värde skulle kunna verifieras som god. Kalibreringsdatans värde kunde ses i en logfil genom att välja "View log" istället för "Plane Compensation".

3.2.4 Scanning med CMM-scanner

Scanning med CMM-scannern gjordes med *Geomagic Control Studio*. Scanningen initierades genom att först välja fliken "Capture" och i menyn som visades trycka på Scan (under kategorin "Collect"). I "Dialog"-fönstret till vänster i programmet valdes sedan "Laser Capture" följt av "Start Capture". Efter detta var programmet redo för registrering av scanningsdata. Genom att trycka på den gröna knappen på scannermodulen startades en registrering. Registreringen avslutades med den röda knappen på scannermodulen. Flera registreringar kunde göras i rad och de lades då

automatiskt i samma komponent i projekt-trädet. Projekt-trädet namngavs som "Model Manager" i fönstret till vänster i programmet.

Dessa komponenter var punktmoln som i efterhand antingen kunde hanteras enskilt eller i kombination.

3.2.5 Bearbetning av punktmoln

Geomagic Control var det program som användes för att redigera punktmolnsdata. Behövde områden med punkter tas bort eller filtreras gjordes detta med *Geomagic Control*.

Som regel behövdes alltid scanningar med DPI-7 bearbetas i *Geomagic Control*. Områden som inte var intressanta och låg för långt bort från objektet som hade scannats togs bort genom att markeras med musen följt av att trycka på delete-knappen. I viss mån filtrerades även datan genom att använda funktionerna *Reduce Noise*, *Select- Outliners* respektive *Disconnected Components*.

3.2.6 Analysera punktmoln

När punktmoln (scanningsdata) skulle analyseras tillhandahöll *Geomagic Control* de nödvändiga verktygen för detta.

Den funktion som användes för att analysera datan var 3D Compare under fliken Analysis. För att kunna använda den här funktionen behövde en komponent/punktmoln anges som referens och en annan som test. Detta gjordes genom att högerklicka på komponenten och i menyn som dyker upp välja "set reference" respektive "set test". Det var även nödvändigt att en av komponenterna var konverterad till en *mesh*. Annars gick inte analysen att genomföras. Den som var konverterad till mesh var den som sattes till referens.

Inställningarna för 3D Compare som gjordes för analyserna vid Circlemeasure och Linemeasure var att punkter bortanför 20mm och mer än 45° ifrån motsvarande referensdata skulle bortses ifrån och spektrumet skulle delas in i 15 intervall med de "undre" gränserna +/- 1mm och "övre" gränserna +/-20mm (se i bilaga 2 till 7).

Inställningarna för 3D Compare som gjordes för analyserna av den kombinerade scanningsdatan var till stor del de samma som för de andra testerna (nämnda ovan), med skillnaden av avståndet bortanför vilket punkter bortsågs från var 50mm istället för +/- 20mm. Även de "övre" gränserna för spektrumet sattes till +/- 50mm istället för +/- 20mm.

Resultatet av 3D-analysen visades med hjälp av ett färgspektrum – som visade hur stor skillnad det var mellan test-objektet och referens-objektet.

Från analysen erhöles även värden för standardavvikelser och RMS-avvikelser för testobjektet i förhållande till referensobjektet.

Vid de kombinerade scanningarna användes inga targets, vilket resulterade i att scanningarna hade olika koordinatsystem och därmed hamnade långt ifrån varandra. För att lösa detta användes funktionen *Best fit Alignment* under fliken *Alignment*. Här var det viktigt att den ena datan var konverterad till mesh, annars blev beräkningarna för omfattande och datorn kunde krascha av överbelastning.

3.3 Scanning i PHI3D med DPI-7

För att scanna med DPI-7 måste sensorn vara ansluten till Nexus-plattan. Därefter startas appen PHI3D. Denna app är en stor del av produkten DPI-7. Det är i denna app all scanning, matchning mot targets, optimering och exportering av 3D-data sker.

En annan viktig del av produkten DPI-7 är en kalibreringsfil som laddas in i PHI3D innan första scanningen enligt instruktioner i manualen för produkten. Denna kalibreringsfil ger en märkbar ökad prestanda på sensorn som DPI-7 använder sig av.

När scanning skall startas väljs fliken *Image*. Innan scanningen kan startas behöver sensorn värmas upp. Tid och status för uppvärmningen visas i fönstret för *Image*.

Första gången (för varje tillfälle) är det rekommenderat att sensorn får värmas upp i ca 30min – de scannningar som följer tätt efter behöver sedan ungefär 1minuts uppvärmning. När uppvärmningen har skett startas scanningen genom att trycka på *Start*.

I PHI3D syns en bild av det sensorn ser. Genom att röra scannern i små rörelser (gärna cirklar) skiftas färgen på objekten som syns på bilden från rött, gult och till grönt. Röd färg på något innebär att det inte finns bra data på det objektet/ytan och att mer scanning mot den behöver göras. Grön innebär att det finns bra data på objektet/ytan och att vidare scanning inte behövs. Gul färg är ett mellanting mellan rött och grönt – vilket innebär att det finns data, men att det är halvbra kvalitet på den. Det skall alltid eftersträvas att få helt grön registrering på det som önskas bli skannat.

Scanningen stoppas genom att trycka på knappen *Finish*. Efter avslutad scanning autosparas den in-scannade datan. Det går även att spara den inskannade datan manuellt.

När scanningen stoppats kan datan antingen direkt exporteras till dator eller först förbehandlas med matchning mot targets och/eller optimering av datan – denna sistnämnda funktion görs fördelaktig mot targets).

För att exportera datan väljs fliken *Export*. Där kan ett önskat namn för scanningen anges, var på SD-kortet i Nexusen datan skall sparas, vilket format samt om någon transformation skall appliceras. Eftersom det är rekommenderat att datan optimeras innan exportering kommer en fråga dyka upp om datan verkligen skall exporteras utan optimering.

För att optimera datan väljs fliken *OPT*. Optimeringen startas genom att trycka på knappen *Global Optimization*. För att öka noggrannheten och minska eventuell avdrift av inskannad data är det rekommenderat att använda targets. Targets kan användas för att förbättra matchningen av data (under fliken *Targets*), förbättra optimeringsprocessen och även användas för att transformera scanningen till ett önskat koordinatsystem.

I kapitel 3.2.2 beskrivs hur koordinaterna för targets exporteras till en csv-fil, som DPI-7 kan använda. CSV-filen sparas på Nexus-plattans SD-kort och används under fliken *TARGETS*.

Den in-scannade datans matchning mot targets (i form av checkerboards) mot de önskvärda koordinaterna i CSV-filen görs genom att trycka på fliken *TARGETS*. CSV-filen laddas genom att trycka på knappen *Load Targets File* – varpå filen kan väljas. Därefter går utvalda bilder igenom manuellt. Användaren får själv markera en target i bilden (max en target per bild går att välja) och koppla denna till ett *Target ID*. Det går bara att markera checkerboards som PHI3D har upptäckt, då den automatiskt hittar centrum på

checkerboards. En target kopplas till önskad koordinat genom att trycka på knappen *Set Target ID*. Där väljs det namn som skall överensstämma med den valda checkerboarden. Proceduren upprepas tills minst tre olika targets har kopplats. Matchningen startas genom att trycka på *Fit All Targets*. Det är viktigt att rätt enhet för koordinaterna väljs innan matchningen startas.

När matchningen mot targets är gjord kommer optimering som sker därefter automatiskt att göras mot targets. Detta är som tidigare nämnt rekommenderat, då optimeringen blir bättre.

Dessutom går det efter matchningen mot targets att exportera datan med transformationen *CONTROL Targets*. Vid denna vald kommer scanningen att transformeras för att hamna i target-koordinaternas koordinatsystem.

I det här arbetet har all enskild scanning med DPI-7 gjorts mot targets (alltså för samtliga utom den kombinerade scanningen). Vidare har exportering av data gjorts med transformeringen *CONTROL Targets* och formatet som scanningen exporterats till har varit *PTS XYZIRGB*, alltså PTS-formatet (se kapitel 2.4.4). Enheten som använts vid exportering har varit meter.

Vid den kombinerade scanningen optimerades scanningen utan targets och vid exportering valdes istället transformationen *Z is Up*. [Bilaga 8]

3.4 Arbete i SCENE

I SCENE görs all registrering (matchning) mot sfärer för scanningar med Focus. Det är även i detta program som det är tänkt att matchningen för mellan DPI-7 till in-scannad data av Focus skall ske – genom funktionen *cloud-to-cloud*.

3.4.1 Registrering Focus

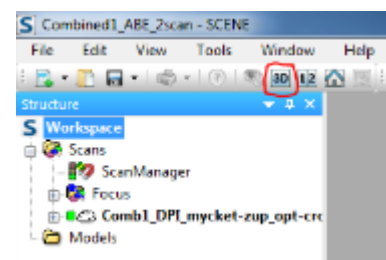
För att sammanställa scanningsdata från Focus behöver först ett nytt projekt skapas i SCENE. Detta görs genom att längst upp till vänster i fönstret välja *File>New>Project*. När ett projekt finns klistras scanningsfilerna (raw-format) från Focus (via SD-kort) in till mappen *RawScans* i projektets mapp (på datorn). När datan ligger i denna mapp kan den importeras till projektet genom att dra och släppa dem i workspace-trädet i SCENE.

När scanningsdatan är importerad kombineras den (om det är flera scanningar) genom registrering mot targets. Högerklicka på *Scans* i workspace-trädet och välj i menyerna som dyker upp: *Operations>Preprocessings>Preprocess Scan*. I fönstret som dyker upp är det viktigt att kryssa i rutan för Detect artificial references, Spheres och Place Scans – resterande rutor skall vara ur-kryssade. Därefter registreras scanningarna och sfärer från de olika scanningarna matchas mot varandra (mellan de olika scanningarna). Det är viktigt att kontrollera att sfärerna har blivit korrekt matchade och att inget objekt som ser ut som en sfär har registrerats som en sfär. Med verktyg i SCENE går det både att ta bort och lägga till sfärer som markerats felaktigt respektive inte alls. Kvaliteten på matchningen går att analysera i programmet.

3.4.2 Cloud-to-cloud

Denna funktion användes endast för den kombinerade scanningen.

För att förflytta och matcha DPI-7 scanningar till redan



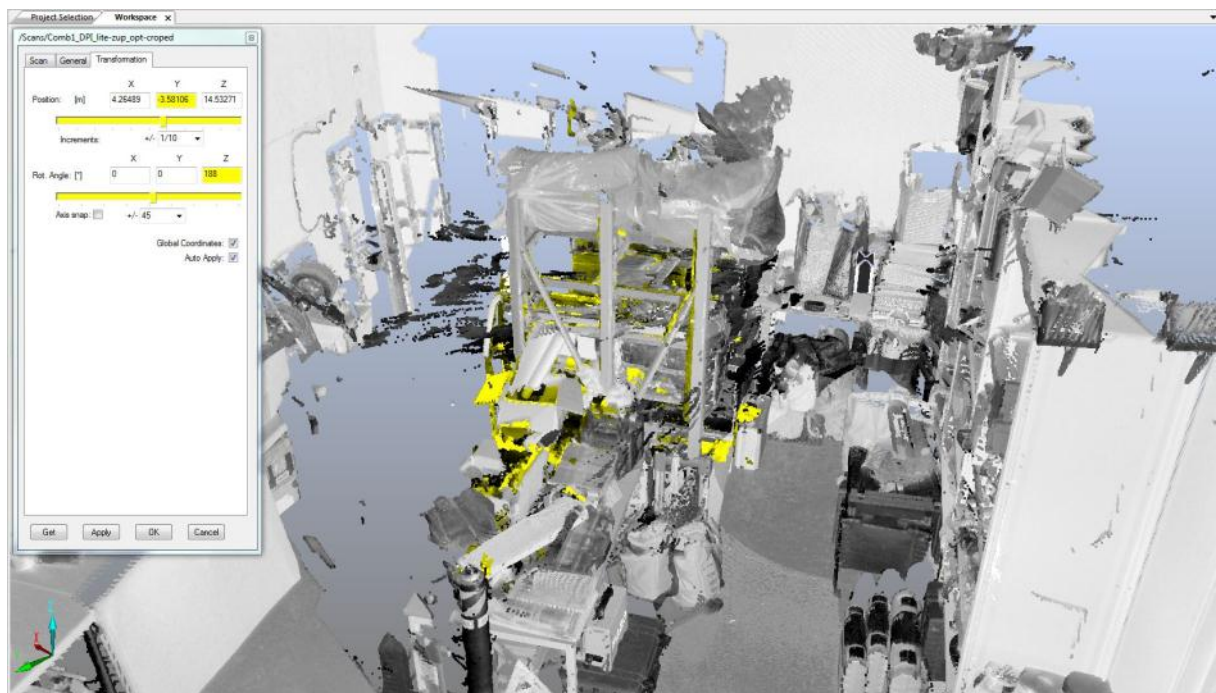
Figur 3-1 Knapp för 3D-vy

existerande punktmoln från Focus-scannningar användes funktionen *cloud-to-cloud* i SCENE.

Innan scanningsdata från DPI-7, som hade blivit bearbetad i *Geomagic Control* (se kapitel 3.2.5), kunde importeras till SCENE behövde formatet konverteras med ATS Scan Filter. Formatet konverterades från XYZ till E57. Detta gjordes då formatet som datan sparades i (från *Geomagic Control*) var i xyz-format. Det var ett format som krävde mer datorprestanda i SCENE än E57-formatet.

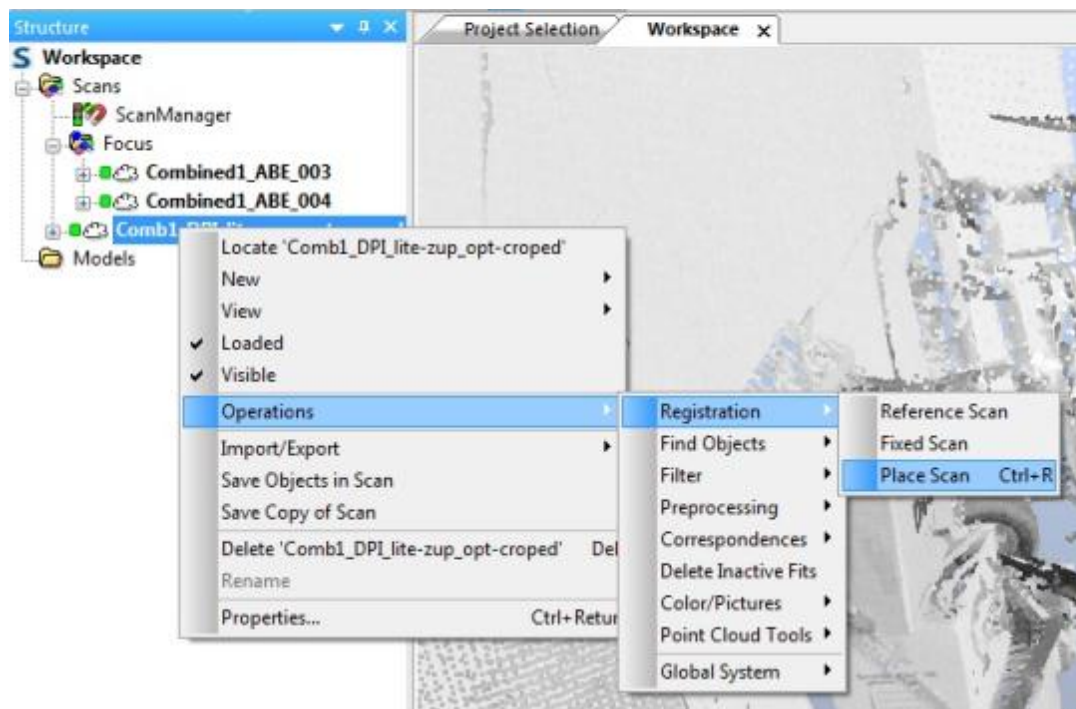
Därefter importerades E57-filen till SCENE genom att dra den från mappen (där den var sparad) till Workspace-trädet i SCENE. Det nya punktmolnet hamnade inte positionerat rätt i förhållande till Focus-datan. Detta kunde observeras genom att trycka på knappen för 3D-vy (inringad med rött i Figur 3-1). För att kunna fortsätta krävdes det att scanningsdatan från DPI-7 låg grovt överlappande (inom 10cm) från referensmolnet – annars skulle *cloud-to-cloud* beräkningarna bli för omfattande (tidskrävande och risk att datorminnet inte skulle räcka till). Detta gjordes genom att högerklicka på DPI-7 scanningen i *Workspace*-trädet och välja *Properties*. I fönstret som öppnas valdes *Transformation* – det såg då ut som i Figur 3-2. Det gulmarkerade i 3D-vyn var det som var markerat. I figuren är det DPI-7 scanningen som är gulmarkerad och det är därför denna som kommer påverkas av eventuell transformering.

För att transformera scanningen i x-, y- respektive z-led, eller rotera scanningen runt x-, y- respektive z-axeln, markerades motsvarande ruta för detta (se lilla fönstret till vänster i Figur 3-2). Genom att sedan dra i tillhörande reglage förflyttades/transformerades punktmolnet i önskad riktning (eller önskad rotation). Vid inställningen *Increments* kan magnituden på transformationen som sker vid dragning i reglaget regleras. Processen med att dra i reglagen upprepades tills punktmolnet låg önskvärt i förhållande till referenspunktmolnet.



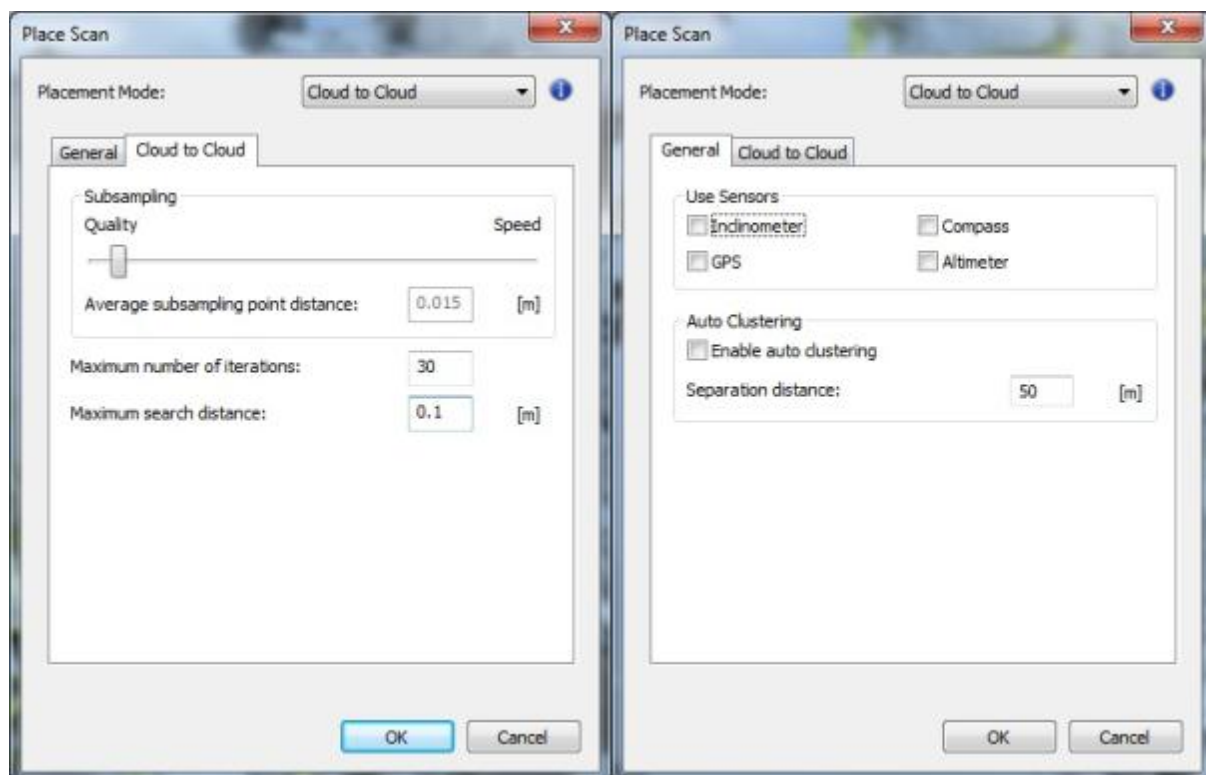
Figur 3-2 Manuell transformation av punktmoln i SCENE

När punktmolnet var grovt inpassat kan funktionen *cloud-to-cloud* tillämpas.



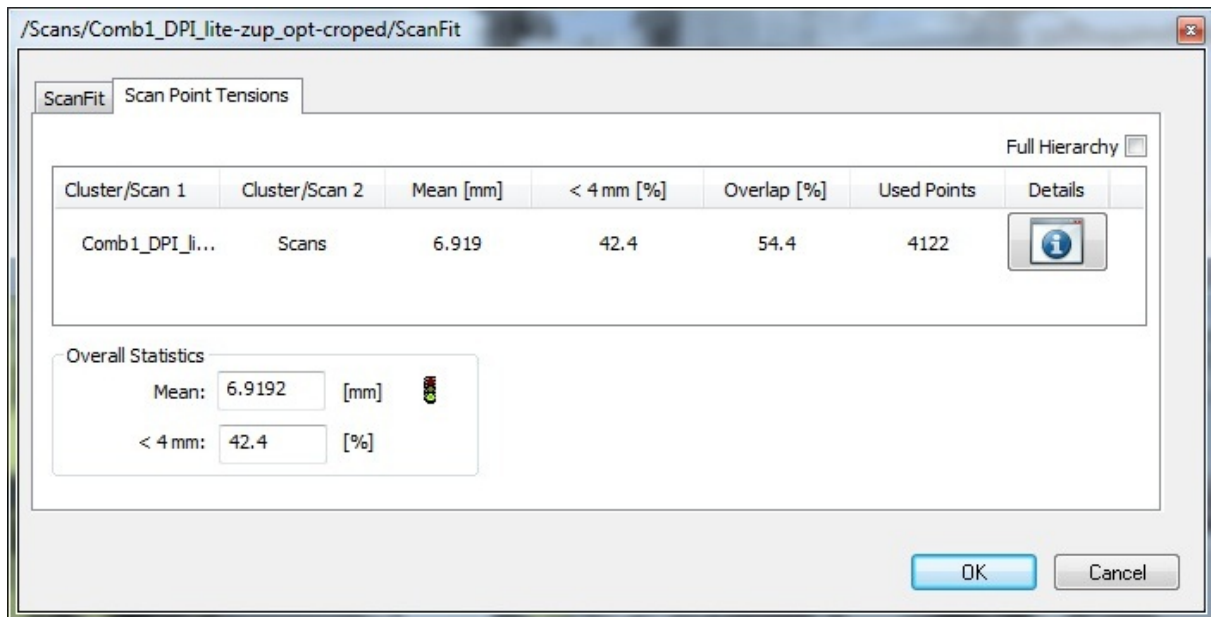
Figur 3-3 Cloud-to-cloud förflyttning görs via alternativet Place Scan för ett punktmoln

Cloud-to-cloud bygger på att ett punktmoln eller cluster med punktmoln sätts som referens. Genom att högerklicka på punktmolnet kan *Place Scan* väljas (se Figur 3-3). Då öppnas ett fönster där det längst upp finns en meny, där väljs alternativet *Cloud to Cloud*. Det kommer efter detta val finnas två flikar att välja mellan. De inställningar som använts i det här arbetet kan beskådas i Figur 3-4. Därefter startades matchningen genom att trycka på "OK".



Figur 3-4 Inställningarna som användes för Cloud-to-Cloud

När matchningen var klar öppnades en ruta med resultatet av matchningen. Under fliken *Scan Point Tensions* kunde resultatet av matchningen ses. Alltså hur nära referensmolnet det flyttade punktmolnet hade hamnade (se Figur 3-5).

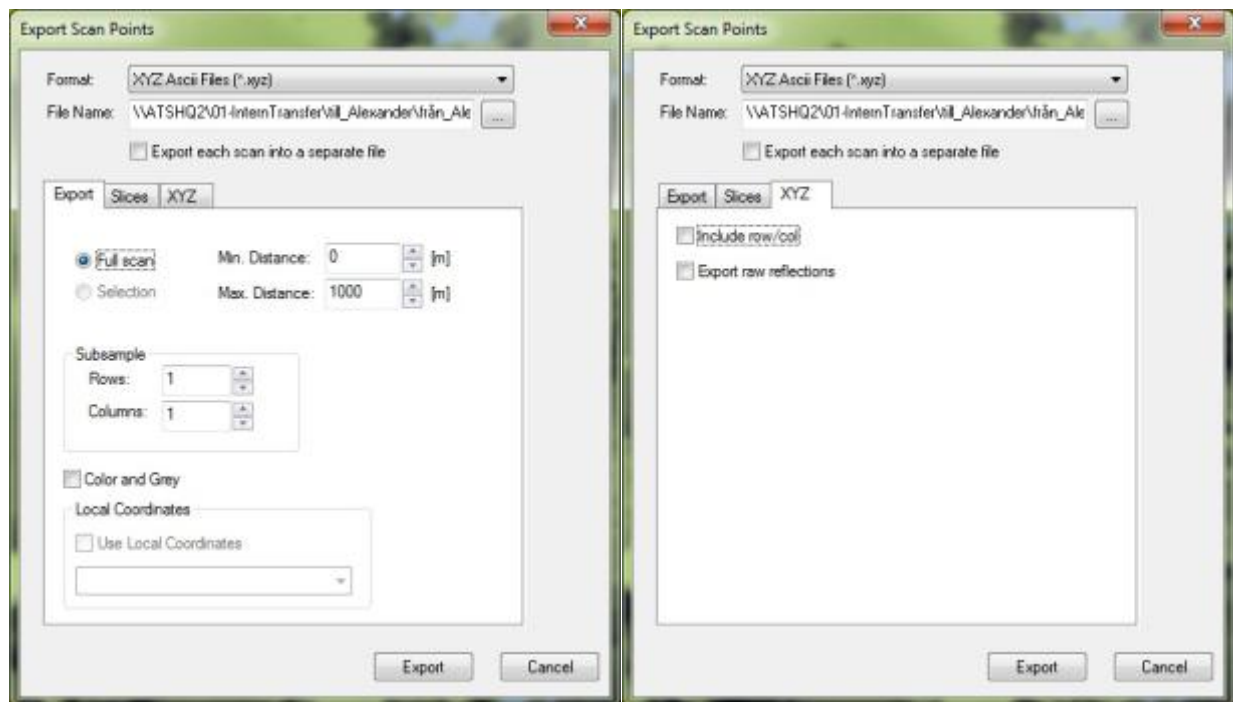


Figur 3-5 Resultatet för hur bra Cloud-to-Cloud blev

När punktmolnen hade kombinerats önskades resultatet av denna kombineringsanalys. Detta gjordes genom att exportera det kombinerade punktmolnet till *Geomagic Control*.

3.4.3 Exportering av punktmoln

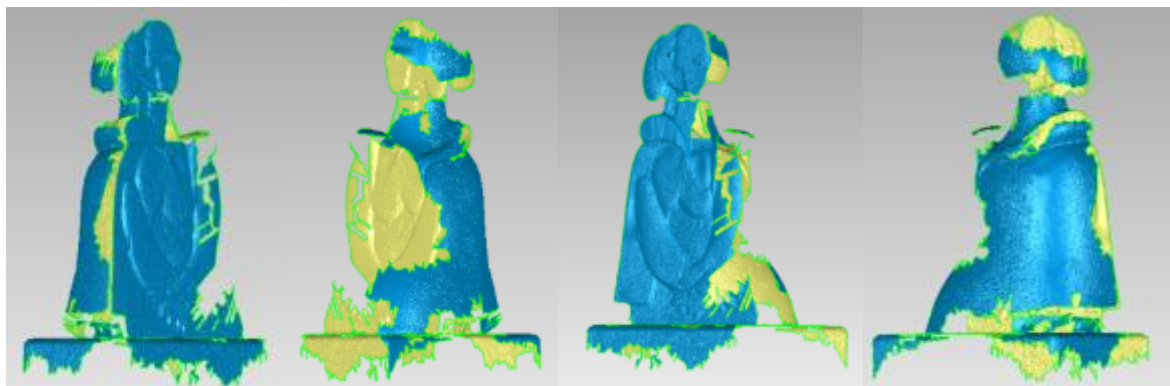
Exporteringen av punktmoln från SCENE görs genom att högerklickar på *Scans* (eller önskad individuellt punktmoln eller cluster) i Workspace-trädet och välja "Import/Export">"Export Scan Points". Detta gjordes med inställningarna som kan ses i Figur 3-6. Under fliken "Slices" markerades ingenting. Det exporterade punktmolnet sparas i formatet XYZ. Hur punktmolnet analyseras i *Geomagic Control* går att läsa om i kapitel 3.2.6.



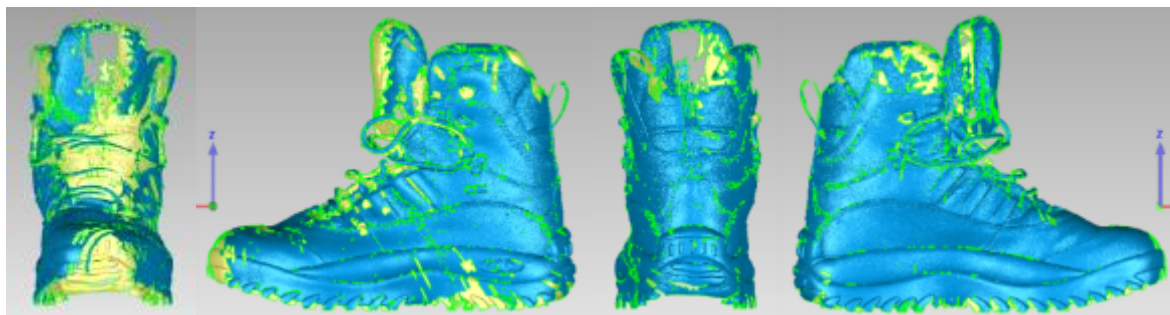
Figur 3-6 Inställningar för exportering av den kombinerade scanningsdatan

4 Resultat av CMM-scanning

CMM-scannerns noggrannhet gjorde den lämplig att använda som referensscanning när den handhållna scannern skulle testas enskilt. Även om den var exakt i det den scannade blev resultatet inte optimalt. Objekten visade sig vara väldigt svåra för denna sorts scanner. I Figur 4-1 och i Figur 4-2 syns resultatet (scanningsdatan i mesh-form) av CMM-scanningen för *Picasso* respektive *Kängan*, som gjordes för tre referenser. De är likvärdiga med de scanningar som senare gjordes med fyra referenser.



Figur 4-1 CMM-scanningsdata för Picasso, med tre använda referenser



Figur 4-2 CMM-scanningsdata för Kängan, med tre använda referenser

Som synes är det mycket data som saknas. Detta kommer självklart påverka resultatet, men bedömningen görs ändå att det inte kommer ge allt för stort utslag vid analyseringen. Anledningen till denna bedömning är att analysen kan utföras på ett sätt som huvudsakligen bara jämför de ytor som finns med i CMM-scanningarna.

5 Handhållen 3D-scanning

Scanningen med den handhållna scannern *DPI-7* från *DotProduct* gjordes delvis enskilt. Detta för att undersöka enhetens noggrannhet, kvalitet och variation på data. För att undersöka dessa saker gjordes först tester på scanning runt två objekt, *Circlemeasure* (på två olika objekt) och sedan en annan test, *Linemeasure*. De scanningar som gjordes med *DPI-7* ställdes i referens mot scanningar med CMM-armens scanner och Focus scannern.

5.1 Circlemeasure

Circlemeasure har valts som benämning på de tester som gjordes när två olika objekt, *Picasso* (Figur 5-1) och *Kängan* (Figur 5-2), scannades in så att hela figuren (bortsett från undersidan, som den står på) kan analyseras. Båda objekten är närmre 25 cm höga och *Kängan* är cirka 30 cm lång.



Figur 5-1
Scanningsobjekt
Picasso

Picasso är en statyett i ett keramik-material och den är närmre 25 cm hög. Den har många komplexa former, ytstrukturer och färger. Större delen av den är svart. Det är både blank och matt svart färg. Det som inte är svart är blanka färgglada färger med struktur i. Detta är betydligt mer komplext på alla de nämnda sätten än *Kängan*.

Kängan är nästan enbart mattsvart bestående av slitstarkt textil och gummi. Det finns vita smutsfläckar framme vid tån och längs sulan.

Objekten valdes för att de var två objekt som fanns tillgängliga på företaget. Valet av *Picasso* gjordes utan erfarenhet eller större eftertanke. Valet av *Kängan* gjordes efter tester med *Picasso*. *Kängan* sågs då som ett lättare objekt att scanna än *Picasso*.

Namnet *Circlemeasure* kommer från att scanningen med *DPI-7* gjordes genom att gå runt objektet i en cirkel, med ett specifikt avstånd till figuren. Avstånden som mätningen utfördes vid var 50, 100 respektive 150 cm från centrum av figuren. Notera att avstånden vid mätningarna kan skilja sig med drygt 5 cm från de angivna avstånden, som en följd av att enheten är handhållen och det enda sättet som avståndet kunde eftersträvas var genom att hålla enheten ovanför en ut-markerad cirkel på bordet (och över golvet där bordets yta inte räckte till).



Figur 5-2
Scanningsobjekt *Kängan*

Circlemeasure-testet är utformat för att undersöka hur noggrann *DPI-7* är jämfört med CMM-scannern, som kan antas representera verklighetens mått.

Det görs även scanningar med *Focus* för att jämföra kvalitén mot enheten som det senare är tänkt att *DPI-7* skall kunna komplettera genom att scanningsdata kombineras.

Vidare ger testet med scanning vid olika avstånd ett resultat på hur god kvalitet och låg variation scanning med *DPI-7* ger.

5.1.1 Utformning av test

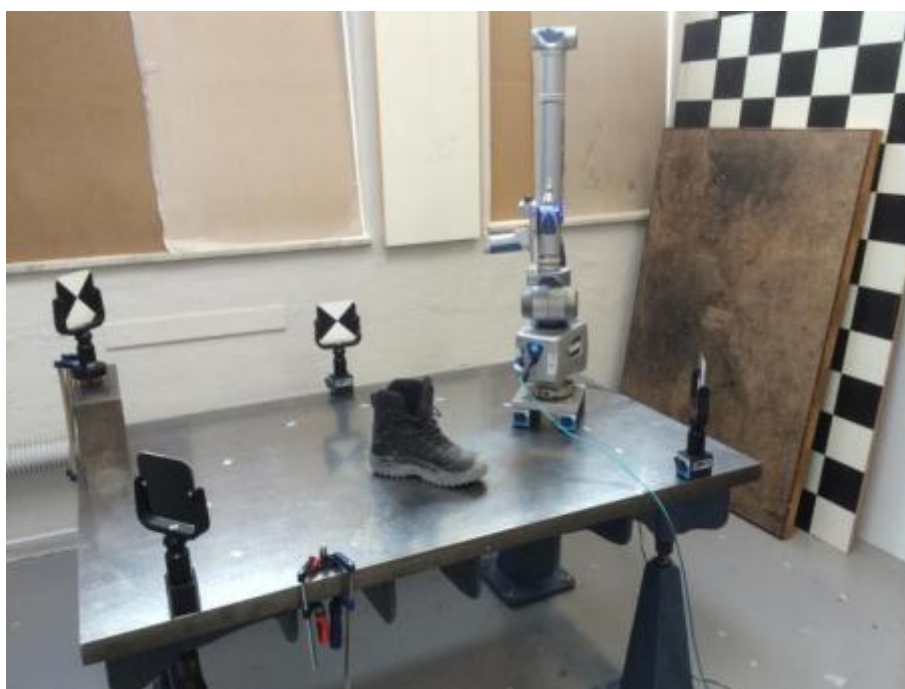
Vid utformning av teststationen var det först viktigt att ta hänsyn till CMM-armens räckvidd och noggrannhet. Därför valdes ett stabilt mätbord med måtten 150x100 cm att arbeta på. CMM-armen placeras sedan på ett sätt så att den hade en räckvidd över väsentliga delar av mätbordet – där mätning skulle utföras.

På mätbordet placerades objektet som skulle scannas. De tre olika avstånden (50cm, 100cm och 150cm) till centrum av objektet uppmättes med tumstock och markerades ut med tejpbitar på mätbordet och golvet.

I Figur 5-3 kan teststationen ses med tre referenser och i Figur 5-4 kan teststationen ses med fyra referenser. De tidigare tre referenserna från teststationen med tre referenser är alltså de samma även vid stationen med fyra referenser.



Figur 5-3 Uppställning för Circlemeasure med tre referenser



Figur 5-4 Uppställning för Circlemeasure med fyra referenser

5.1.2 Innan scanning

Det första som görs vid testningen är att kalibrera CMM-scannern (se kapitel 3.2.3) och därefter också scanna objektet med den. Detta görs för att få en referensscanning som senare kan jämföras mot scanningarna med DPI-7 och Focus.

Circlemeasure genomfördes med både tre och fyra referenser för att undersöka om resultatet skiljer sig mellan de olika fallen.

Först utfördes testerna med tre referenser. Dessa referenser utgjordes av *checkerboards* för *DPI-7* scanningarna och sfärer för scanning med *Focus*. Dessa två referensverktyg (se kapitel 2.4.5) är gjorda med samma centrum, referenspunkten.

För att mäta ut referenspunktens koordinater användes CMM-armens probe-instrument. Innan probe-instrumentet används måste det kalibreras (se kapitel 3.2.1). I Tabell 5-1 kan kalibreringsdatan som erhöles ses, där den översta- och grå-markerade raden är den kalibreringen som användes för mätningarna. Låga värden på *2 Sigma* och *Max Fel* är önskvärt.

Som kan ses i Tabell 5-1 är det maximala felet för inmätningarna som görs på referenspunkterna mindre än 0,042 mm. Detta värde är väldigt nära CMM-armens volymetriska tolerans på +/- 0,041 (se kapitel 2.4.3) och kan därför anses vara rimligt.

Tabell 5-1 Kalibreringsdata för kalibrering av CMM-proben för Circlemeasurement

Namn	X	Y	Z	2 Sigma	Max. Fel	Temperatur
6mm Ball Probe	-0,029667922	-0,036056222	149,61886	0,015707584	0,041844814	20,492772
6mm Ball Probe	-0,033610049	0,005288676	149,62735	0,019867947	0,049136202	20,062826
6mm Ball Probe	-0,035781107	-0,001083267	149,62317	0,018653869	0,04585549	19,642804

För att sedan kunna mäta ut referenspunkterna användes en offset-stav (se kapitel 2.4.5) tillsammans med CMM-armens *probe*.

Offset-staven är inmätt och kalibrerad för att med probe-verktyget kunna mäta ut referenspunkter med CMM-armen.

Innan inmätningen hade referensernas positioner valts på ett sätt så att det var en bra spridning av dem i förhållande till objektet.

Samtliga av de tre referenserna var placerade på bordets yta. När en fjärde referens infördes placerades denna på ett asymmetriskt sätt i förhållande till de andra. Detta gjordes framförallt genom att använda en upphöjning från bordet så att referensen skulle skilja sig markant i z-led.

5.1.3 Scanning

När hela testriggen var uppställd och allt som behövde det var kalibrerat och utmätt (se kapitel 3.2.1 - 3.2.2) påbörjades scanningen med DPI-7.

Som tidigare beskrivits scannas varje objektet in för tre olika radiella avstånd till respektive objekt. De tre olika avstånden användes för att undersöka om och hur scanningen skiljde sig i noggrannhet, variation och kvalitet för olika avstånd – framförallt i förhållande till scanning med CMM-armen. Detta resulterade i totalt sex olika scannningar, då det var två olika objekt som scannades.

Scannningar med tre referenser gjordes först och det första objektet som scannades var *Picasso*. Det var ett svårt objekt att få "grön"-registrering på i DPI-7. Det var lättare att få "grön"-registrering på scanningen med tre referenser på Kängan. Det som skiljer de båda objekten åt är framförallt komplexiteten i form, men även färg och ytstruktur (blank, matt eller mönster).

Om Figur 5-5 jämförs med Figur 5-6 syns det att scanningen av kängan har blivit bättre – inte lika mycket "noise".



Figur 5-5 DPI-7-scanning på Picasso från 50cm avstånd med fyra referenser och av PHI3D optimerad data



Figur 5-6 DPI-7-scanning på Kängan från 50cm avstånd med fyra referenser och av PHI3D optimerad data

Med tre stationer på mellan 1-1,5 meters avstånd och sfärer istället för checkerboards gjordes scannningar med Focus. Denna data kom senare att användas att analyseras DPI-7 datan emot.

5.1.4 Analysering

När scanningsdatan skulle analyseras importerades samtliga scannningar (DPI-7, Focus och CMM) till ett och samma projekt i *Geomagic Control*. Från DPI-7 scanningarna importerades dessutom både data som var optimerad och ej av PHI3D. Detta gjordes för att se vilken inverkan optimeringen har på resultatet.

I *Geomagic Control* efterbehandlades sedan all scanningsdata. Överflödiga punkter avlägsnades med hjälp av filter, för att minska datans storlek. Allt som inte tillhörde objektet togs bort för att inte påverka resultatet av analyserna. Som beskrivits under kapitel 4 var inte CMM-scanningens data helt optimal, då en del av objektet saknades. I de fallen då objektet saknade för mycket data användes ett alternativt sätt. Detta sätt gick ut på att sätta DPI-7 scannningarna som referens istället och sätta respektive CMM-scanning som test. I resultatet av analysen kunde referens-objektets data analyseras med färgspektrum (likväl som test-objektet). Med denna metod erhöll DPI-7 aningens bättre resultat.

Normalerna för DPI-7 scannningarna sattes automatiskt vid import av scanningsdata till *Geomagic Control*. Det kunde hända att de hade blivit felvända, vilket resulterade i att 3D-analys inte kunde genomföras. För att åtgärda detta fick punktmolnet konverteras till en mesh för att där använda funktionen "flip normals". Efter att normalerna för meshen hade flippats kunde datan konverteras tillbaka till punktmoln för analysering.

5.1.5 Resultat

Resultatet av analyserna gjorda på testerna sammanställdes i ett excel-dokument. Av denna data finns samtlig värden på standard och RMS-avvikelse i Bilaga 1 – *Erhållna avvikelsevärden för Circlemeasure-testet*.

Samtliga färganalysbilder för fyra referenser på Picasso och Kängan finns i Bilaga 1 till Bilaga 7.

Det bästa resultatet som uppmättes från båda nämnda analyseringsmetoder för samtliga DPI-7 scannningar var den optimerade (av PHI3D) gjord från 100cm avstånd på kängan – med tre referenser. Där erhöles standarddeviationen 4,7mm och RMS 4,7mm.

Motsvarande scanning för Picasso erhöles standarddeviationen 6,6mm och RMS 7,3mm. Scanningarna med fyra referenser var aningens sämre, men även här var motsvarande scanning den bästa. Värdena som erhöles för Kängan var standardavvikelsen 6,4mm och RMS-avvikelse på 6,4mm. För Picasso låg standardavvikelse på 8mm och RMS på 8,3mm.

Det gjordes även ett test, för båda objekten med optimerad data vid 100cm avstånd och fyra referenser – där all data som inte fanns med i båda scannningarna togs bort. Detta gjordes för att undersöka hur bra DPI-7 var som bäst. Detta gjordes enbart för scannningar med fyra referenser. Resultatet av detta blev att 100cm optimerad data även här var det bästa för båda objekten. Kängan erhöles standardavvikelsen 4mm och RMS värdet 4,1mm. Picasso erhöles standardavvikelsen 2,8mm och RMS värdet 3,4mm.

5.2 Linemeasure

Linemeasure kallades testerna som gjordes på en tumstock, som var placerad på ett måtbord. Namnet kommer från att den handhållna scannern förflyttades linjärt i sidled med avståndet 100cm från tumstocken.

Testet utformades efter att Circlemeasure hade analyserats – som en följd av observationer som gjordes under den analyseringen.

Det som i testet önskades undersöka var om- och hur ett föremål förvrängs med avstånd vid scanning med DPI-7.

5.2.1 Utformning av test

Vid utformning av teststationen var det, på samma sätt som för Circlemeasure, först viktigt att ta hänsyn till CMM-armens räckvidd och noggrannhet. Därför valdes samma stabila måtbord för att arbeta på. CMM-armen placeras sedan på ett sätt så att den hade en räckvidd över väsentliga delar av måtbordet – där mätning skulle utföras.



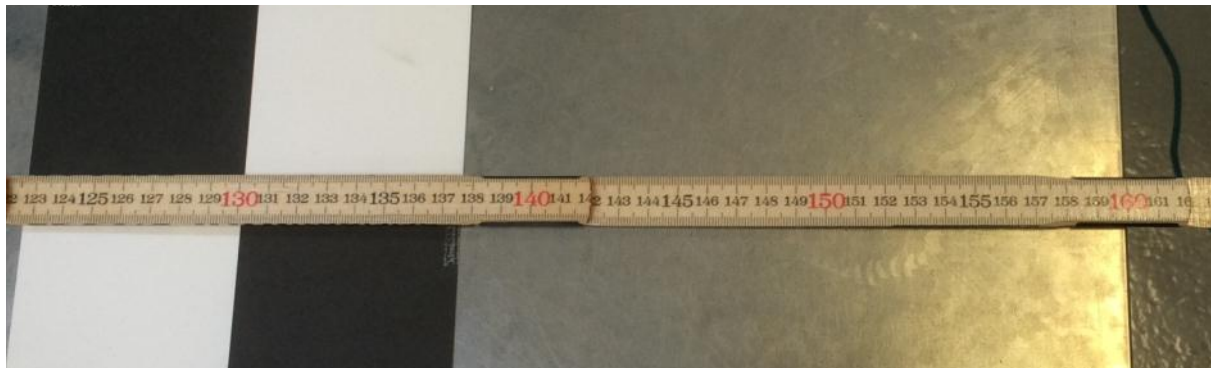
Figur 5-7 Utformning av Linemeasure

Tumstocken vecklades ut och lades på bordet – parallellt mot bordets långsida. Varpå magnetfästen placerades ut på båda sidor längst med tumstocken (se Figur 5-7).

Vidare placerades två checkerboards gjorda av papper under tumstocken vid två olika värden med 100 cm skillnad på tumstocken. I den vänstra änden lades tumstocken så att den platta pappers-checkerboardens centrum låg vid 30cm-strecket på tumstocken (se Figur 5-8). I den högra änden anpassades pappers-checkboarden så att den låg vid 130cm strecket på tumstocken (se Figur 5-9). Anledningen för att pappers-checkerboards användes var att de skulle vara lättregistrerade av DPI-7 scannern och synas tydligt i scanningsdatan, till skillnad från måtten.



Figur 5-8 Vänstra änden av tumstocken



Figur 5-9 Högra änden av tumstocken

Det kan tyckas att tumstockens 130cm-streck inte ligger helt vid centrum av checkerboarden – men det gör den. Det är vinkeln och tumstockens tjocklek som får det att se ut som den inte ligger vid centrum.

5.2.2 Innan scanning

Liksom för Circlemeasurement kalibreras först CMM-proben enligt kapitel 3.2.1. Kalibreringsvärdena som erhålls är de som syns i Tabell 5-2, där den gråmarkerade raden var de värdena som användes.

Tabell 5-2 Kalibreringsdata för kalibrering av CMM-proben för Linemeasurement

Namn	X	Y	Z	2 Sigma	Max. Fel	Temperatur
6mm Ball Probe	-0,0249646	-0,026155031	149,65432	0,011388729	0,022637956	28,312143
6mm Ball Probe	-0,017554324	-0,017210752	149,65338	0,013234172	0,027284687	27,995066
6mm Ball Probe	-0,026534964	0,005338231	149,64358	0,013416775	0,039581155	27,743272

Referenspunkterna, som hörde ihop med respektive magnetfäste, mättes ut med samma metodik som för Circlemeasure (beskrivs i kapitel 5.1.2).

5.2.3 Scanning

När hela testtriggen var uppställd och allt som behövde det var kalibrerat och utmätt (se kapitel 3.2.1 - 3.2.2) påbörjades scanningen med DPI-7.

Scanningen upprepades tre gånger med olika hastigheter. Först gjordes en scanning vid "normal" hastighet – där DPI-7 verkade registrera allt bra och tumstocken blev registrerad "grön". Efter denna scanning gjordes dels en som var dubbelt- respektive hälften så snabb som den "normala". Vid den som var dubbelt så snabb, blev linjalen knappt "grön"-registrerad, mestadels blev tavlor och linjal mer "gul"-registrerat. Vid den som var hälften så snabb blev allt som var intressant och det närmsta runt omkring helgrönt.

5.2.4 Resultat

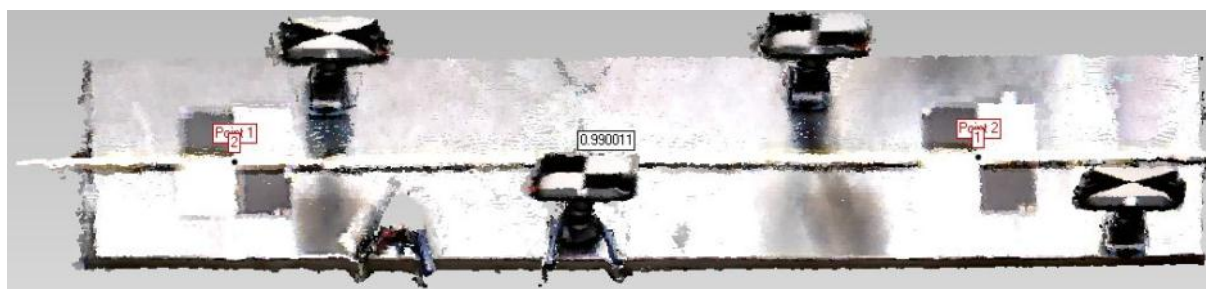
Datan som erhöles analyserades i *Geomagic Control*. Genom att markera punkterna som motsvarade checkerboards kunde plan med centrpunkt skapas. Denna centrpunkt låg till synes i centrum av checkerboardens yta och därmed vid referenspunkten. Denna metod användes dels mot de stativmonterade checkerboarden och dels mot de platta som låg under linjalen på bordet. De riktiga koordinaternas värde importerades även de till *Geomagic Control*. Med ett verktyg i programmet kunde avståndet mellan punkterna (den till synes korrekta från scanningsdatan och den verkliga koordinaten). I tabell

Tabell 5-3 anges RMS avvikelser för samtliga stativmonterade checkerboards i de olika scanningsarna. Den bästa (lägst RMS) är den första scanningen som gjorde, med en avvikelse på 6,261599 mm.

Tabell 5-3 Avstånd mellan DPI-7 scannings referenspunkter och verklighetens

Scanningsnamn	Långsam	Normal	Snabb
RMS [mm]	7,384846	6,261599	7,909761

För att undersöka om det hade förekommit någon förvrängning med avståndet, mättes avståndet mellan de två punkterna som tagits fram i *Geomagic Control*. Detta avstånd skulle vara exakt 100cm, då tumstocken antas vara exakt. I Figur 5-10 kan denna mätning åskådas.



Figur 5-10 Analysering av en meters avstånd i DPI-7 scanningen

Värdena som erhöles för de olika scanningsarna kan ses i Tabell 5-4. Den "snabba" var den mätningen där längden förvrängdes minst. Typiskt kan toleransen anges till 10mm.

Tabell 5-4 Mått på längdförändring av en meter

Scanningsnamn	Långsam	Normal	Snabb
Längd [mm]	990,154	990,011	994,671
Längdskillnad från verkligheten [mm]	9,846	9,989	5,329

En annan sak som testades var hur bra DPI-7 kombinerade sin data från olika lägen, med samma avstånd (förutsättningar). I Figur 5-11 kan en checkerboard ses från ovan ur den "normala"-scanningen. Där syns det hur den böjer sig fram och tillbaka, när den egentligen skall vara helt plan. Ett värde mättes upp på den till synes maximala vinkelräta avvikelser från planet som kan antas representera en parallell yta mot checkerboardens yta och medelvärde vid referenspunkten. Denna avvikelse var 1,814mm (se Figur 5-11). Det är även detta plan som tidigare användes för att ta fram en referenspunkt i scanningsdatan, som "till synes" låg i centrum av checkerboarden – där referenspunkten ligger i verkligheten.



Figur 5-11 Checkerboard sedd från ovan

6 Kombinerad 3D-scanning

Ett av de viktigaste momenten i arbetet var att testa kombinerad scanning – mellan *DPI-7* och *Focus*. Eftersom produkterna som ATS AB säljer ofta används inom industrier var det lämpligt att ta med denna aspekt vid utformning av testet och val av testobjektet.

Objektet som valdes var en lagerhylla. Delvis för att ett sådant objekt förekommer i industrimiljöer, men även för att det var lättillgängligt från många olika håll.

I Figur 6-1 kan lagerhyllan ses. Observera att samtliga bilder tagna med kamera (Figur 6-1, Figur 6-2 och Figur 6-3) inte är tagna samtidigt som scanningarna gjordes, därför ser inte allt exakt ut som i scanningsdatan.

6.1 Utformning och förberedelse av test

En lagerhylla (2,2m hög, 2m lång och 1,1m bred) ansågs som lämpligt testobjekt. Dels då den bestod av mycket metall och många detaljer/föremål som var placerade i den. Men även för att det är ett objekt som företagets kunder kan vara intresserade av att scanna.

Området som skulle kompletteras med DPI-7 i testet *Kombinerad 3D-scanning* kan ses i Figur 6-2.

Då scanningsdata från Focus skulle användas som referens till den kombinerade scanningen var det även viktigt att scanningsstationer för denna kunde ställas upp. Minimumavståndet för att erhålla mätdata från Focus är 60cm till objektet.

För att få en komplett scanning av lagerhyllan behövde den scannas in från tre stationer. Kortsidan av lagerhyllan som vetter mot väggen scannas inte in.

Bedömningen görs att testet blir fullt tillräckligt utan denna del.

Till den data vari komplettering med DPI-7 skulle göras, registrerades bara två av scanningarna med Focus – till skillnad från referensscanningen som innehöll samtliga tre scanningar. Det var därför även viktigt att området som skulle kombineras saknade scanningsdata i den registreringen med bara två Focus-scanningar. Detta togs det hänsyn till vid uppställning av scanningsstationerna för Focus.

Det krävdes även bra möjligheter att sätta upp referenspunkter med en bra spridning runt skannern för bästa resultat. Dessa referenspunkter behövde inte mätas in då de endast skulle användas för registreringen av Focus-scanningsdata.

I det rum som lagerhyllan stod i har företaget redan referenspunktsfästen monterade i väggar och tak – på ett sätt som gav bra spridning från scanningsstationerna. Dessa färdiga fästen användes och sfärer sattes upp.

Tre referenser räckte för att synas och ge en bra spridning från samtliga tre stationer. De tre



Figur 6-1 Objekt för kombinerad scanning, lagerhylla

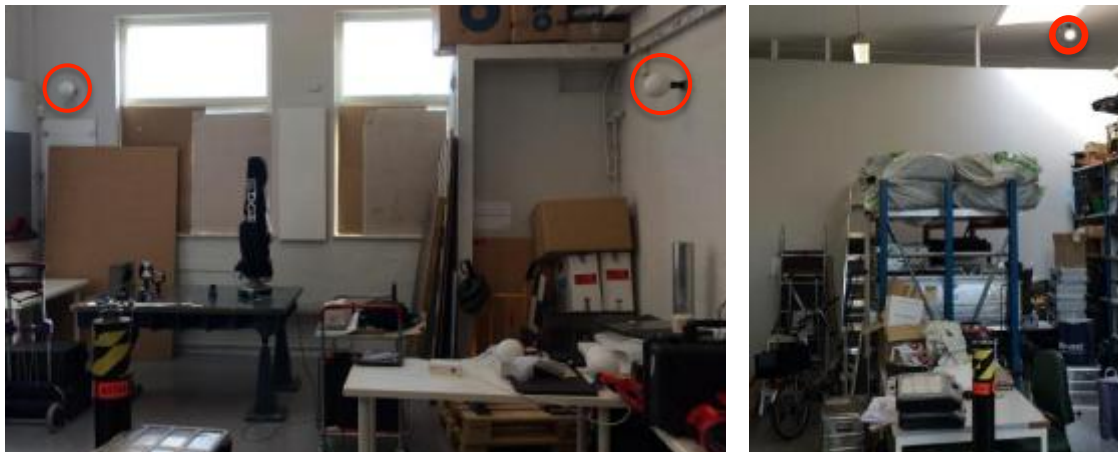


Figur 6-2 Området som DPI-7 skulle komplettera

referenserna (som användes) kan ses inringade med röda cirklar i Figur 6-3.

Anledningen till att lagerhyllan scannades in från så många håll när bara en sida skulle kombineras och analyseras, var att det behövdes data som kunde matchas mellan det kombinerade punktmolnet och referenspunktmolnet. Vid analysering behövde de kunna (så exakt som möjligt) läggas på varandra. Den så kallade matchningsdatan behövdes delvis även för Cloud-to-Cloud funktionen (se kapitel 3.4.2) – då DPI-7 scanningen skulle kombineras på rätt sätt/plats i förhållande till den övriga scanningsdatan.

Till detta test användes inte några targets för DPI-7 scanningen. Detta kommer sig av att DPI-7 önskas kunna komplettera saknad data från Focus utan att behöva mäta ut targets. Det finns olika tillvägagångssätt för att kombinera scannarna. I detta arbete beskrivs ett sätt där en ny funktion i SCENE, Cloud-to-Cloud, används.



Figur 6-3 Två bilder som visar de tre använda referenspunkterna (sfärerna)

6.2 Scanning

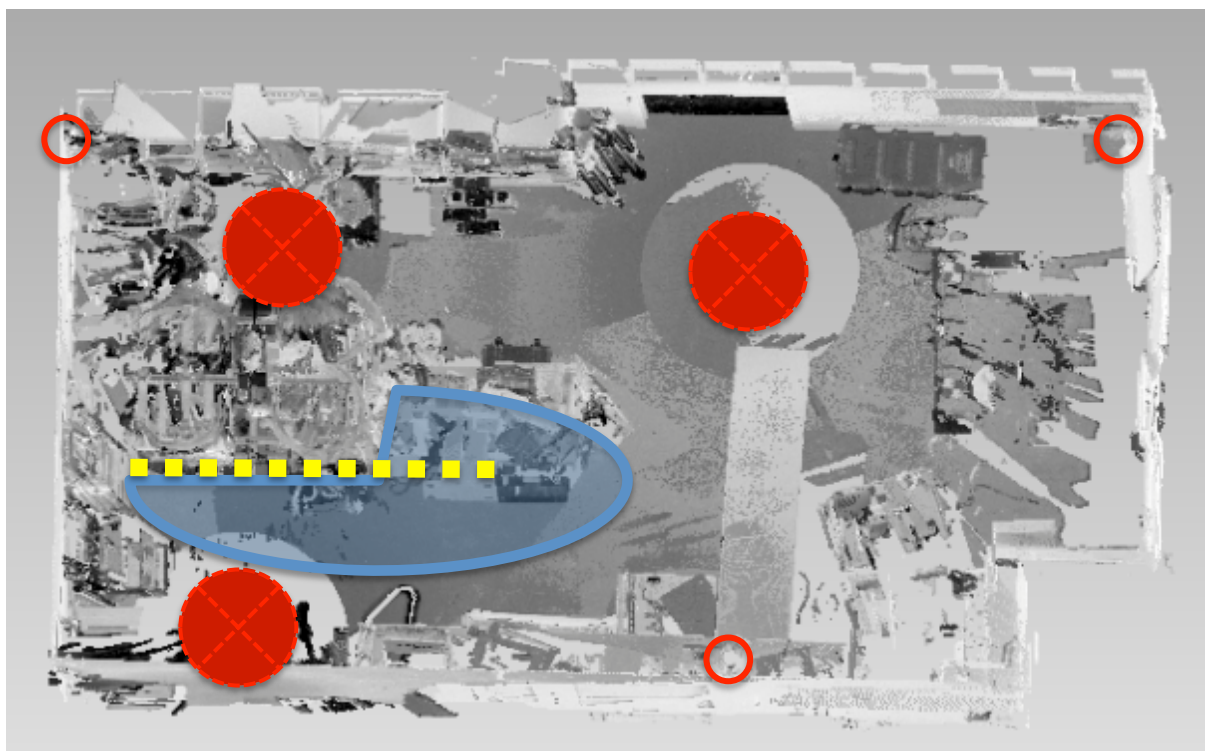
Scanning gjordes först med Focus-scannern, från tre olika stationer där samtliga tre sfärer syntes från varje station. På detta sätt skulle referenspunkterna inte behöva mätas ut utan endast matchas ihop i registreringen av punktmolnen i SCENE (se kapitel 3.4.1).

När Focus-scanningarna var klara gjordes tre scannningar med DPI-7. Dessa gjordes över det blåa fältet i Figur 6-4 (från höger till vänster).

De tre olika scannarna med DPI-7 skiljde sig sinsemellan. De scannades olika mycket på de delar som skulle fungera som matchningsdata (huvudsakligen lagerhyllans kortsida ut mot rummet). De har döpts till "lite", "medium" och "mycket" beroende på hur mycket matchningsdata de har scannats för att innehålla.

Scanningen med DPI-7 gjordes tills maxgränsen för en enskild scanning med DPI-7 nåddes (för samtliga tre scannningar). Detta motsvarade i storleksordningen drygt 8 miljoner punkter.

Figur 6-4 föreställer Focus-scanningen ovanifrån sett. I figuren är referenserna (sfärerna) markerade med små röda cirklar, scanningsstationerna med Focus med stora röda cirklar med streckade kors igenom, på det blåskuggade området användes DPI-7 och längs den gula, tjocka punktlinjen gjordes kombinerings av data.



Figur 6-4 Översiktsbild över referenspunkter (röd ihålig cirkel), scanningsstationer för Focus (röd cirkel med kryss), scanningsområdet för DPI-7 (blått fält) och området som kombinerades (gul-streckad linje)

6.3 Kombinerings

Två olika registreringar mot sfärer gjordes med scanningsdatan från Focus. En där tre scannningar användes och en där endast två (intilliggande) scannning användes för att skapa ett punktmoln, alltså utan den understa Focus-scanningen i Figur 6-4. Den med samtliga (tre) Focus-scannningar utgjorde referens för testet. Den med två scannningar kopierades till tre olika projekt. I var och ett av dessa projekt importerades var och en av de olika DPI-7 scannningarna. Därefter utfördes Cloud-to-Cloud (enligt metoden som beskrivs under kapitel 3.4.2) för att placera DPI-7 scannningen där den skall vara. Därefter exporterades ett scanningsmoln av samtliga punkter i varje projektet, som beskrivs under kapitel 3.4.3.

6.4 Analysering

Efter att punktmoln exporterats till XYZ-formatet från SCENE, kunde det importeras till ett projekt i *Geomagic Control*. Referensscanningsdatan och samtliga kombinerade punktmoln importerades till samma projekt för att där analyseras mot referensscanningsdatan. Detta var smidigare än ett projekt för varje analys.

Eftersom ingen tidigare bearbetning av punktmolnen hade gjorts innehöll de runt 80 miljoner punkter. Detta är för stort för att datorn som *Geomagic Control* användes på. För att datorn skulle kunna analysera datan behövde datan först bearbetas på det sätt som beskrivs under kapitel 3.2.5. Efter att mycket data hade tagits bort och filtrerats var punktmolnen i storleksordningen på 10 miljoner punkter. Därefter genomfördes analysen en och en mellan referensen (den kompletta Focus-scanningen) och datan som testades (kombinerade scanningsdatan) enligt vad som beskrivs under kapitel 3.2.6.

6.5 Resultat

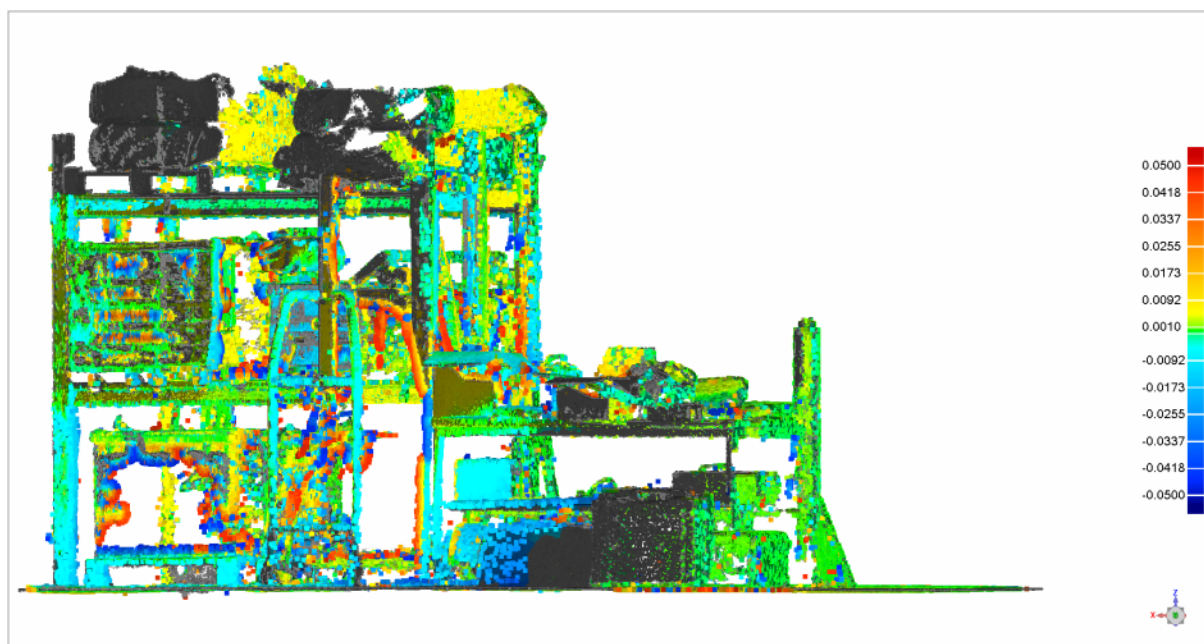
Resultatet av analyserna ges framförallt med färgspektrumbilder, som visar hur mycket ett testobjekt skiljer sig mot ett referensobjekt. Det erhålls även värden för standardavvikelsen och RMS-avvikelse (se Tabell 6-1). Värdena skall ses i kombination med spektrum bilderna.

Scanningarna har kort och gott namngivits Scanning 1, Scanning 2 och Scanning 3. Där ordningen motsvarar hur mycket matchning (till hjälp för Cloud-to-Cloud) som gjordes – från minst till mest.

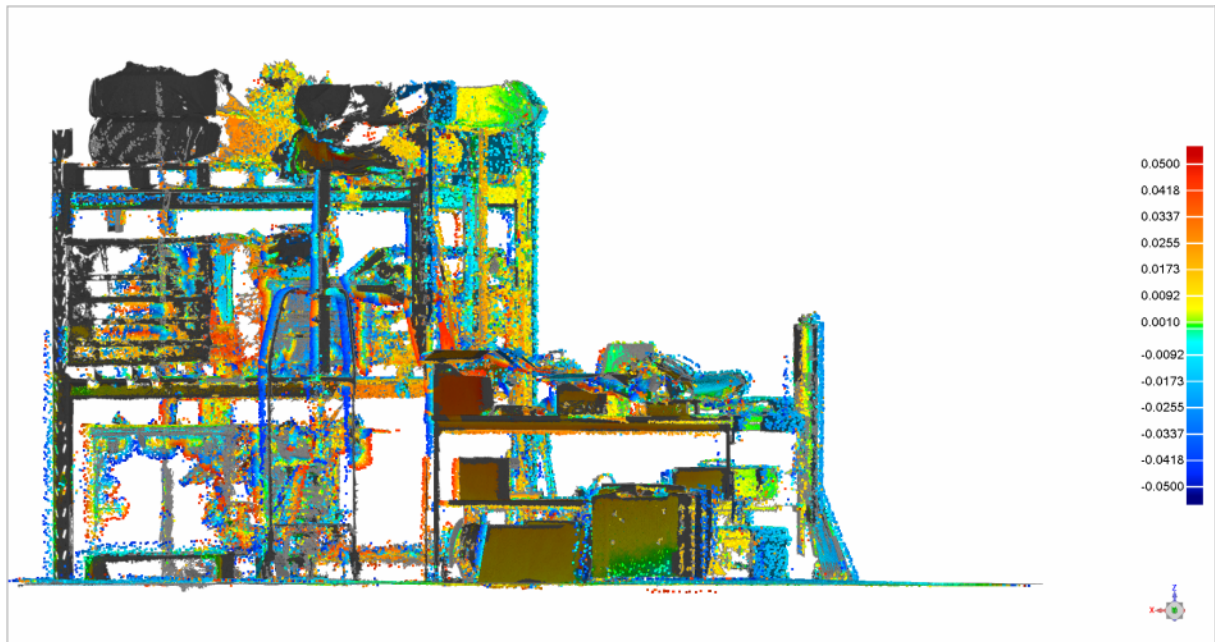
Tabell 6-1 Standard- och RMS-avvikelser för kombinerad scanning

	Scanning 1 (lite)	Scanning 2 (medium)	Scanning 3 (mycket)
Standard avvikelse [mm]	10,9	18,9	13,6
RMS avvikelse [mm]	11,0	19,0	13,8

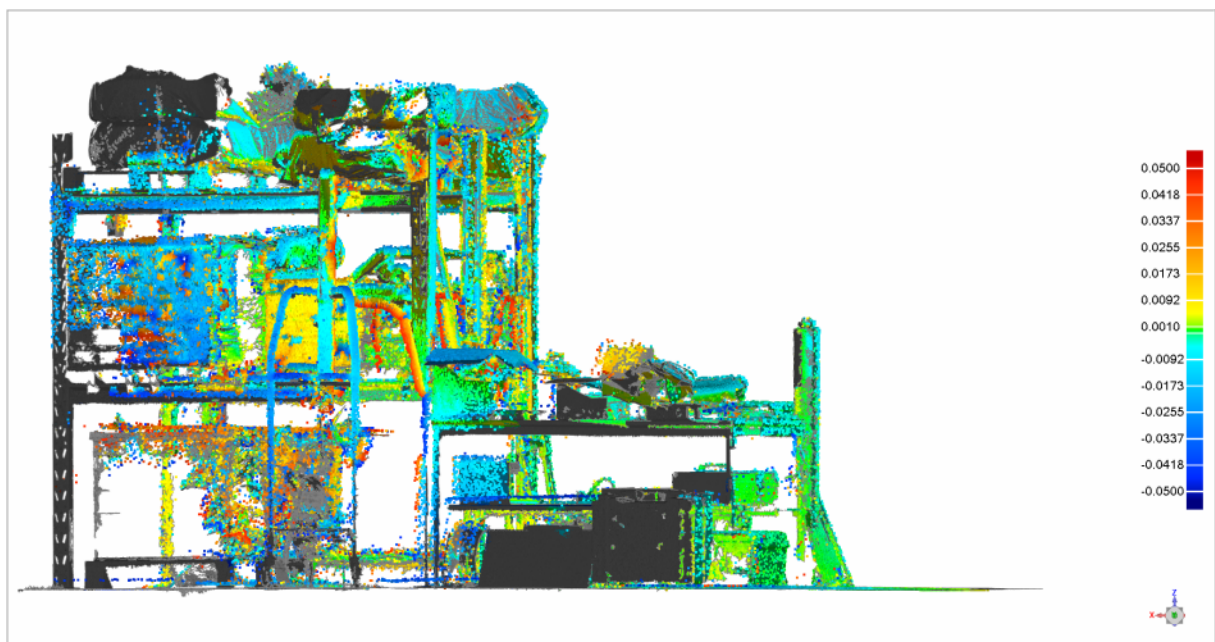
I Figur 6-5, Figur 6-6 och Figur 6-7 kan färgspektrumanalyserna för Scanning 1 (lite matchning), Scanning 2 (medium matchning) respektive Scanning 3 (mycket matchning) ses. Som kan ses i dessa figurer och i Tabell 6-1 var Scanning 1 bäst, följt av Scanning 3 och sist Scanning 2.



Figur 6-5 Scanning 1, gjord med "lite" överlappande matchningsdata



Figur 6-6 Scanning 2, gjord med "medium" överlappande matchningsdata



Figur 6-7 Scanning 3, gjord med "mycket" överlappande matchningsdata

7 Slutsatser

Många slutsatser kan dras från arbetet och dess resultat. Den viktigaste slutsatsen som kan dras är att det inte kan garanteras att den handhållna scannerns data håller god kvalitet med låg variation.

Vidare har samtliga slutsatser som dragits delats upp under kategorierna *Handhållen 3D-scanning*, *Kombinerad 3D-scanning* och *Fördelen med kombinerad 3D-scanning*.

7.1 Handhållen 3D-scanning

Under kapitel 2.4.1 finns det en tabell (Tabell 2-1) där tillverkaren anger toleransen för DPI-7 – både den typiska och maximala. Då de testerna som gjordes i arbetet endast hade ett gemensamt avstånd för mätning (en meter) är det värdena för detta avstånd som kan jämföras.

Det finns en liten problematik med DPI-7. DPI-7 drivs enbart av surfplattans inbyggda batteri och går inte att ladda medan sensorn är inkopplad.

Även om det aldrig gjordes dokumenterade mätningar på det verkade batteriet i DPI-7 räcka i runt 3 timmar. Eftersom det är ett inbyggt batteri måste enheten därefter sättas på laddning drygt en timma efter detta. Detta är ett problem när det kombineras med att den inför varje scanningssession skall värmas upp minst 30 minuter för bäst resultat. Det gör att den kan användas runt 2,5 timmar, därefter tar det drygt 1,5 timmar innan den kan användas i ytterligare 2,5 timmar. Notera som sagt att det inte finns data på dessa tider. I efterhand kan jag se hur det hade varit ytterst intressant att göra mätningar på drifttid och laddningstid.

DPI-7 använder sig av infrarött ljus, detta störs av bakgrundsstrålningen. Alltså i ljusa miljöer blir sensorn överväldigad av det infraröda ljuset. Den kan heller inte registrera föremål i för mörka miljöer heller, då registrerar inte den vanliga kameran några siluetter. Alltså krävs kontrollerade ljusmiljöer för bästa scanning med DPI-7. Ljusmiljön är något som oftast inte kan kontrolleras. Detta kan leda till stora variationer mellan scanningsdatans kvalitet. Tyvärr hade inget ljusmiljö-test förberetts i arbetet och tid att ge till det fanns inte när denna slutsats drogs.

7.1.1 Circlemeasure

Av de testerna där toleransen kan jämföras (avstånd 100cm) mot tillverkarens värden kunde som allra bäst erhållas resultat som var drygt 1,5 gånger sämre än värdet som tillverkaren hade angivit, som den typiska toleransen. Som sämst erhöles avvikelser som var drygt 4 gånger sämre än det typiska som tillverkaren angivit.

I testet med det bästa erhållna resultatet hade all data som inte fanns i båda scanningarna tagits bort. Detta ger ett resultat som inte tar hänsyn till om DPI-7 har misslyckats registrera områden på objektet. Värdet som erhöles var RMS på 3,4mm, detta ligger närmre tillverkarens sämsta rapporterade värde med RMS på 4mm än deras bästa med RMS på 2mm.

För att bedöma hur noggrann den handhållna scannern är gentemot en CMM-arm får de sämsta erhållna avvikelserna i Circlemeasure-testet ses som svar på frågan. Dessa avvikelser var för scanning på Picasso vid 150cm avstånd till objektet. Standardavvikelsen låg på 9,5mm och RMS-avvikelsen på 9,9mm. Då CMM-armen har en tolerans på 0,041mm, resulterar det i att den handhållna scannern kan sägas ha en garanterad tolerans på 10mm för avstånd på 1,5m.

För att återigen återkoppla till tillverkarens angivna toleranser motsvarar den i arbetet erhållna toleransen för 1,5m densamma som tillverkaren uppger som typisk noggrannhet för avstånd på 3,5m (även om det för avståndet 3,5m anges att det maximalt rapporterade felet är 16mm).

I Bilaga 1 kan den erhållna datan från Circlemeasure-testet ses. Något som tydligt framgår ur den stora tabellen är att variationen på avvikelser är stor mellan olika scannningar. I den lilla tabellen syns datan för de scenariorna där alla områden som inte fanns med i både CMM och DPI-7 scannningarna togs bort. Denna sistnämnda data är märkbart bättre är motsvarande i den stora tabellen där samtlig data (inom +/- 20mm från referensdatan) jämfördes mot referensdatan.

Ur Bilaga 1 framgår även att objekten var svåra att scanna. Detta observeras genom att se på värdena för när Focus testades mot CMM-datan. Focus skall ha en tolerans på +/- 2mm och den erhållna datan ligger nära detta värde. Värdena ligger till och med över toleransen för Focus. Av detta kan slutsatsen dras att analyseringsprocessen inte var optimal. Att den inte var optimal kan som tidigare nämnts bero på att referensscanningarna inte var tillräckligt kompletta.

Till det positiva kan ses att värdena för där DPI-7 testades mot Focus scanningsdata är bättre än de där DPI-7 testas mot CMM-datan. Detta tyder på att scannrarna tolkat objekten som scannades på ett liknande sätt (fel åt samma håll). Dessutom då kritik redan har riktats mot CMM-datan kan detta värde ses som ett bra värde på avvikelserna för DPI-7.

Den stora variationen behöver inte bara bero på raw-scanningen med DPI-7. Matchningsprocessen påverkas av hur användaren väljer att matcha targets mot referenser i olika delar av scanningen. Detta är ytterst dåligt om låg variation på resultatet eftersträvas.

7.1.2 Linemeasure

Eftersom scanningen endast gjordes från en sida på checkerboarden i testet Linemeasure, borde rimligtvis tjockleken på checkerboarden (sedd från ovan) i Figur 5-11 bero på noise, dålig matchning och optimering. Detta leder i allra högsta grad till sämre matchning mot referenspunkter. Det gör det även svårt att bedöma om referenspunkten som sattes ut av mig i scanningsdatan var korrekt utsatt. Detta skulle påverka resultatet med uppskattningsvis mellan 0,5-2mm. Jag anser dock att metoden som användes var rimlig och gav representativt resultat.

Ett intressant test som gjordes för Linemeasure var att använda *Geomagic Controls* funktion *Best Fit* för att i efterhand matcha referenspunkterna i scanningsdatan för DPI-7 mot koordinaterna de skulle ha. Detta resulterade i att RMS-avvikelsen för samtliga referenser i scanningen sjunk till drygt 4,37mm istället för den i PHI3D inbyggda matchningen med RMS på drygt 6,26mm. Alltså finns det sätt för tillverkaren av DPI-7 att förbättra sin produkt. Denna metod gick även att applicera på data i Circlemeasure-testet. Denna slutsats gäller därför även för Circlemeasure.

7.2 Kombinerad 3D-scanning

Metoden som använts i det här arbetet för att kombinera 3D-scanning från den handhållna scannern med den stationära scannern är ej kvalitetssäker. Detta beror i allra högsta grad på "användbarheten" hos produkten DPI-7. Kvaliten på scanningen beror på erfarenhet och "känsla" hos användaren. Det kan alltså variera mycket beroende på olika situationer eller användare.

Även om datan som erhålls inte ger kvalitetssäker information med låg varians anser jag ändå att en kombinerad 3D-scanning kan ge data som går att använda till att mäta och/eller modellera objekt – om toleransen inte måste garanteras vara under 20mm.

7.3 Fördelen med kombinerad 3D-scanning

Som tidigare har beskrivits under teoridelen (kapitel 2.2 och kapitel 2.3) finns det många fördelar och många olika tekniker för att 3D-scanna. Var och en av teknikerna har sina fördelar och nackdelar. En del är bra på nära håll, andra på långt, vissa är snabba och vissa är långsamma men med högre precision. Att kunna kombinera olika 3D-scanningstekniker kan leda till bättre 3D-scanning – snabbare, exaktare och bättre total räckvidd.

I det här arbetet har kombinerad scanning mellan en stationär phase-shift scanner och en handhållen scanner som bygger på structured light (IR-ljus) och siluette-teknik. Bland fördelarna som kan tänkas komma av en kombination av dess tekniker är en totalt sett snabbare scanningsprocess med bättre åtkomst (ej enbart stativmonterad).

I arbetet har observationer gjorts att tekniken för den handhållna scannern har en bit kvar innan den kan kombineras på ett sätt som ger likvärdig noggrannhet och tolerans som den för phase-shift scannern.

Vid kombinerings-testerna visade det sig, precis som just nämnts, att DPI-7 inte gav nära på lika exakt total scanningsdata. Däremot såg datan väldigt bra ut och kan lämpa sig väldigt bra för att kunna observera hur något ser ut – även om det inte är helt tillförlitligt att mäta på datan.

8 Diskussion

I efterhand kan jag vara väldigt kritisk till att inte bättre (mer komplett) referensdata användes vid analyseringarna. Data försvann vid övergång till mesh och vid CMM-scanningen kunde mer tid- och försök lagts på att erhålla bra referensdata. Trots detta anser jag ändå att resultaten är bra, men hade det gjorts igen hade mer ansträngning lagts på att få bra referenser vid analyseringarna. Följden av mycket saknad referensdata är att färre punkter testas vid analyseringen. Detta gör att säkerheten i resultaten minskar.

Tillräckligt många tester gjordes för att kunna besvara frågeställningarna. Värden har erhållits för hur noggrann den handhållna scannern är gentemot CMM-armen. Huruvida den handhållna scannerns data håller god kvalitet med låg variation samt om den med god kvalitet kan kombineras med den stativmonterade scannerns data har även detta besvarats.

Slutligen har det i rapporten beskrivits hur den handhållna scannern kan kombineras med annan scanningsdata, på ett sätt så att datan går att använda för mätning eller modellering. Däremot har det i arbetet inte lyckats tas fram ett sätt för hur detta kan göras för att erhålla kvalitetssäker information/data.

8.1 Källkritik

3D-scanning och dess olika tekniker är områden som har många tillämpningar. Det är dessutom områden som är relativt nya och större delen av all information kommer från företag inom (eller i anknytning till) branschen. Detta gjorde det svårt att hitta tillförlitliga källor. Efter att sökt i Chalmers databas, gått och kikat i Chalmers bibliotek

och sökt på internet kom jag fram till att den mest kompletta källan som granskats av flest personer var artiklar om 3D-scanning och dess tekniker på Wikipedia.

Wikipedia kan av många ses som en mindre trovärdig källa då det kan finnas flera författare till en och samma artikel. Dessa författare behöver heller inte ha någon akademisk kunskap eller bakgrund. Detta till trots finner jag Wikipedia vara en trovärdig källa i detta fall, då dess angivna källor huvudsakligen kommer ifrån korta stycken ur vetenskapliga publikationer. Dessutom var den övriga informationen jag fann från vinstdrivande företag i branschen, något som jag ansåg mindre tillförlitligt än en icke-vinstdrivande organisation som Wikipedia.

Varje ändring i Wikipedia sparas i en historik där antingen en Wikipedia-användares konto eller en persons IP-nummer uppges. Till varje ändring finns även en tidsstämpel och möjlighet att se varje tidigare version av artikeln.

9 Källförteckning

- [1] Wikipedia-bidragsgivare, 'Användbarhet', Wikipedia, 28 maj 2014, 15.02 UTC, <[//sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Anv%C3%A4ndbarhet&oldid=25169021](http://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Anv%C3%A4ndbarhet&oldid=25169021)> [hämtad 28 maj 2014]
- [2] ASTM International, 'Overview', <http://www.astm.org/ABOUT/full_overview.html> [hämtad 28 maj 2014]
- [3] Wikipedia-bidragsgivare, '3D scanner', Wikipedia, 28 april 2014, 10.37 UTC, <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=3D_scanner&oldid=606160150> [hämtad 20 maj 2014]
- [4] 3DScanCo, '3D Scanning Technical Information – 3D Scanning Information' <<http://www.3dscanco.com/about/3d-scanning/index.cfm>> [hämtad 28 maj 2014]
- [5] Rapidform, '3D Scanners – A guide to 3D scanner technology' <<http://www.rapidform.com/3d-scanners/>> [hämtad 26 maj 2014]
- [6] S.M. Nejad, S. Olyaei, 'Comparison of TOF, FMCW and Phase-Shift Laser Range-Finding Methods by Simulation and Measurement', 'Quarterly Journal of Technology & Education', vol. 1, nr. 1, ss.17, hösten 2006. [Online]. Tillgänglig: <http://jte.srttu.edu/files/site1/user_files_67c9e6/firozi-A-10-7-6-c9e6b8f.pdf> [hämtad 26 maj 2014]
- [7] Wikipedia-bidragsgivare, 'Structured-light 3D scanner', Wikipedia, 30 April 2014, 11:26 UTC, <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Structured-light_3D_scanner&oldid=606461725> [hämtad 28 Maj 2014]
- [8] 3DScanCo, '3D Scanning Technical Information – 3D Scanning Benefits' <<http://www.3dscanco.com/about/3d-scanning/benefits.cfm>> [hämtad 25 maj 2014]
- [9] K. Litomisky, 'Consumer RGB-D Cameras and their Applications', University of California, Riverside. [Online]. Tillgänglig: <<http://alumni.cs.ucr.edu/~klitomis/files/RGBD-intro.pdf>> [hämtad 14 maj 2014]
- [10] FARO, 'SCENE-Overview', <<http://www.faro.com/products/faro-software/scene/overview#main>> [hämtad 14 maj 2014]
- [11] 3D Imaging System File Format Committee, 'libE57: Software Tools for Managing E57 Files', <<http://www.libe57.org/>> [hämtad 14 maj 2014]

10 Figurförteckning

Figur 2-1 Illustrering av Triangulering	5
Figur 2-2 DPI-7 monterad	7
Figur 2-3 Delarna som DPI-7 består av	7
Figur 2-4 Focus X 330	8
Figur 2-5 CMM-arm med monterad scanner-modul	8
Figur 2-6 CMM-armen, som den användes	9
Figur 2-7 Probe-verktyget, "6mm Ball Probe"	9
Figur 2-8 Kalibreringsfixtur för Probe-mätning	10
Figur 2-9 Kalibreringsplatta för CMM-scanner	10
Figur 2-10 Magnetfäste med brick-fäste	10
Figur 2-11 Target - sfär	10
Figur 2-12 Offset-stav	10
Figur 2-13 Target - Checkerboard	10
Figur 3-1 Knapp för 3D-vy	16
Figur 3-2 Manuell transformation av punktmoln i SCENE	17
Figur 3-3 Cloud-to-cloud förflyttning görs via alternativet Place Scan för ett punktmoln	18
Figur 3-4 Inställningarna som användes för Cloud-to-Cloud	18
Figur 3-5 Resultatet för hur bra Cloud-to-Cloud blev	19
Figur 3-6 Inställningar för exportering av den kombinerade scanningsdatan	20
Figur 4-1 CMM-scanningsdata för Picasso, med tre använda referenser	21
Figur 4-2 CMM-scanningsdata för Kängan, med tre använda referenser	21
Figur 5-1 Scanningsobjekt Picasso	22
Figur 5-2 Scanningsobjekt Kängan	22
Figur 5-3 Uppställning för Circlemeasure med tre referenser	23
Figur 5-4 Uppställning för Circlemeasure med fyra referenser	24
Figur 5-5 DPI-7-scanning på Picasso från 50cm avstånd med fyra referenser och av PHI3D optimerad data	25
Figur 5-6 DPI-7-scanning på Kängan från 50cm avstånd med fyra referenser och av PHI3D optimerad data	25
Figur 5-7 Utformning av Linemeasure	27
Figur 5-8 Vänstra änden av tumstocken	27
Figur 5-9 Högra änden av tumstocken	28
Figur 5-10 Analysering av en meters avstånd i DPI-7 scanningen	29
Figur 5-11 Checkerboard sedd från ovan	29
Figur 6-1 Objekt för kombinerad scanning, lagerhylla	30
Figur 6-2 Området som DPI-7 skulle komplettera	30
Figur 6-3 Två bilder som visar de tre använda referenspunkterna (sfärerna)	31
Figur 6-4 Översiktsbild över referenspunkter (röd ihålig cirkel), scanningsstationer för Focus (röd cirkel med kryss), scanningsområdet för DPI-7 (blått fält) och området som kombinerades (gul-streckad linje)	32
Figur 6-5 Scanning 1, gjord med "lite" överlappande matchningsdata	33
Figur 6-6 Scanning 2, gjord med "medium" överlappande matchningsdata	34
Figur 6-7 Scanning 3, gjord med "mycket" överlappande matchningsdata	34

Bilagor

Bilaga 1 – Erhållna avvikelsevärden för Circlemeasure-testet.

3D Deviation [mm]	Referens	CMM	CMM	CMM	CMM	Focus	Focus	Focus
	Testad	50cm	100cm	150cm	Focus	50cm	100cm	150cm
Objekt: "Picasso" (fyra referenser)	Standard Deviation	6,6	6,6	6,5	2,06	7,9	8,0	8,5
	RMS uppskattad	7,6	7,3	7,1	2,17	9,4	8,1	9,1
Objekt: "Känga" (fyra referenser)	Standard Deviation	6,6	4,7	7,1	2,0	6,1	4,5	6,6
	RMS uppskattad	6,8	4,7	8,9	2,0	6,6	4,6	8,6
Objekt: "Picasso" (tre referenser)	Standard Deviation	7,3	8,0	9,5	0,8	5,9	2,5	5,3
	RMS uppskattad	7,5	8,3	9,9	0,9	6,1	3,9	9,5
Objekt: "Känga" (tre referenser)	Standard Deviation	5,6	6,4	7,3	1,2	4,7	3,0	6,0
	RMS uppskattad	5,9	6,4	8,8	1,3	4,8	3,6	8,5

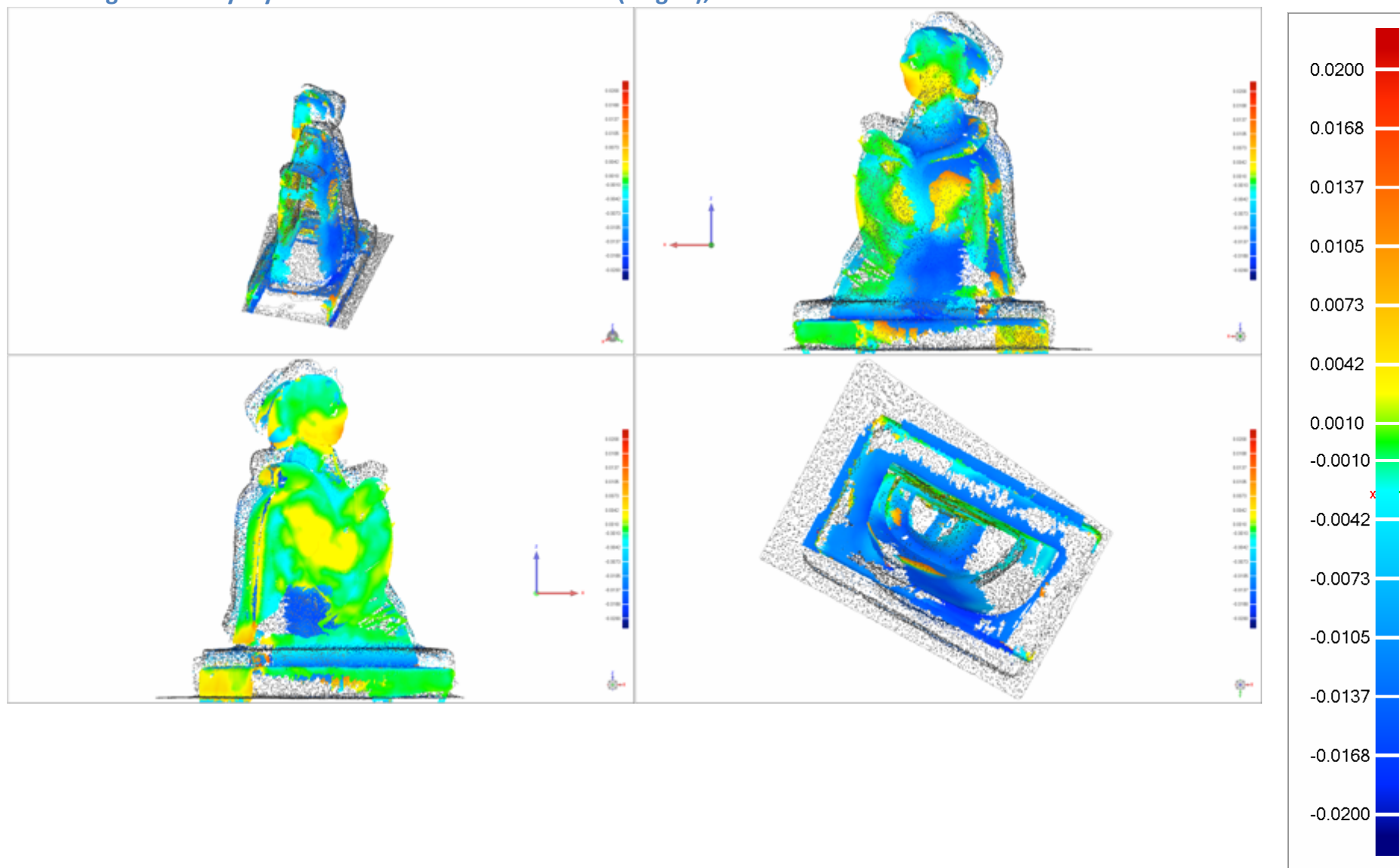
I tabellen som följer har områden med punkter som inte funnits med i både CMM och DPI-7 scanningen tagits bort, detta ger bästa möjliga resultat för DPI-7.

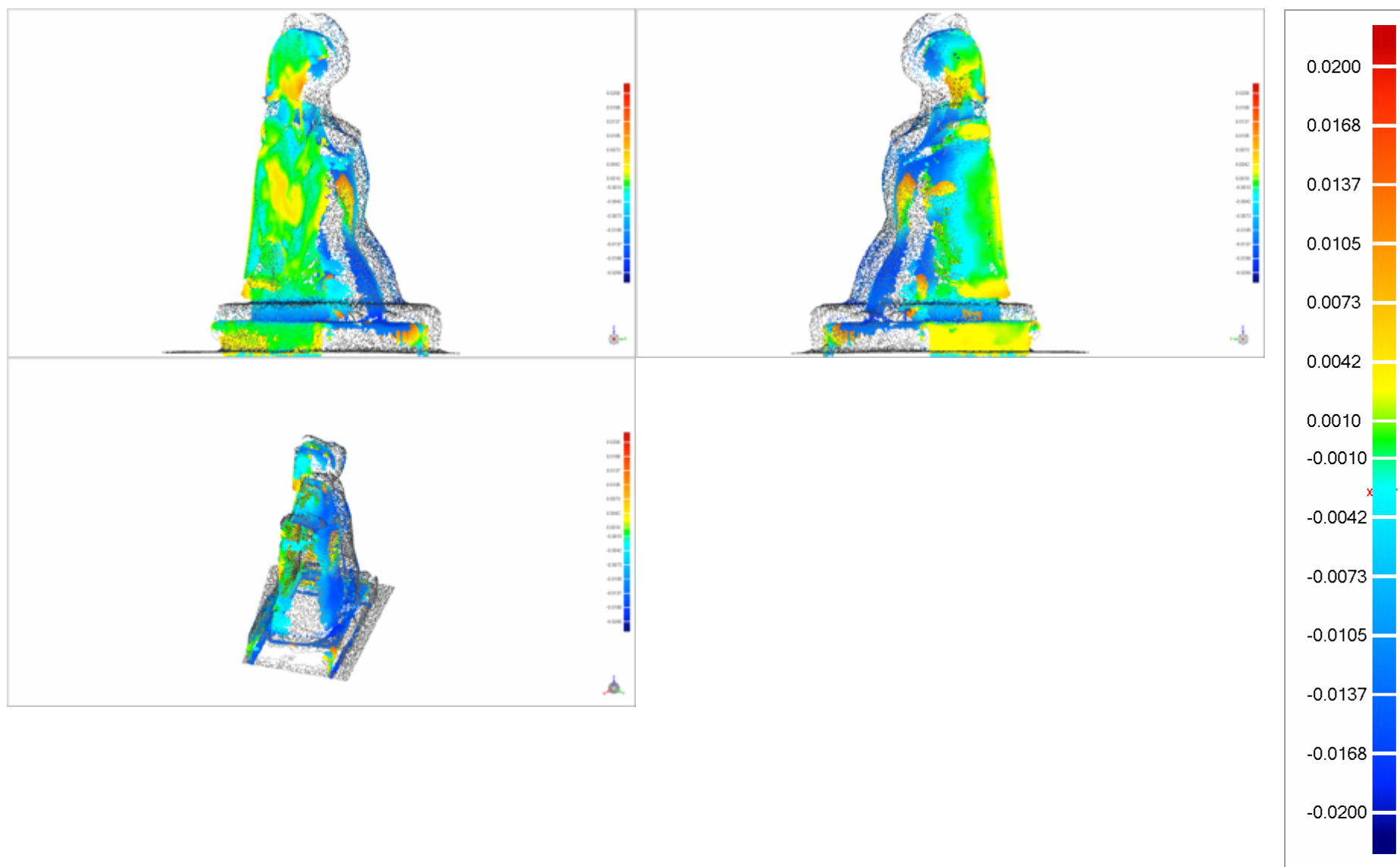
3D Deviation [mm]	Referens	CMM	CMM	Focus
	Testad	100cm	Focus	100cm
Objekt: "Picasso" (tre referenser)	Standard Deviation	2,8	0,8	2,5
	RMS uppskattad	3,4	0,9	3,9
Objekt: "Känga" (tre referenser)	Standard Deviation	4,0	1,2	3,0

För samtliga analyser har punkter som skiljer sig mer än +/-20mm från referensen tagits bort i analysen.

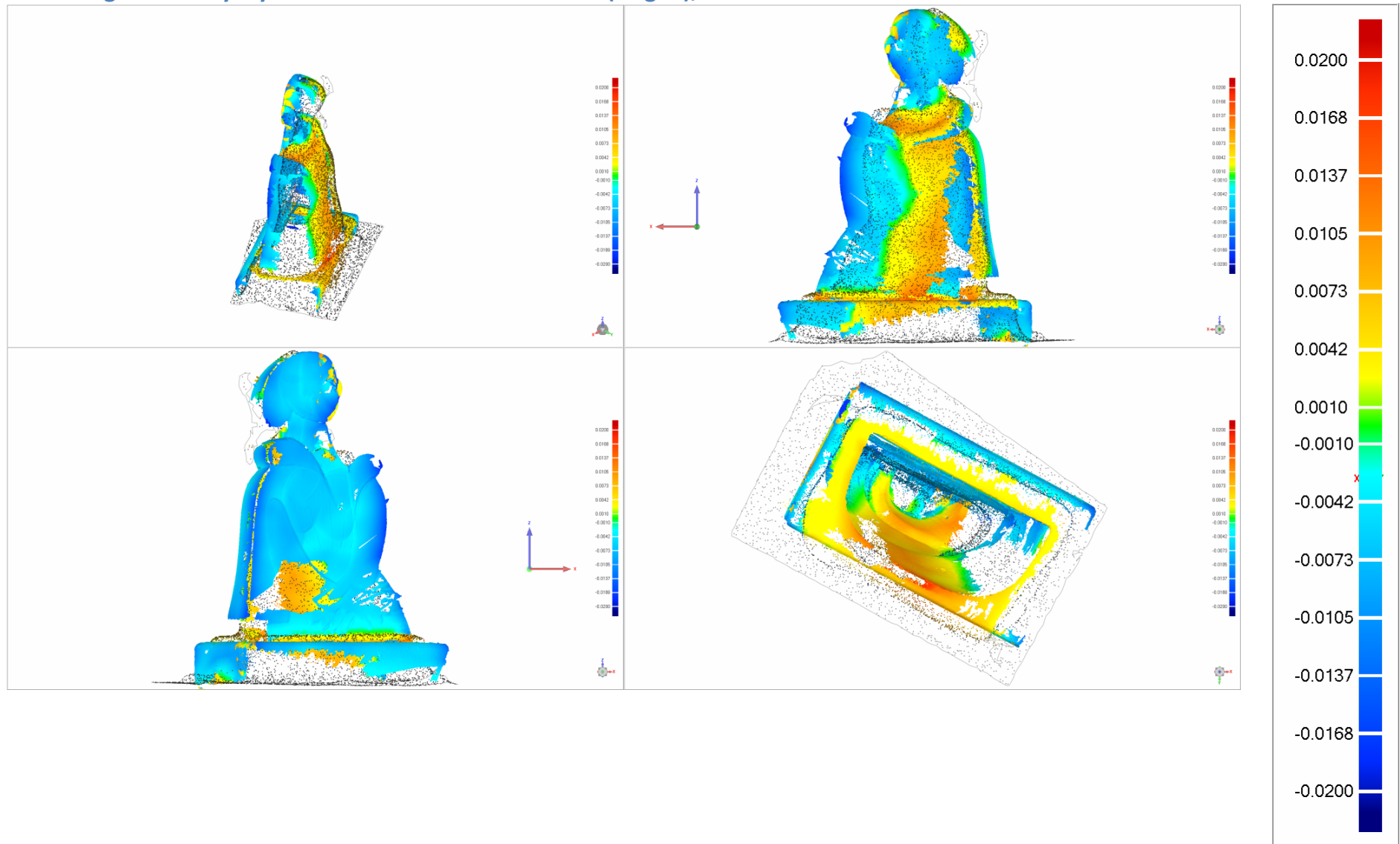
De testade som benämns med avstånd (exempel 50cm) är DPI-7 scanning från respektive avstånd,

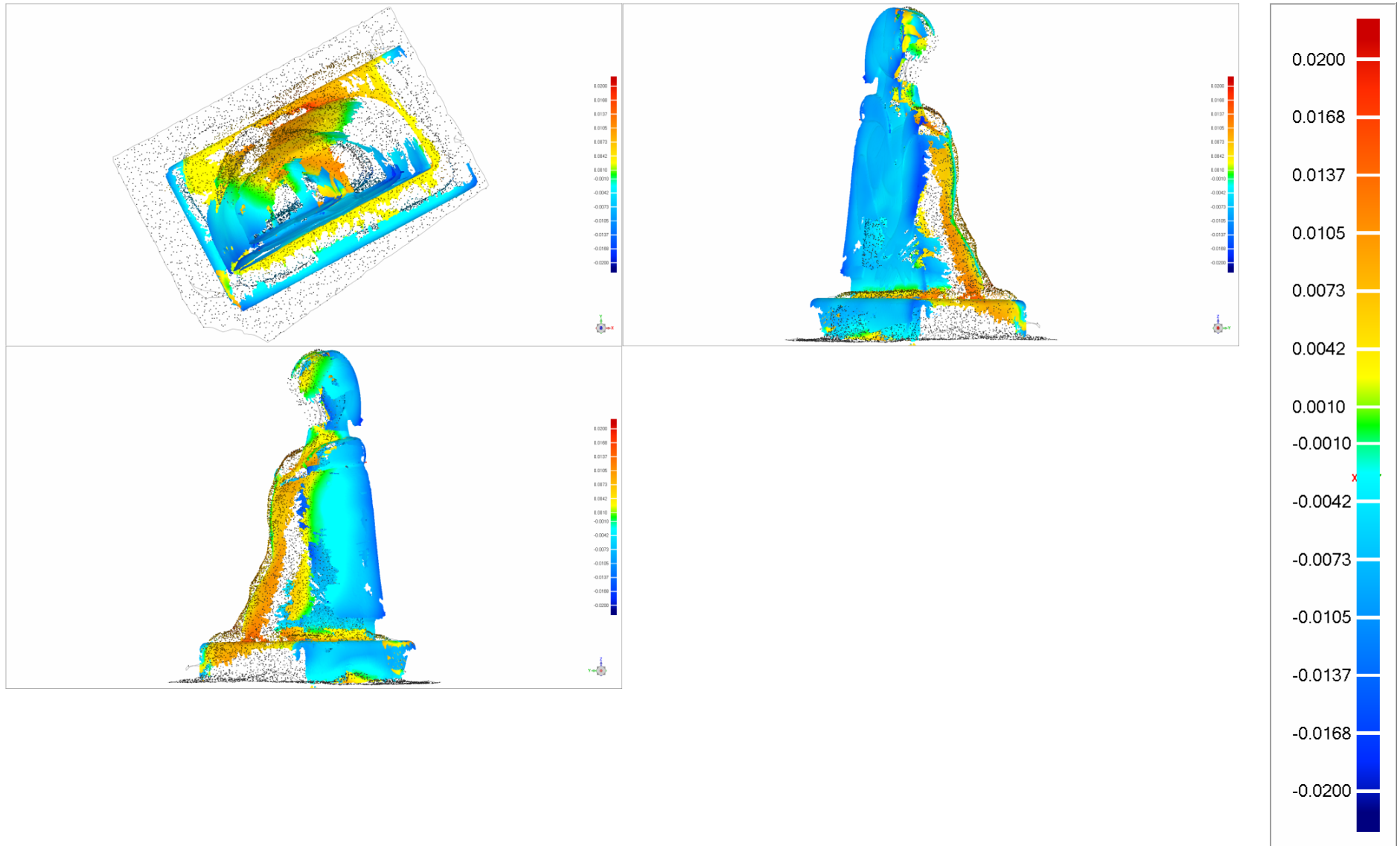
Bilaga 2 – Analys fyra referenser – Referens: CMM (färgad), Test: DPI-7 Picasso 50cm.



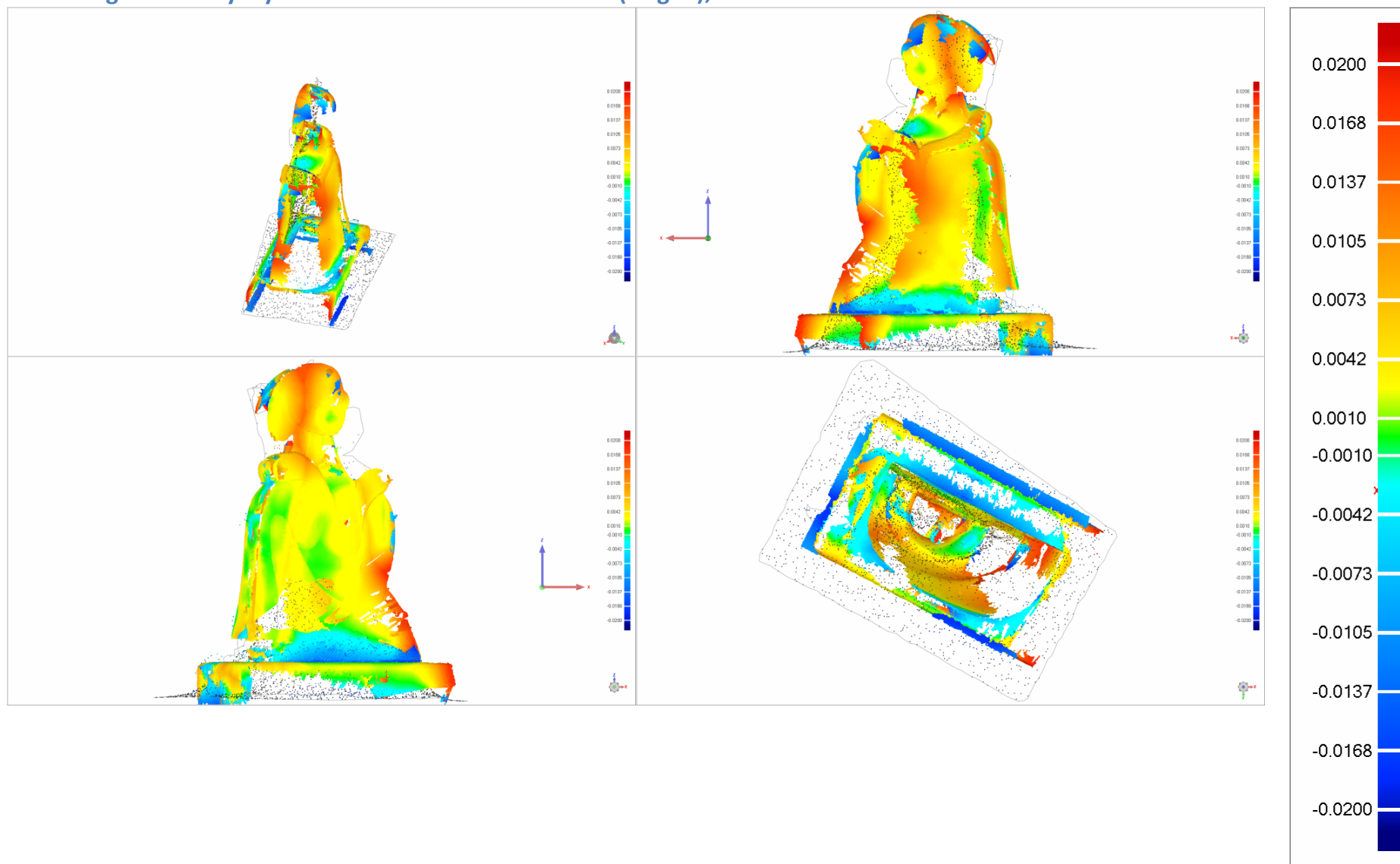


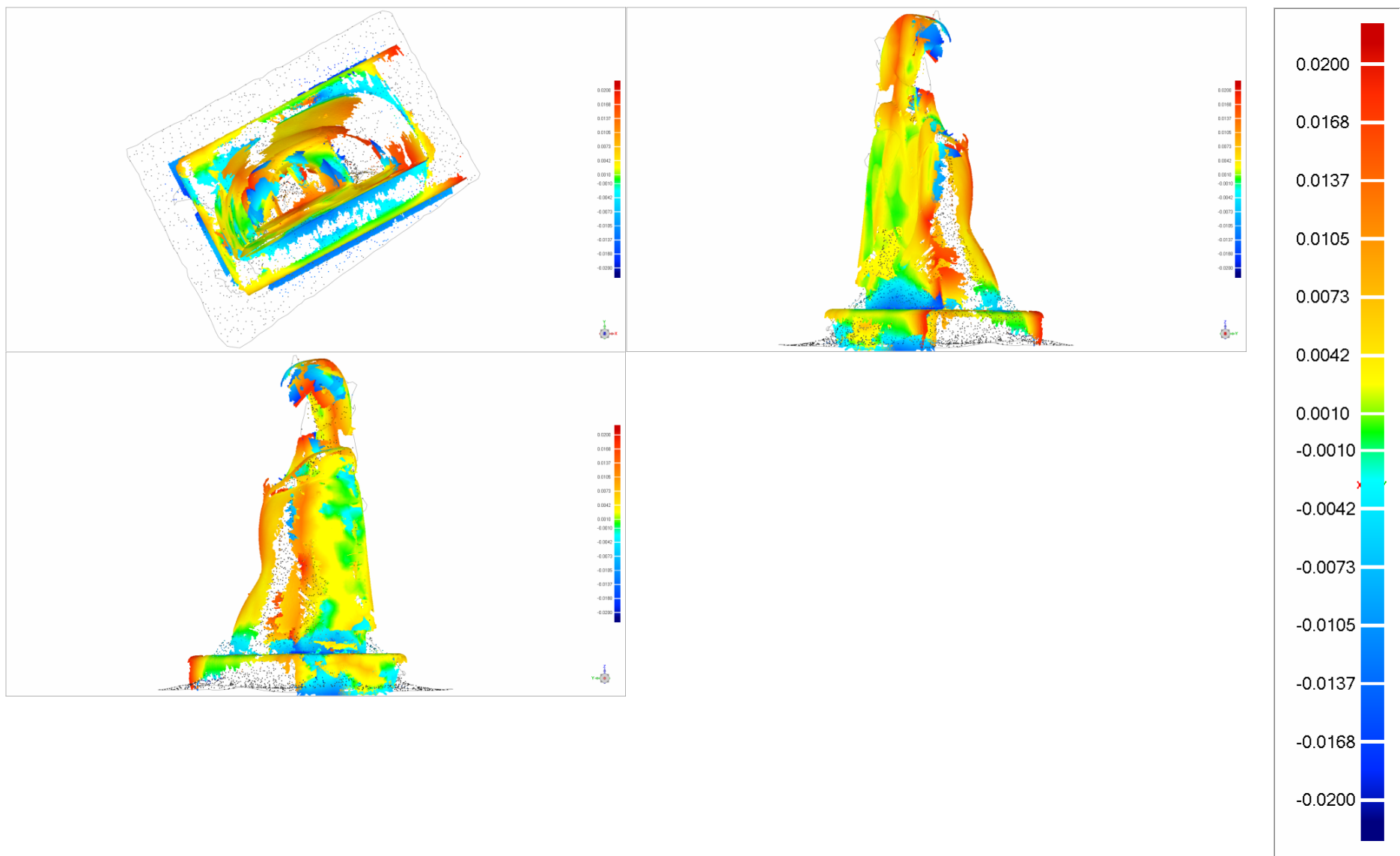
Bilaga 3 – Analys fyra referenser – Referens: CMM (färgad), Test: DPI-7 Picasso 100cm



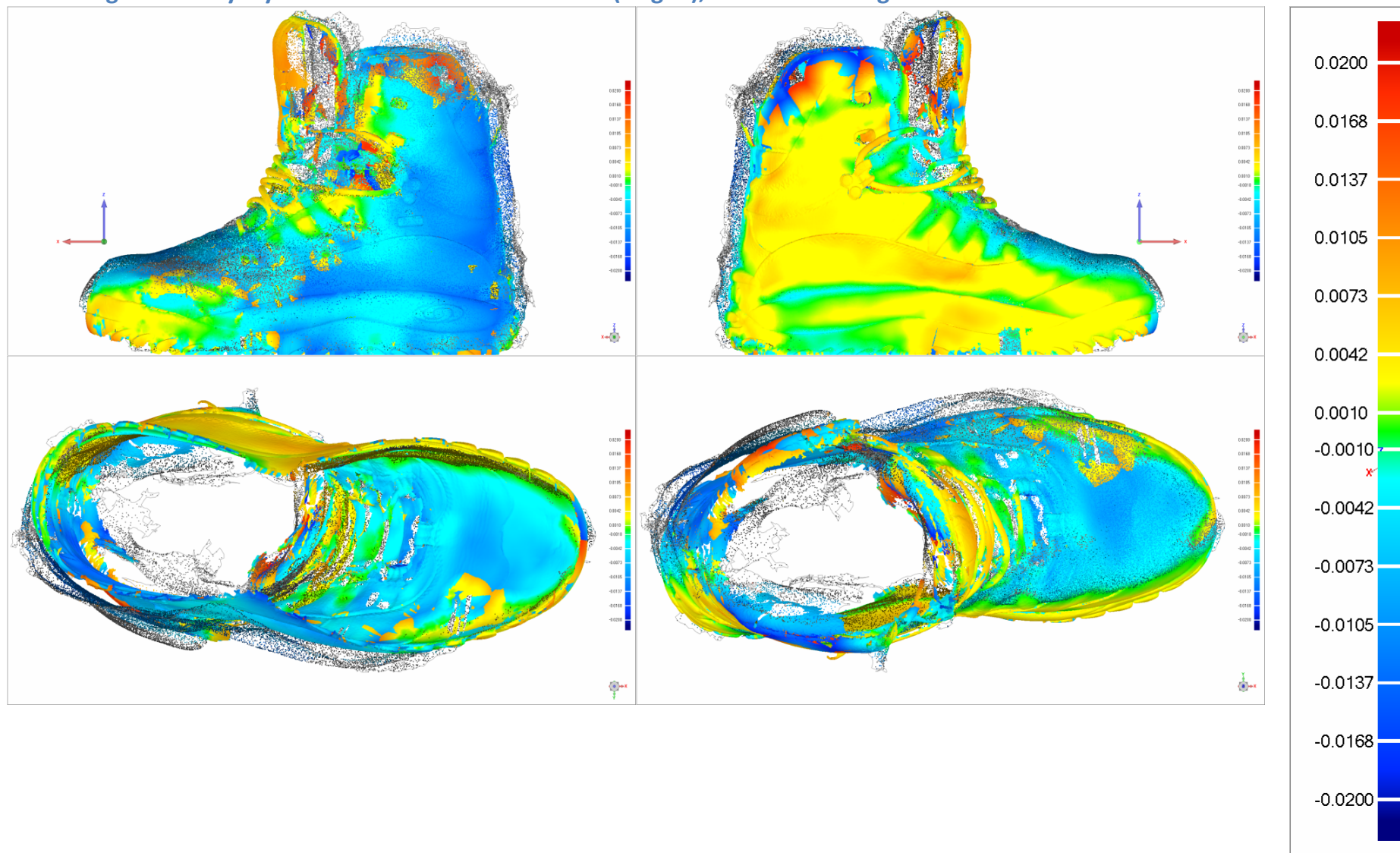


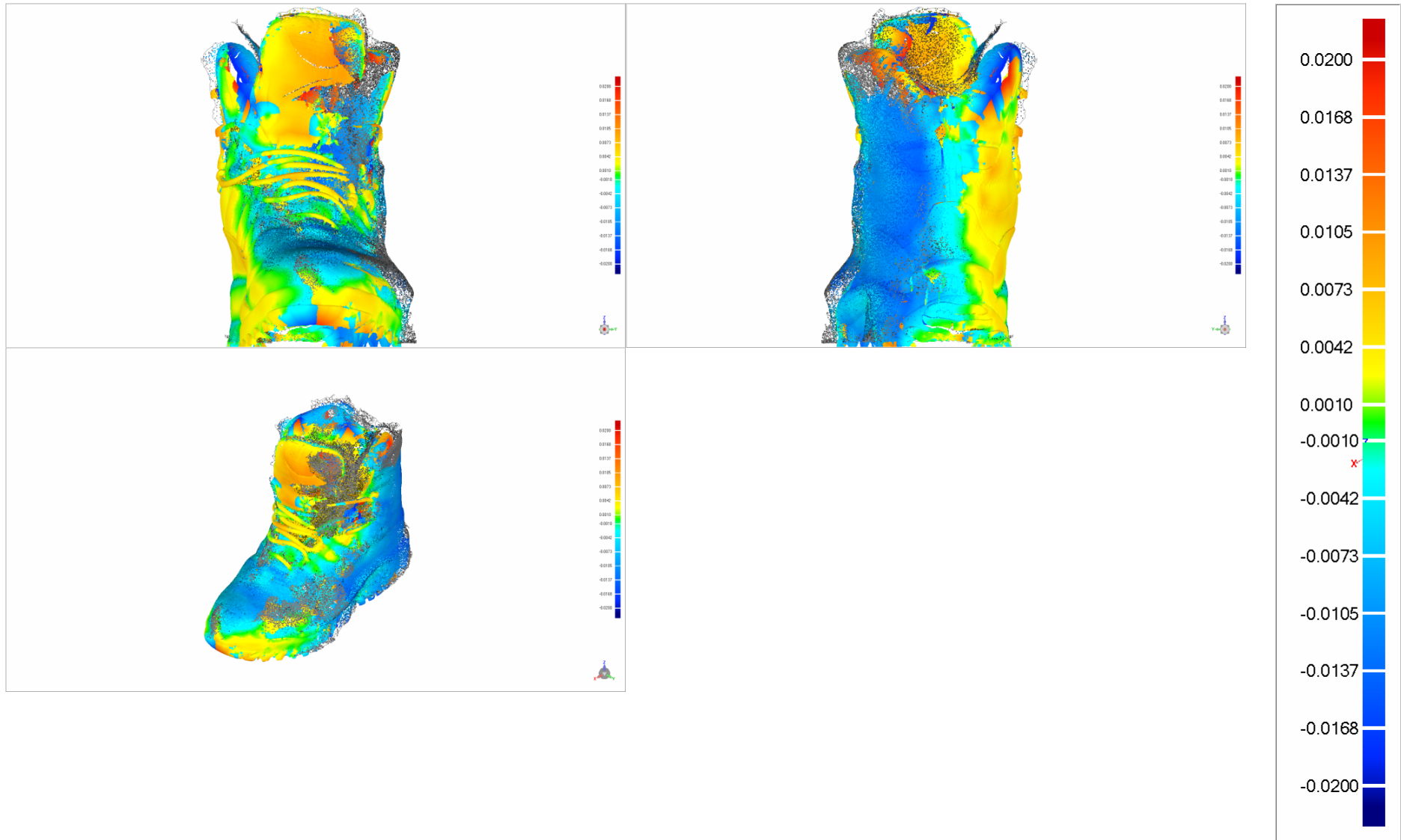
Bilaga 4 – Analys fyra referenser – Referens: CMM (färgad), Test: DPI-7 Picasso 150cm



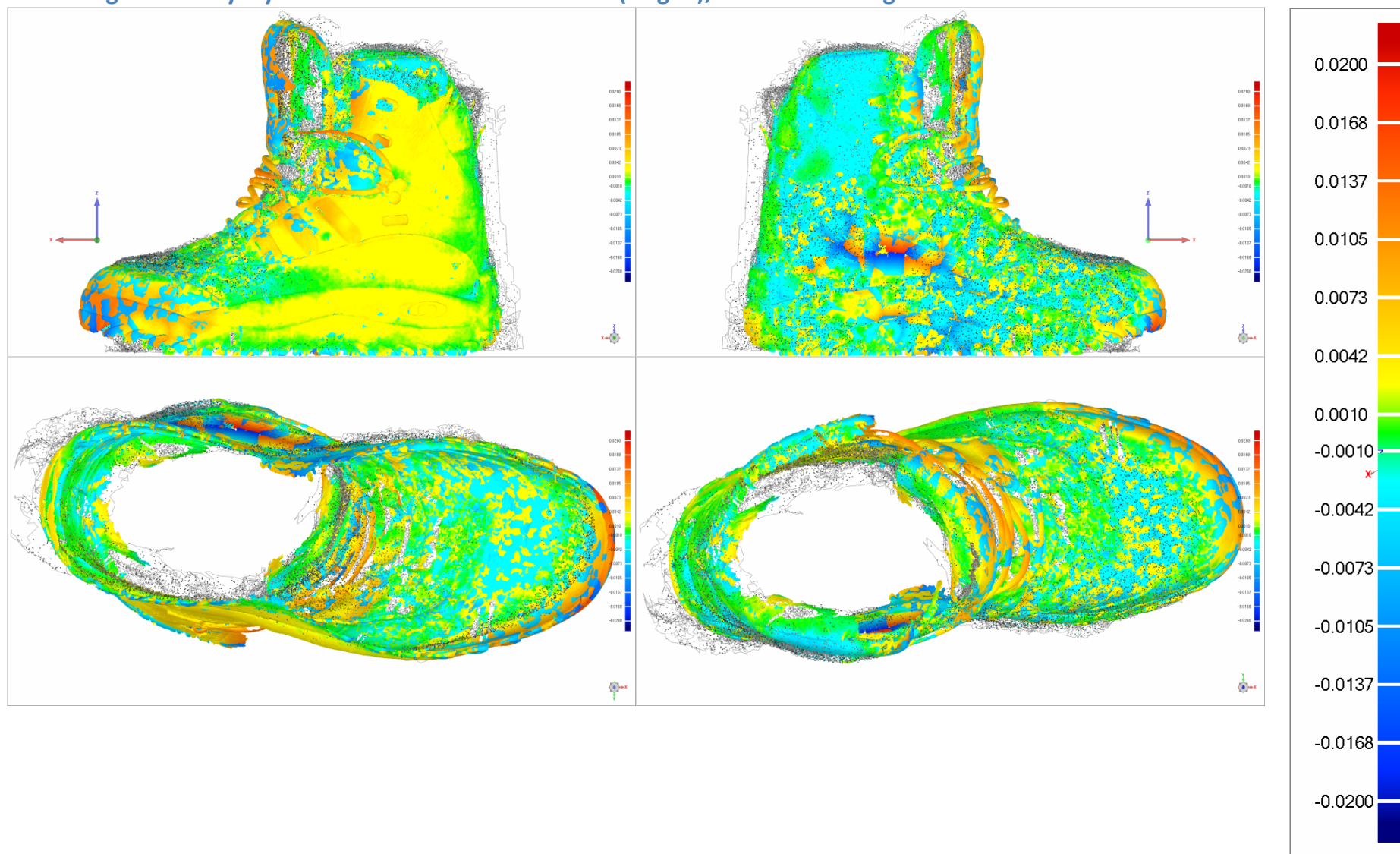


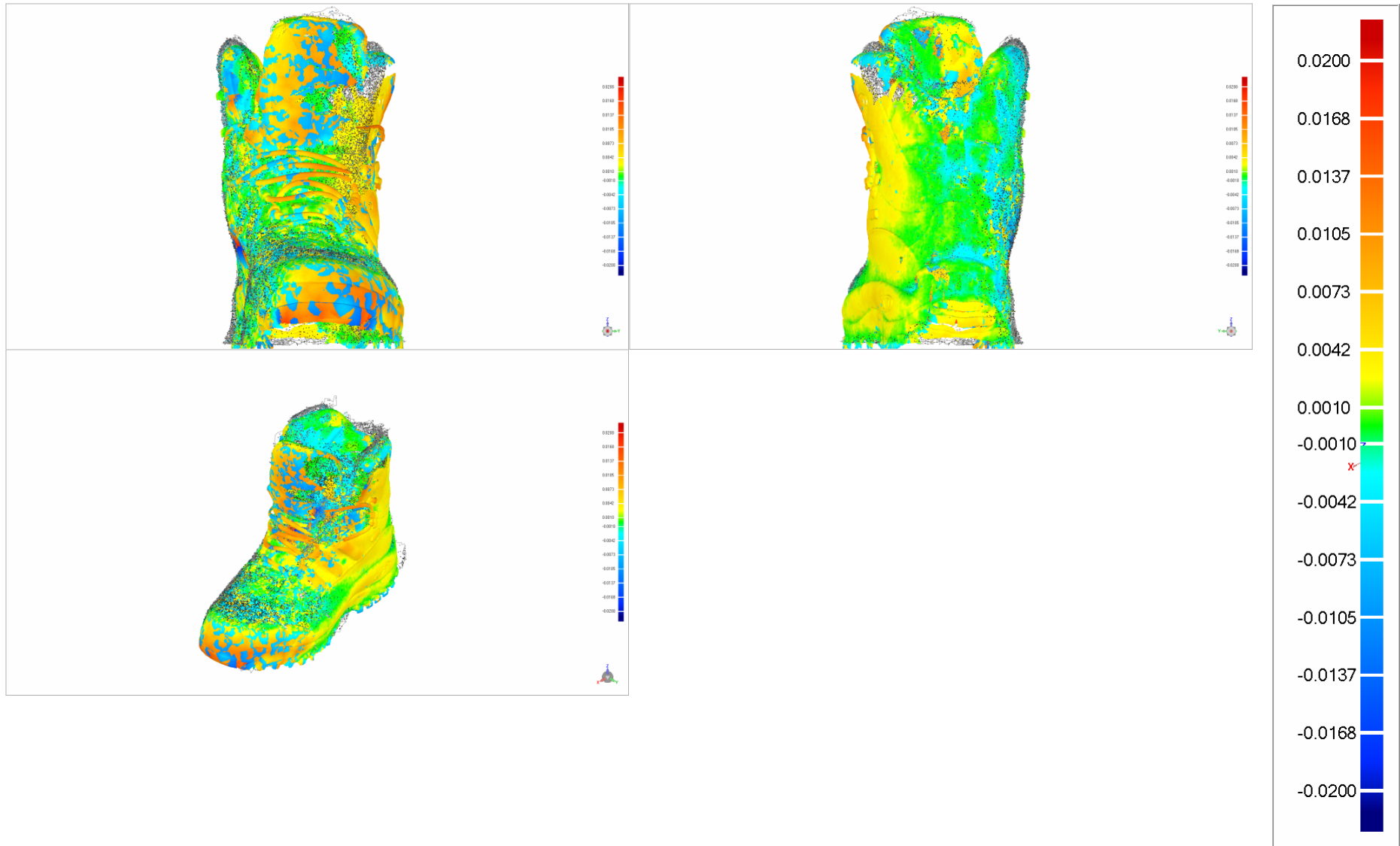
Bilaga 5 – Analys fyra referenser– Referens: CMM (färgad), Test: DPI-7 Kängan 50cm



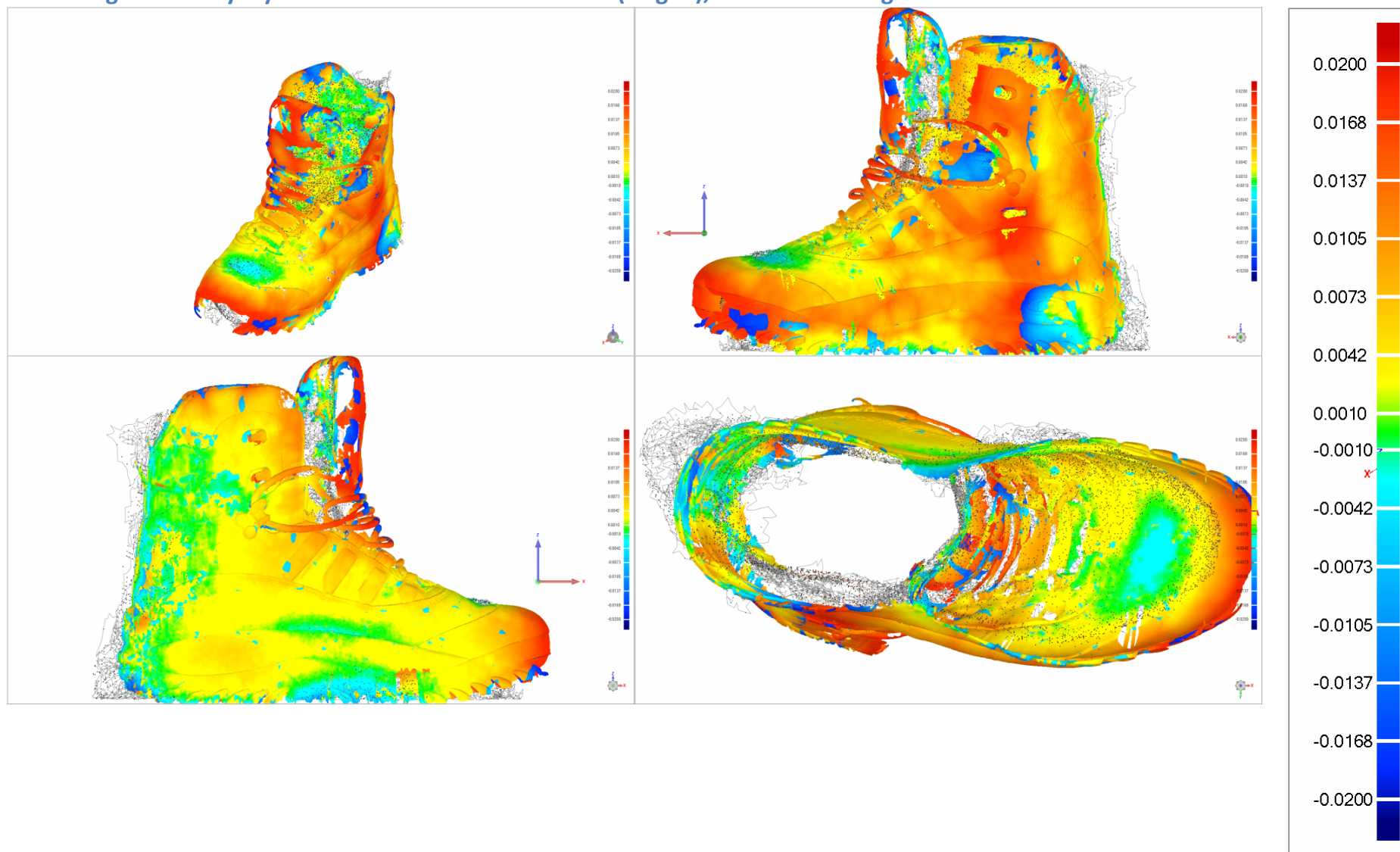


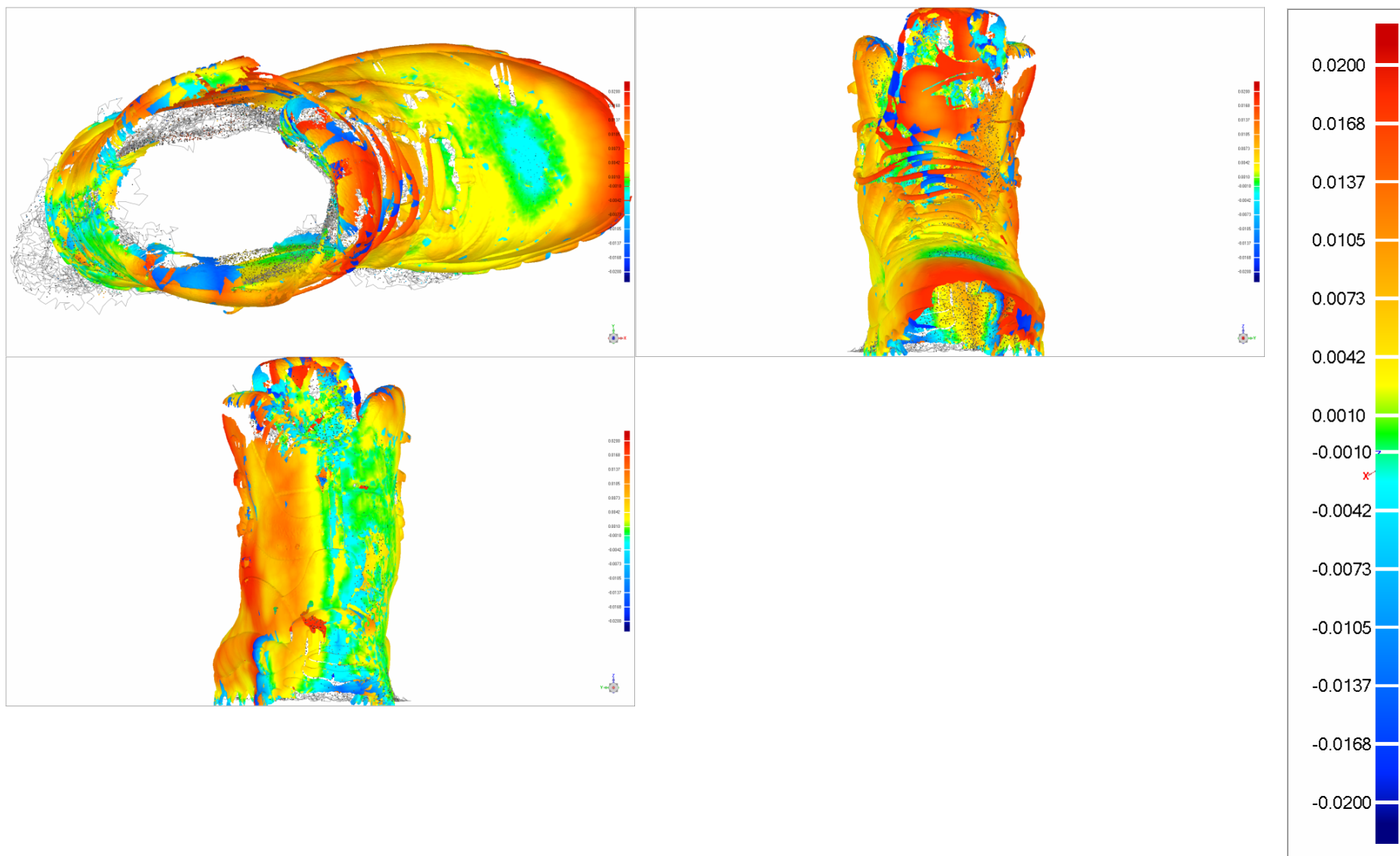
Bilaga 6 – Analys fyra referenser – Referens: CMM (färgad), Test: DPI-7 Kängan 100cm





Bilaga 7 – Analys fyra referenser – Referens: CMM (färgad), Test: DPI-7 Kängan 150cm





DPI-7 Manual

DotProduct LLC
800 Town and Country Blvd.
Suite 300
Houston, TX 77024 USA
+1 281-758-8301
www.dotproduct3d.com



Introduction

Congratulations on purchasing your DPI-7 3D imager. The following instructions will get you up and running as quickly as possible.

A video guide to getting started is also available at http://www.youtube.com/watch?v=nnZL_r7BnuY&feature=em-share_video_user.

(Please note this video is based on a pre-release version of the software so some terminology has changed. New videos will be published shortly.)

Manual Conventions

The DPI-7 imager operates with Phi.3D software. In this document, Top menu line commands for Phi.3D are indicated by **SMALL CAPS**; other commands are indicated by **bold black font**, e.g. **Take Me Home**.

Phi.3D elements that do not require user input but instead provide cues to system performance are highlighted with a **green font**, e.g. **Scene Fitness Bar**.

Looking after your DPI-7 Imager

The DPI-7 comes with a rugged case. We recommend storing the device in the case when it is not being used and particularly when it is being transported. Do not grab the device by the camera in order to avoid bending it. When putting the device on a flat surface, put it tablet side down so that the camera is facing up.

The tablet screen and the camera lenses may be cleaned with a lens or LCD screen cleaner.

Guide Contents

Introduction	1
Manual Conventions	1
Hardware Configuration.....	3
Starting the Software	3
Warming Up the Camera.....	5
Initial System Warm-up	5
Pre-Image Warm-up.....	5
Capturing Your First Image.....	5
Tracking and Capturing Good Data.....	6
Navigating the Point Cloud:	7
Zoom In/Out	7
Rotating the Image	7
Hold to Translate View	7
Take Me Home	7
Saving Data:	8
Saving Un-Optimized Data	9
Export Data Formats	9
Export Coordinate Systems	10
Optimizing Your Data	10
Optimizing your data after scanning.....	11
Using Targets	11
Targets in Scene Optimization	15
Other Uses for Targets	15
Download Target Files.....	15
Getting Your Data	15
Append Data by Adding to Existing 3D Images:	15
Other Functions:.....	17
INFO Tab:.....	17
F/S:.....	17
SESSION Tab:	17
LFM Workflows.....	18
Cyclone Workflows.....	18
CloudCompare Workflows.....	18
MicroStation Workflow	19
Software Upgrades	19
Upgrade Procedure (short)	19
Known Issues	19
Upgrade Procedure (long).....	19
Removing Phi.3D as the Default USB Device	24
Tips and Tricks.....	24
Scene Consideration.....	24
Measurement Accuracy versus Tracking Stability	25
Setup	25
Imaging Technique	25
Image Size	25
Accuracy	25
File Management	25
Imaging	25

HARDWARE CONFIGURATION

1. Remove the DPI-7 from the storage case and insert the tablet into the sliding bracket mount (if not already in the bracket).
2. Connect the sensor to the Nexus 7 tablet by connecting the USB cable (with USB to Micro-USB connector) from the sensor to the Nexus 7 tablet. Make sure the USB to Micro-USB connector (provided) is connected well and inserted tightly in the Nexus 7 Micro-USB port.
3. Power on the tablet by depressing the power button. It's the left-most button on top of the tablet. Note that the USB connection will be on the right hand side when the display screen is facing you.
4. Check the status of the battery charge icon in the upper right hand corner of the display. We advise beginning operations with a fully charged battery.

STARTING THE SOFTWARE

Note: Depending on set up, the Phi.3D software may start on its own when it detects the camera being connected. If not, then, Find the Phi.3D icon on the homepage (shown in Figure 1) of the Nexus 7 tablet and touch it to activate the Phi.3D application.

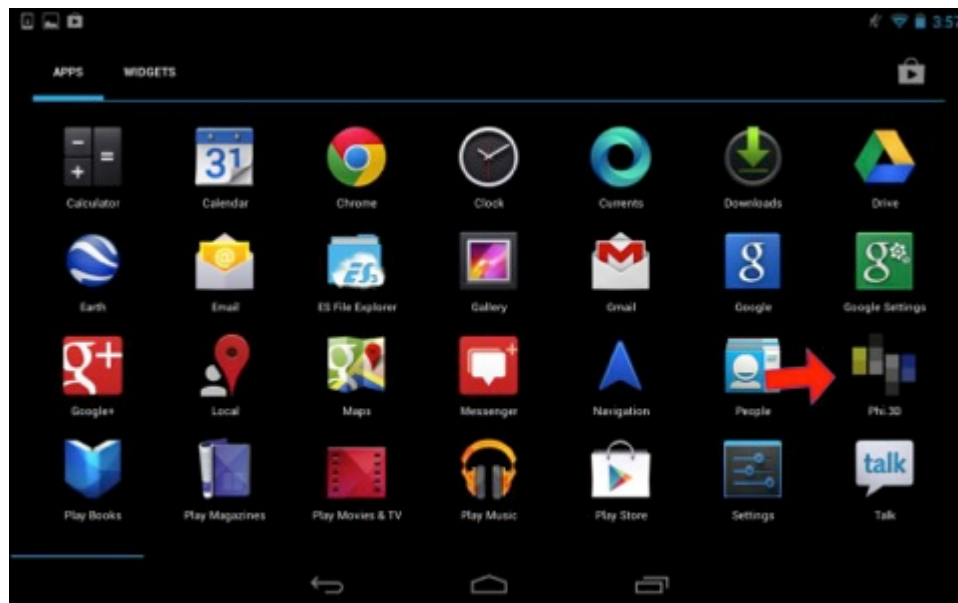


Figure 1

If you see the screen in Figure 2, do not select the option to “Use by default for this device”. Instead, select “OK” and the Phi.3D software will launch.

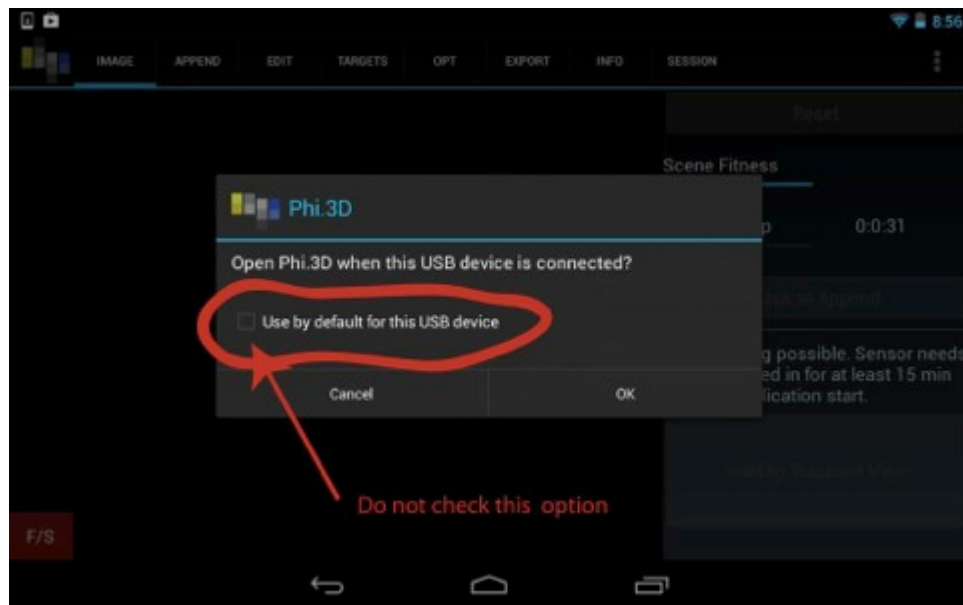


Figure 2

1. You should be defaulted to the IMAGE Tab. If you are not defaulted to it, make sure you are in the IMAGE Tab by pressing that Tab at the far left location of the Tab menu bar at the top of the screen. You should start seeing a live gray scale image in the Image window. If you do not see the live image, look to see if there is a warning that a sensor is not detected. In this case, it is most likely your USB connection is not good. Check your connection into the Nexus as well as the connection from the camera to the micro USB connector.

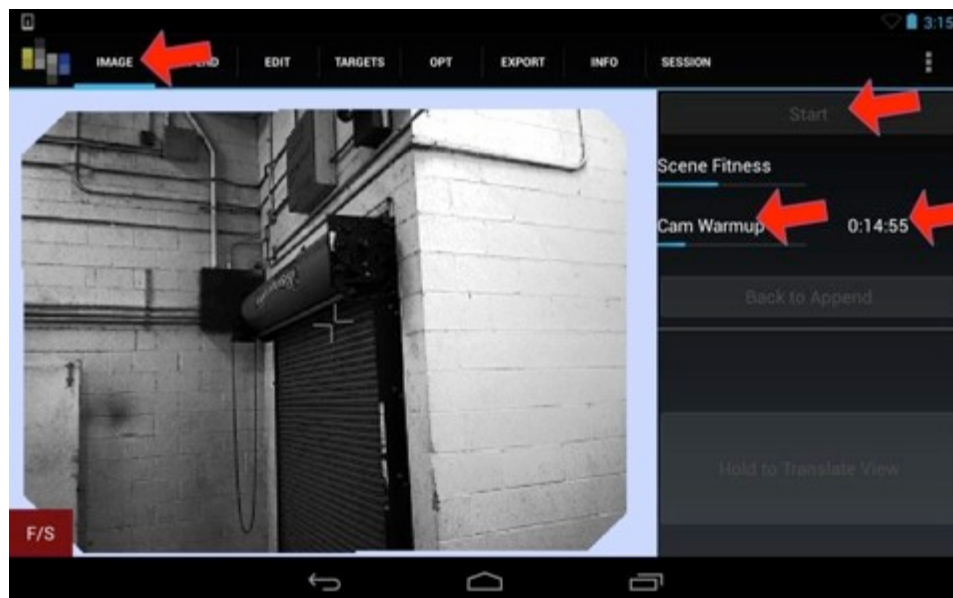


Figure 3

WARMING UP THE CAMERA

Initial System Warm-up

There are two types of warm-up for the imager. First, there is the initial system warm-up required when you first activate the software and the sensor. This system warm-up must be performed before every job and should be performed if the imager has been turned off for more than 2 hours since the previous job. For best use of calibration, the sensor in the DPI-7 camera should be warmed up for at least 15 minutes (preferably 30 minutes) before capturing the most accurate and clean data. Place the imager on a flat surface with the camera facing up. A timer/counter is located just to the right of the Cam WarmUp progress bar (shown above in Figure 3) tracks how long the sensor has been activated. Once the sensor is activated and warmed the activation warm up should be good so long as the sensor is plugged in and Phi.3D is active. Exit and restart the Phi.3D application after the device is warmed up and you are ready to begin scanning.

Pre-Image Warm-up

In addition to the system warm-up, each time you begin an image session you will need to let the sensor warm-up for about 45 seconds. This will be required each time you reset the IMAGE Tab. On the right hand side of the screen, you will see a Scene Fitness Bar and a Cam WarmUp bar (shown in Figure 4) . You will not be able to capture data until the Cam WarmUp bar reaches 100%. Once the Cam WarmUp bar is complete the Start button will become activated (see Figure 4.)

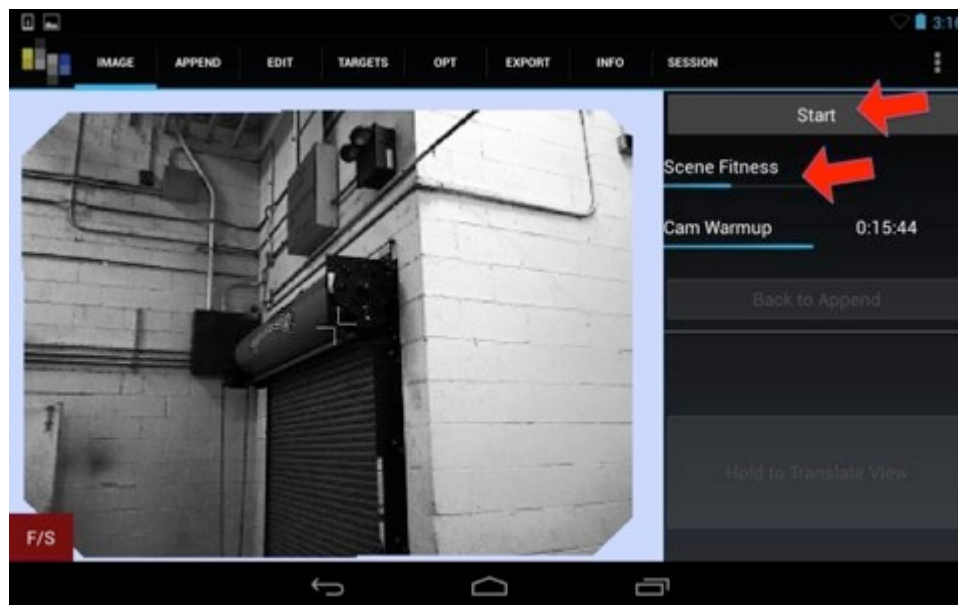


Figure 4

CAPTURING YOUR FIRST IMAGE

The Scene Fitness bar, located on the right side of your screen (shown in Figure 4) indicates the suitability of the scene for capture with the DPI-7. Scene Fitness is positively impacted by scenes with geometric features. The Scene Fitness for a blank white wall will be poor. The Scene Fitness for a scene that includes the intersection of three planes, e.g. a corner that includes two walls and a floor will be much better. We recommend beginning a scan with good **Scene Fitness**.

To begin imaging press START and start imaging. Touch FINISH to end your imaging. In seconds your 3D point cloud image will appear in the Image Window. See Export Data Formats for saving, optimizing and exporting instructions.

TRACKING AND CAPTURING GOOD DATA

Move the device around slowly around the area of interest. A slow, circular “washing” motion works well. Avoid sudden jerky movements of the camera. Keeping your wrist locked will help keep the imager motion fluid. The pixels for the area of interest will start out grey and turn yellow (see Figure 5) and then green as the imager collects progressively denser and higher quality data. See Figure 6. The idea is to paint the area of interest green on the tablet screen. Varying the camera angle assists the capture of difficult areas. For example, shiny surfaces can often be captured by changing the approach angle. Similarly, moving the imager closer to areas of interest and centering of areas of interest boosts the quality of the capture.

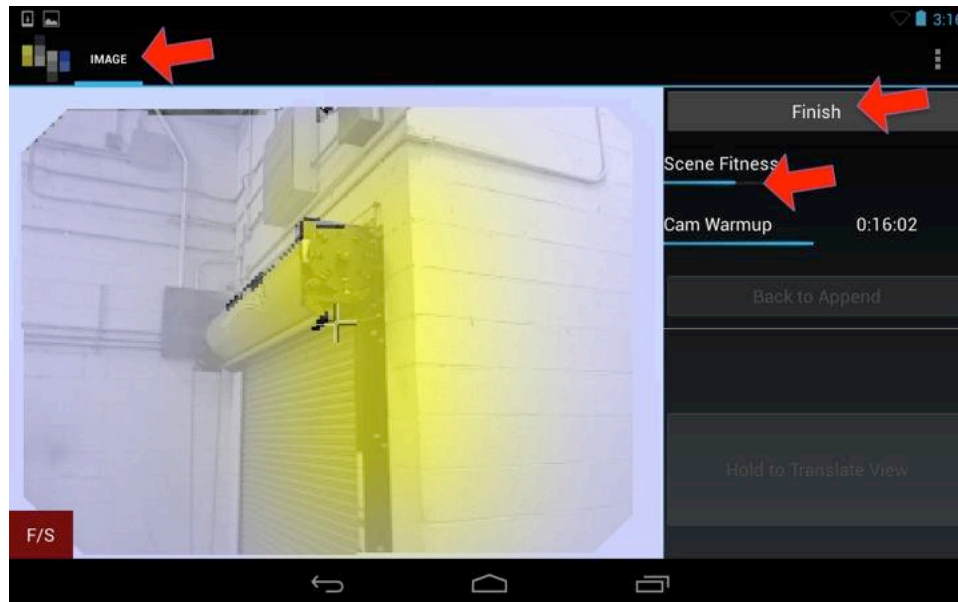


Figure 5: IMAGE Tab - Imaging - Yellow Pixels

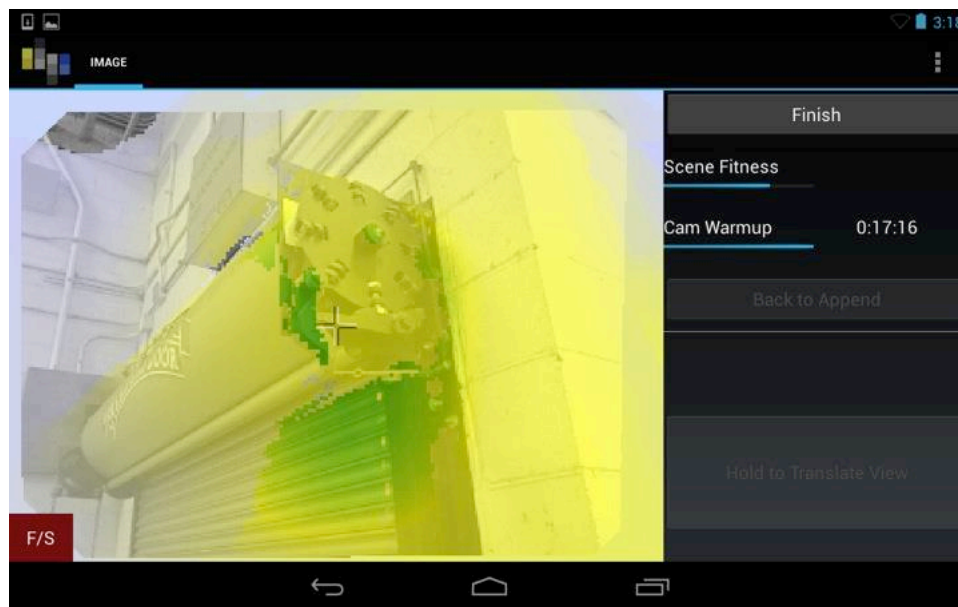


Figure 6: IMAGE Tab - Imaging - Green and Yellow Pixels

Occasionally you may find that the imager has lost tracking. See Figure 7. In these instances, move the imager back to an area where you were collecting good data and typically the imager will re-localize, i.e. find itself and you can continue the data acquisition. In the event that you are unable to re-localize the imager, it will be necessary to stop the collection. The imager will save the data collected to the point it lost tracking.

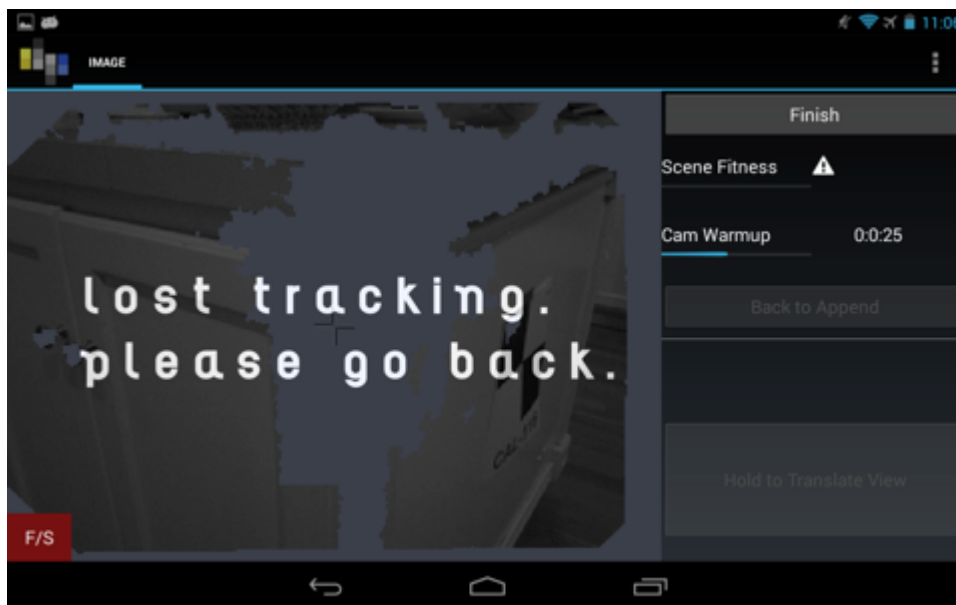


Figure 7: Lost Tracking

If there are limited geometrical features in the area of interest, the screen will turn red, for example when imaging a blank wall. This is a warning that the imager may lose tracking for the lack of geometrical features. In this case it is important to slow down capture and to avoid quick sudden movements! Remedies include changing the imager angle or backing up to capture more geometry. In some scenes the warning is unavoidable.

NAVIGATING THE POINT CLOUD:

Zoom In/Out – by pinching or reverse pinching the Image Screen with two fingers, you will zoom in or out (respectively) to/from the center of interest.

Rotating the Image – you may rotate the image on the Image Screen by moving it with your finger

Hold to Translate View– by pressing the Hold to Translate View button and rotating the Imager (or Nexus tablet if disconnected from sensor) you will move the center of interest in space.

Take Me Home – if you become lost and would like to return to the initial view of your Image, press the Take Me Home button which is available on the EDIT Tab (see Figure 8.)

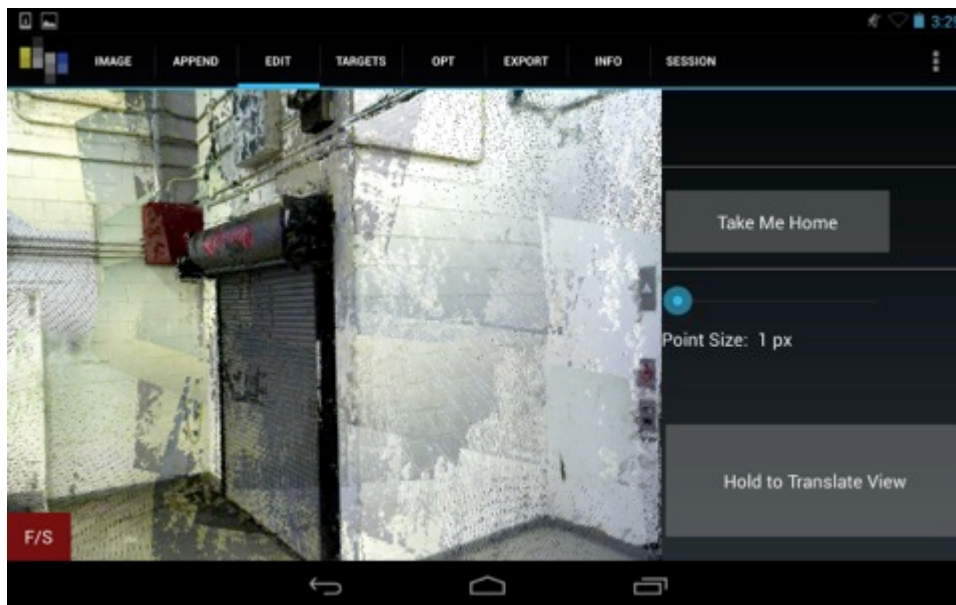


Figure 8: EDIT Tab

SAVING DATA:

When you finish imaging, touch the EXPORT Tab on the main menu to save the image data to the onboard solid state drive using the Save Scene to SD Card button (see Figure 9).

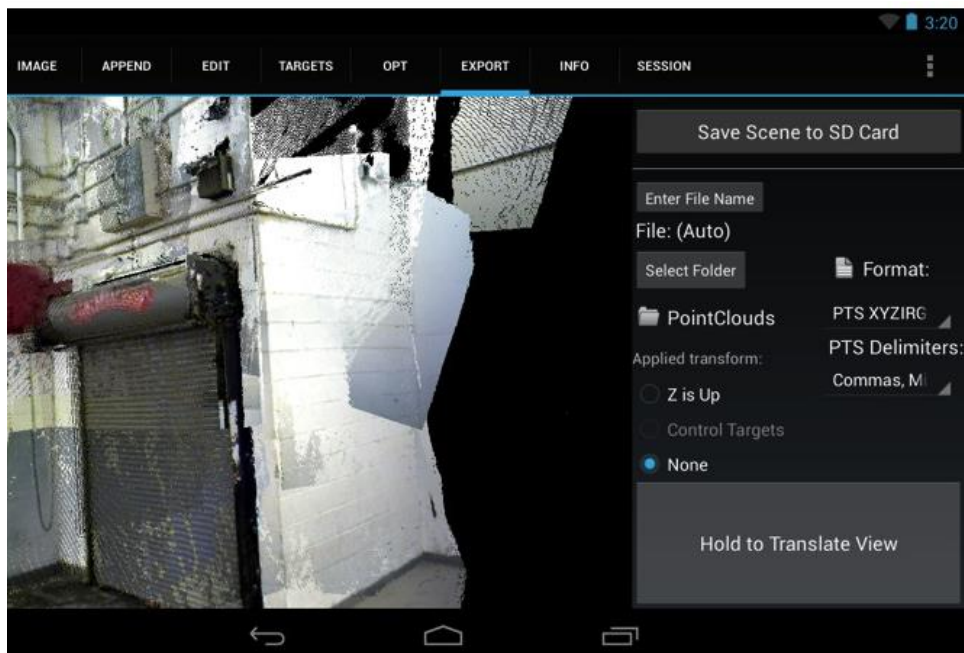


Figure 9: EXPORT Tab

You can change the file name and location by selecting the Enter File Name and Select Folder buttons.

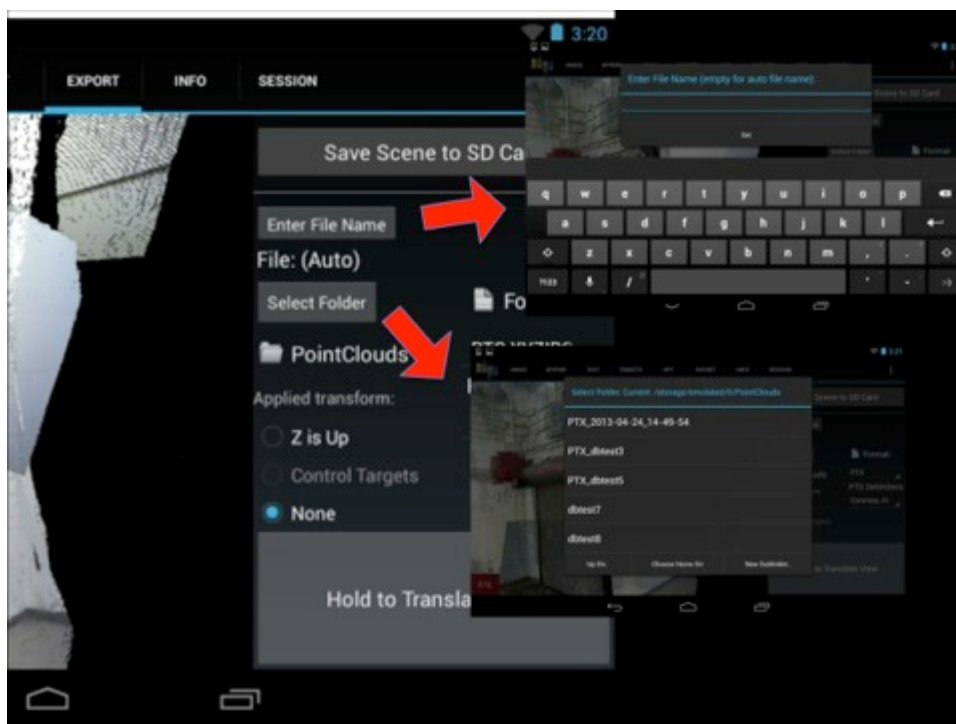


Figure 10: EXPORT Tab - File Name and Save Location Options

Saving Un-Optimized Data

When you save the image data, you will be asked “Scene has not been optimized. Save anyway?”

We recommend you save the raw data first. You can optimize immediately afterwards or save this for processing after you finish the data capture. See below for discussion of Optimization.

EXPORT DATA FORMATS

On the EXPORT Tab and underneath the Format Button, you can select the desired output format from a dropdown menu. Using DotProduct Phi.3D software with the DPI-7 imager you may Save your data to the following formats using the

EXPORT Tab:

- PTX – space delimited, meters.
- PTS XYZIRGB – the PTS standard including x, y, z, intensity, red, green, and blue. You may further define the delimiter and units (see below)
- PTS XYZI – similar to above without RGB
- DP Binary – this is DotProduct’s proprietary format. It is a highly compressed format.

Figure 11 shows the drop down list of formats from the EXPORT Tab. Note that the DP_ASCII Format is not supported after Phi.3D V1.0.

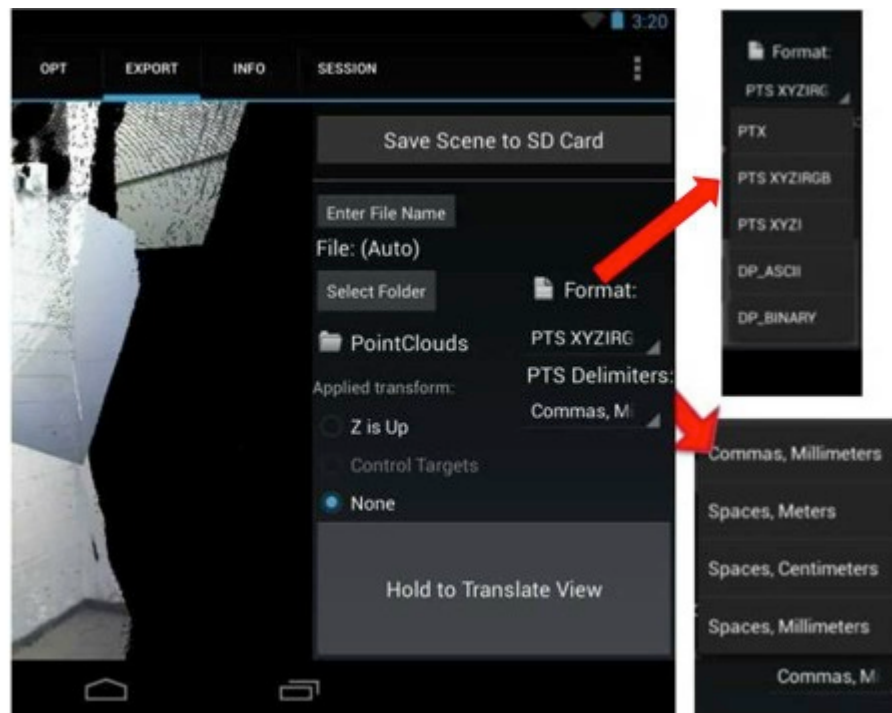


Figure 11: EXPORT Tab - Format Options

If you designate PTS, recognizing that there are numerous versions of this “standard” format used, you may set the delimiters and units that you want the format in as shown in above.

If you wish to export your data to Leica Cyclone, then choose the spaces option. The PTS format is dimensionless so select the units you plan to specify when importing into Cyclone.

If your wish to export your data to Trimble RealWorks, then select the Commas option. Note that the comma delimited files will be larger than the corresponding space delimited file.

PTX files are written for each key frame and may be concatenated prior to import.

The CMD line command `copy /b *.ptx newfile.ptx` will accomplish this provided it is entered with the cursor in the directory containing the PTX files to be joined up.

EXPORT COORDINATE SYSTEMS

When results are exported the standard coordinate system has the origin (0,0,0) where the imager started capturing. Axis X is pointing to the right side of the sensor, Y pointing downwards the sensor and Z pointing along the optical axis into the scene. If a different coordinate system is desired when data is exported Phi.3D offers several choices:

- Z is up:** This will have axis X pointing to the right side of the sensor, axis Z pointing upwards along gravity and axis Y pointing parallel to the floor such that X Y and Z form an orthonormal system. This is the standard coordinate system for CAD applications.
- Control targets:** This will apply the transform obtained by identifying and matching a number of control targets (see section "Using Targets".)

OPTIMIZING YOUR DATA

You may perform automatic 3D data optimization algorithms right on the tablet while still in the field by going to the **OPT** Tab and pressing the Global Optimization button (see Figure 12.) This will take anywhere from 30 seconds to a few minutes depending on the size of your image. A progress bar will be displayed while the function is operating. Once

the optimization process is complete, the optimized image will be shown in the Image window. You may then save the optimized dataset in the same fashion as discussed above in Saving Data.

The Global Optimization button is available to you every time you record or append to a scene and have not optimized yet. It is not available on scenes that have been optimized already.

Somewhat independently the Dynamic Parent Scene switch is available whenever the Global Optimization button is available AND you deal with scenes that have at least one Append. If the switch is on, it means that the whole scene is optimized, regardless of what was appended or not. If the switch is off, however, all existing data in the scene, except the last Append is considered static in the optimization and will not be optimized further.

Of course setting the switch to off is only recommended if you append to an already optimized scene. If you append to a scene that has not been optimized, the switch should always be on.

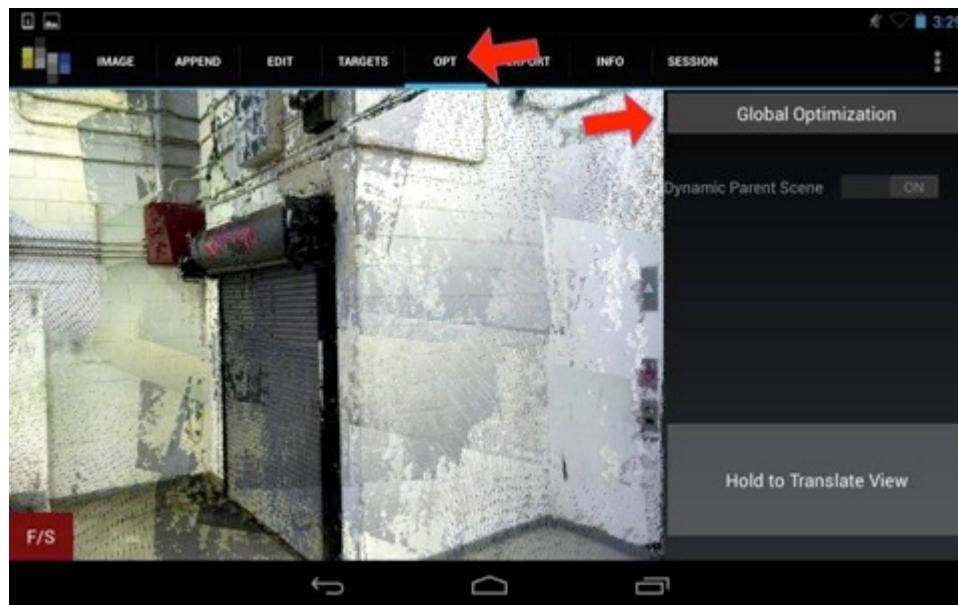


Figure 12: OPT Tab - Global Optimization

OPTIMIZING YOUR DATA AFTER SCANNING

You can defer the optimization step until later, after you've finished all the data collection in the field. Here's how.

First, retrieve the file you want to optimize by selecting the APPEND tab. This will bring up a list of files in the /storage/emulated/0/PointClouds directory (Note: /storage/emulated/0 is just an alias for /sdcard which is the root directory.) See Figure 12. You can easily navigate to other directories from this list too by scrolling up to the top of the listing. DP files will be prefixed by the letter P (green color) indicating an already optimized file, or the letter N (red) indicating a raw or un-optimized file. You cannot optimize a previously optimized file unless you append more data.

After you have selected an previously un-optimized file by tapping it, select the OPEN to append button, then select the **OPT** tab, then select the Global Optimization button and wait for the file to optimize. Save the optimized file with a **new name, e.g. newfile_opt** by first selecting the **EXPORT** tab then setting the **Format to DP_BINARY** then select **Save Scene to SD Card**.

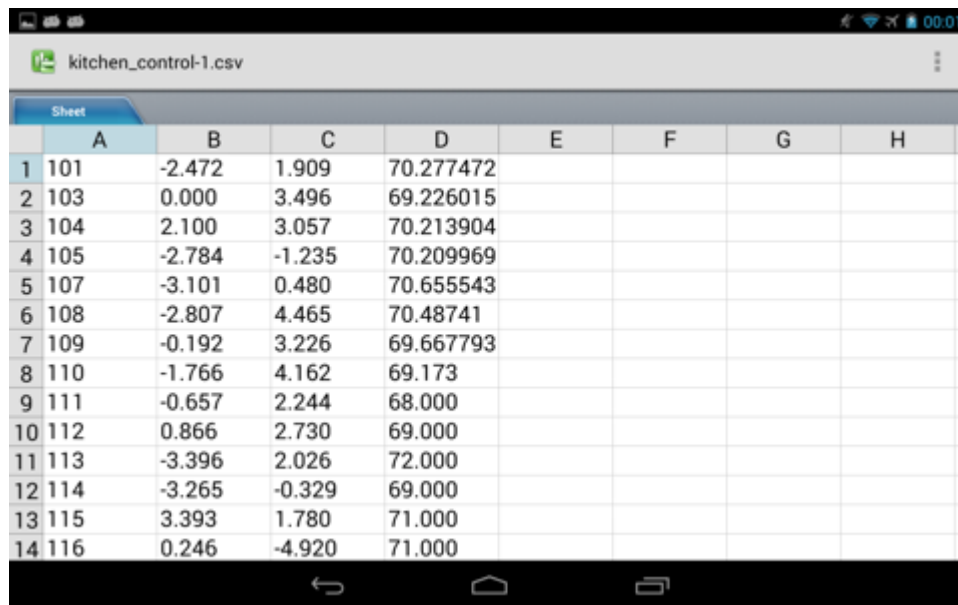
To continue optimizing more files, select the OPT tab, then select Unload/Select Other to select the next file to optimize.

USING TARGETS

DotProduct recommends the use of targets whenever possible. Using targets increases accuracy and also improves tracking stability. When targets are surveyed independently and survey control has been established for example with a

total station, or their position has previously been determined by some other reliable method, then these targets can be used to rotate and translate DPI-7 data into the coordinate system of the control network on the tablet. Targets also serve as a constraint network in global scene optimization. The Phi.3D software can automatically determine the centroid of a checker board target captured by the DPI-7 Imager. Association of these target centroids with survey control targets is achieved semi automatically.

Step 1 is to Load Targets File on the tablet. The target file should be a comma delimited file that lists the target ID and coordinates of the target center. Figure 13 shows a sample survey control file. This file needs to be loaded in the root (/sdcard) directory. Note that the first column of the file is the target ID and the second, third and fourth columns are the x,y, and z coordinates of the target. The units are always meters.



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	101	-2.472	1.909	70.277472				
2	103	0.000	3.496	69.226015				
3	104	2.100	3.057	70.213904				
4	105	-2.784	-1.235	70.209969				
5	107	-3.101	0.480	70.655543				
6	108	-2.807	4.465	70.48741				
7	109	-0.192	3.226	69.667793				
8	110	-1.766	4.162	69.173				
9	111	-0.657	2.244	68.000				
10	112	0.866	2.730	69.000				
11	113	-3.396	2.026	72.000				
12	114	-3.265	-0.329	69.000				
13	115	3.393	1.780	71.000				
14	116	0.246	-4.920	71.000				

Figure 13: Comma Delimited Survey Control File

Figure 14 shows a survey control file loaded in the correct location. The survey control file is loaded on the tablet by connecting the tablet with a USB cable to a computer which has the file and uploading it from the computer. Note that it is possible to have multiple survey control files on the tablet, a different file for each project for example. Alternatively, the control file can be emailed to the tablet's email account and downloaded from the email account inbox. Of course a WiFi connection is needed in this instance. Step 1 can be performed either before or after data collection.

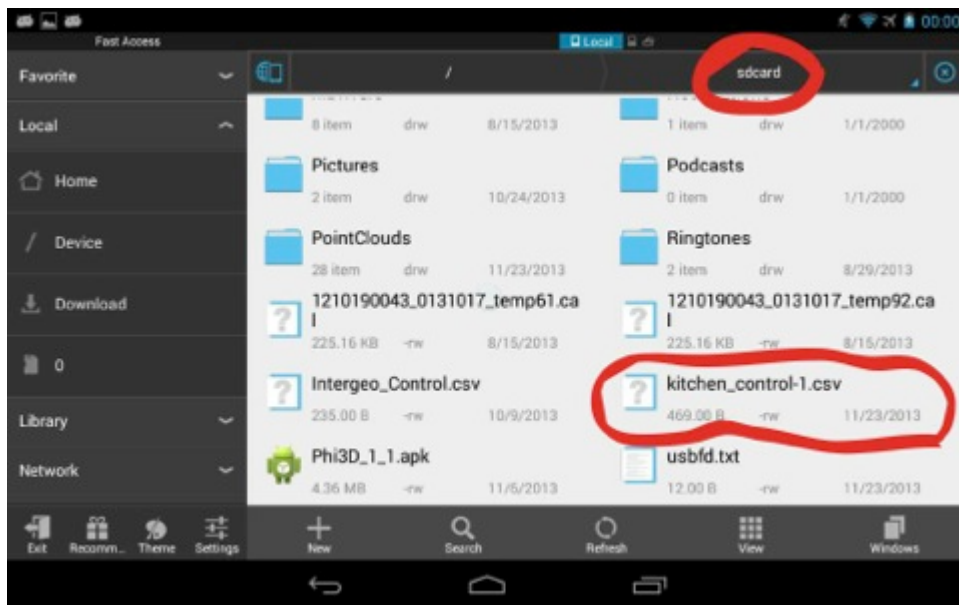


Figure 14: Survey Control File in Correct Location

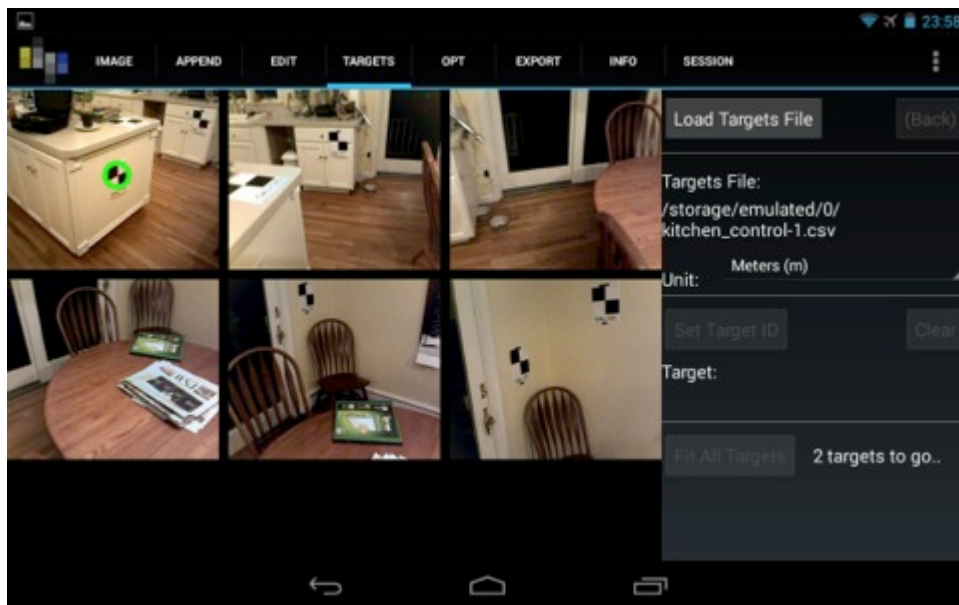


Figure 15: Select Targets Tab

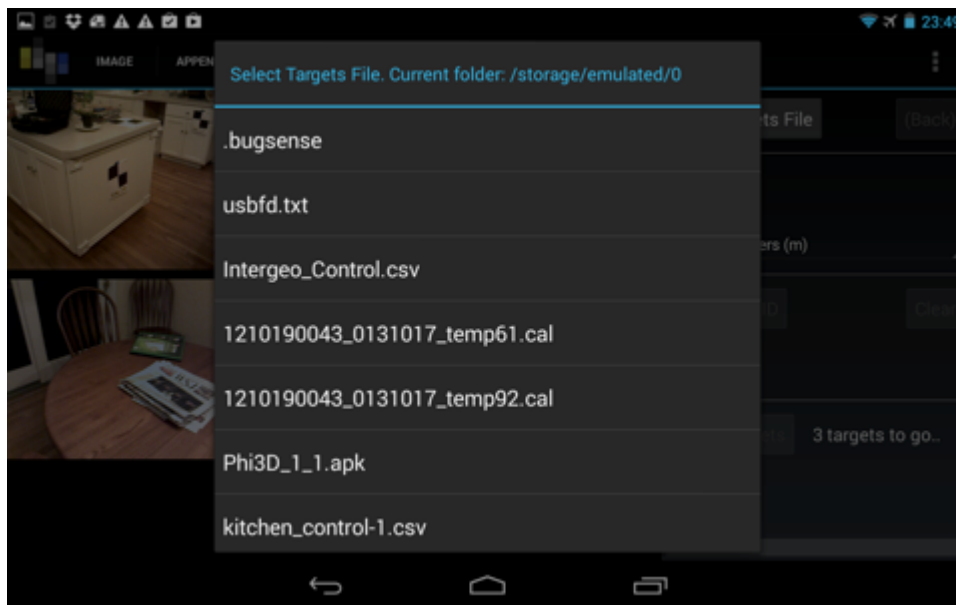


Figure 16: Load Targets File

Step 2 is to locate the target centroids on the tablet. This is accomplished by selecting the TARGET tab on the tablet. See Figure 15. The user is asked to Load Targets File and select the target file placed on the tablet in Step 1 above (see Figure 16.)

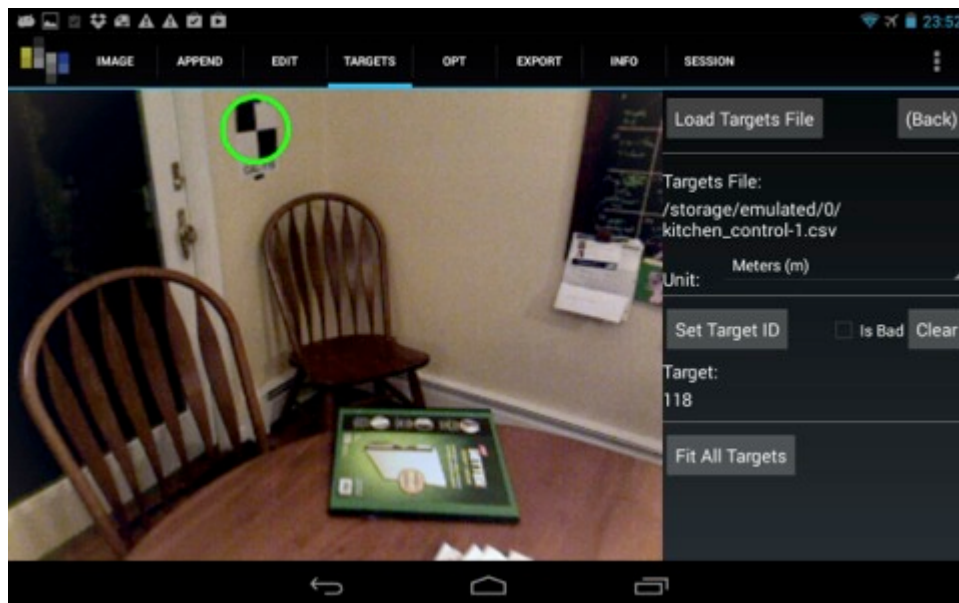


Figure 17: Fit All Targets

Step 3 is to identify at least 3 unique survey targets in the key frames automatically loaded in Step 2. See Figure 15. Select a key frame with a target and with your finger point in the vicinity of a target. The centroid of the target will be identified by a green circle. Associate this target with the corresponding row entry in the target file. The Phi.3D software will cue the user that a minimum of 2 more targets is required to transform the captured data on the tablet into the survey control coordinate system. Step 3 is repeated until at least 3 independent targets have been associated with the targets file. DotProduct recommends target redundancy so selecting 5 or 6 or even more targets is preferred to just

the mathematical minimum requirement of 3 targets. Good survey practice is to use targets that are spatially distributed to get the best results.

After a minimum of three targets have been associated with the target survey control file, Phi.3D allows you to Fit All Targets. You are notified if the targets can't be fit to the survey control file.

Targets in Scene Optimization

Once a target fit has been found for the scene, the target control network will be active during post processing. This means that the scene geometry will match the absolute target locations at the target center points. This will effectively eliminate drift in the neighborhood of target locations. DotProduct recommends this practice for long stretches of captured data and whenever absolute accuracy over long measurement distances is required.

Other Uses for Targets

Even if the target positions are not surveyed independently, it is often helpful to include them in a scene. Adding targets to a scene in areas where there is little geometrical or texture variation, a flat monochrome wall or a stretch of pipework for example will allow the imager to track better than without targets.

Download Target Files

Paper target files suitable for use with the DPI-7 imager may be [downloaded here](#).

GETTING YOUR DATA

There are three ways to access the images you create on the DPI-7 depending on the format you are using:

1. **USB** - You may connect your Nexus Tablet to your desktop or laptop computer with the micro-USB to USB cable provide which is also used for recharging your Nexus. Depending on the computer you may need to download an application like ES File Manager (free on Google Playstore) to your tablet or Android File Transfer (Mac) to your computer. Some computers will recognize the tablet when it is plugged in. The default storage location on your Tablet is the /sdcard/PointClouds folder. Make sure you look at the correct folder.
2. **WiFi** - Depending on file size and WiFi access, you may use the Wifi capability of the Nexus to upload your data to the Web/Cloud.
3. **Email** - Depending on file size, you may email from the Gmail account set up already on your Nexus Tablet (or another account you set up). Because of file size issues, it is most likely you would only use this in the DP Binary, our highly compressed format.

APPEND DATA BY ADDING TO EXISTING 3D IMAGES:

Selecting the APPEND tab allows you to capture data from a previously captured position (see Figure 18 for an example of the APPEND tab screen before a frame is selected). Note that the software analyzes the frame data and allows you to select frames where a successful append procedure is likely to succeed. Frames where append is unlikely to succeed are denoted with a red background and are made unavailable for appending. While appending to already optimized datasets is possible, DotProduct recommends appending to un-optimized datasets wherever possible for best result quality.

Note that appending to an existing dataset brings the dataset into an un-optimized state. Previously optimized and then appended scenes will therefore need another run of global optimization before exporting. This is in order to take into account the newly appended data. Note that DotProduct supports but doesn't recommend the practice of appending to already optimized datasets.

Select a frame of the area to which you would like to add more data (see Figure 18) , press the Select to Append button to begin the APPEND procedure (see Figure 19.) Make sure to position the imager in the scene to match the view in the desired frame and wait for the camera to warm up and re-localize. Figure 20 shows an example of the imager re-localized in the scene of interest – see the thumbs up confirmation. Once the warm up is completed, the imager will

automatically begin imaging. When you finish, the image will include the data from the previous image with the new data you just captured, registered together. For this feature to work it is best to choose a frame that represents a view with good geometry in the scene and to position the DPI-7 as close to the same position represented in that view as possible. Otherwise the DPI-7 may have difficulty re-localizing. If the system does not re-localize, i.e. the Image Window continues to say “Lost Tracking” after the 45 second warm up, you may touch the Back to Append button and return to the APPEND tab and try choosing another photo/scene to append to.

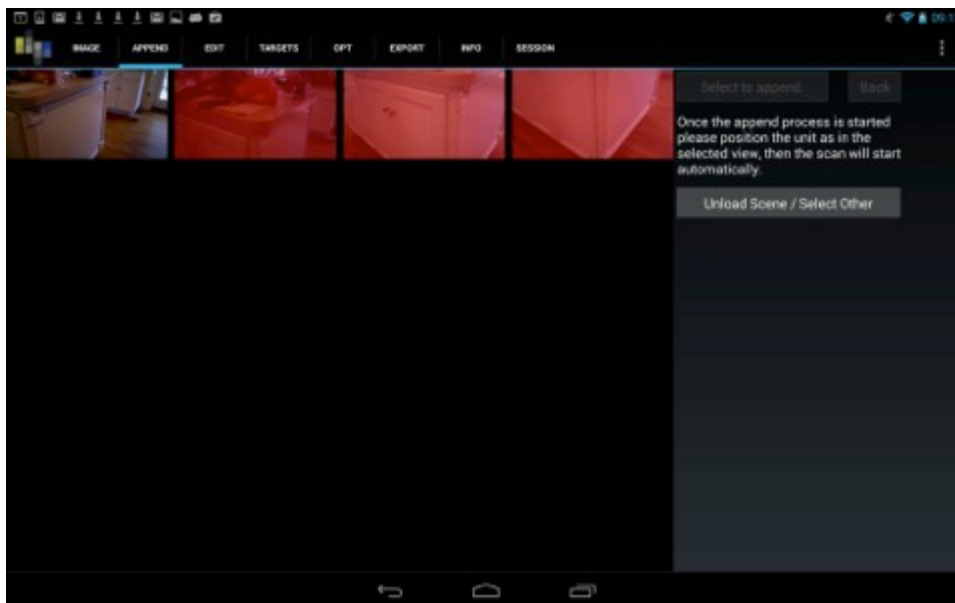


Figure 18: APPEND Tab – Frame unselected

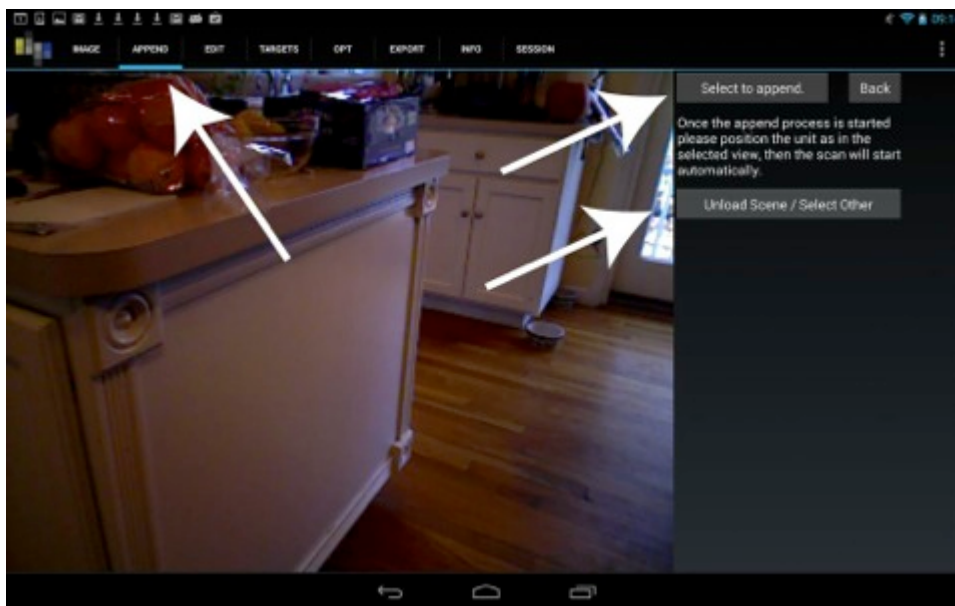


Figure 19: Select to Append

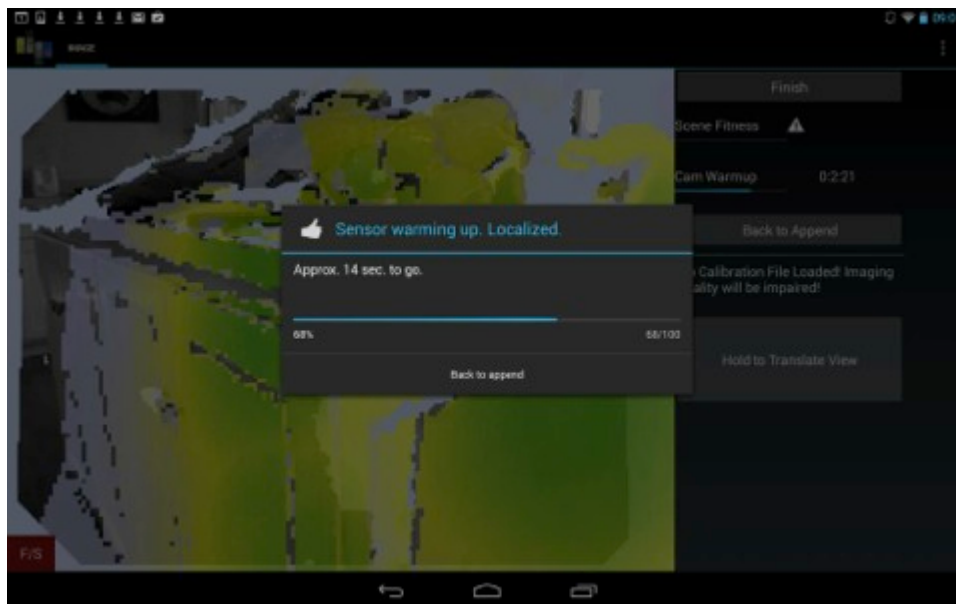


Figure 20: Successful Re-localization

OTHER FUNCTIONS:

INFO Tab:

The INFO Tab lets you see the version of the software you are running and the current calibration file selected (see Figure 21) .

F/S:

Pressing the red F/S button toggles full screen display on and off.

SESSION Tab:

The session Tab allows you to retrieve previously captured files and organize them in a stack for viewing, optimizing or exporting. To use this function, retrieve files of interest by selecting the append tab and then picking a file from the list **on the right hand side of the screen. After the file is loaded, it can be saved to the session stack by selecting the Save Scene to Session Stack tab.** The stack can be easily cleared by selecting the Clear Session Stack tab.

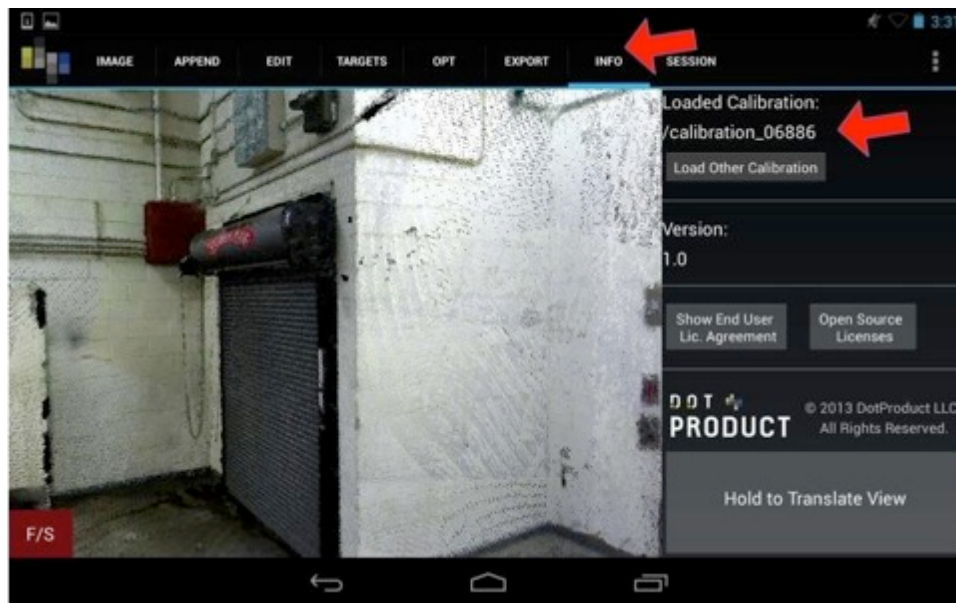


Figure 21: INFO Tab

LFM WORKFLOWS

DP laser scans can be imported into LFM Software for design review, clash and validations. This is best achieved by importing DP files in PTS format. PTS should be exported from DP in units of millimeters and a format of XYZIRGB, space delimited.

Once imported, PTS data can be handled like regular scan data. Current workflow assumes data is registered or orientated to a local coordinate system. Use Cyclone Register or Model to pre-process (see Cyclone manual for more details).

CYCLONE WORKFLOWS

Leica Cyclone can be used to review, measure and model from DP laser scans. This is achieved by importing DP files in either PTS or PTX format. PTS should be exported from DP in units of Meters and a format of XYZIRGB, space delimited.

Once imported, PTS data can be handled like regular scan data. Individual PTX files must be either be concatenated, (see below), or grouped using a Cyclone Register element (see Cyclone manual for more details).

PTX files are written for each key frame and may be concatenated prior to import.

The CMD line command `copy /b *.ptx newfile.ptx` will accomplish this provided it is entered with the cursor in the directory containing the PTX files to be joined up.

CLOUDCOMPARE WORKFLOWS

CloudCompare can be used to review, measure from DP laser scans. This is achieved by importing DP files in the PTS format.

CloudCompare is 3D point cloud and mesh processing software from the Open Source Project, and is available at the link below. Documentation is at the link marked documentation.

Program: <http://www.danielgm.net/cc/>

Documentation: <http://www.danielgm.net/cc/doc/qCC/>

MICROSTATION WORKFLOW

Bentley Pointtools PODcreator can be used to convert DP files into POD files for use in MicroStation-based applications. This is achieved by exporting DP files in either PTS or PTX formats which in turn can be read by PODcreator. PODcreator is available from Bentley for free and can be operated in batch mode. Alternatively, MicroStation V8i can open PTS or PTX files directly.

SOFTWARE UPGRADES

DotProduct upgrades PHI.3D on a regular basis. To upgrade your DPI-7 imager, you will need to install a new application file on the tablet following these steps. The new application file will be named Phi3D_v1.x.apk where x identifies the release number. This file will be provided to you in an email or may be downloaded from a link we will provide you.

If you are experienced with the Android operating system, please follow these steps. More detailed instructions for less experienced users follow.

In rare cases you will need to uninstall the old Phi.3D application before you can install the upgrade release.

Upgrade Procedure (short)

1. Load the Phi3D_v1.x.apk file in the root directory of the tablet.
2. Open ES File Explorer and tap the Phi3D_v1.x.ap file.

In rare cases you will need to uninstall the old Phi.3D application before you can install the upgrade release. See Upgrade Procedure (long) in the Known Issues section below.

KNOWN ISSUES

Upgrade Procedure (long)

Follow these steps if you are prompted to uninstall the old release of Ph.3D before installing the upgrade.

1. Uninstall the current version of Phi3D.
 - a. Power on the tablet and select the Google Apps button. See Figure 22.
 - b. Then select Settings (See Figure 23) , then select Apps (See Figure 24), then select Phi.3D (See Figure 25.)
 - c. Select Uninstall (Figure 26) and select OK when asked to uninstall the App (Figure 27.)



Figure 22

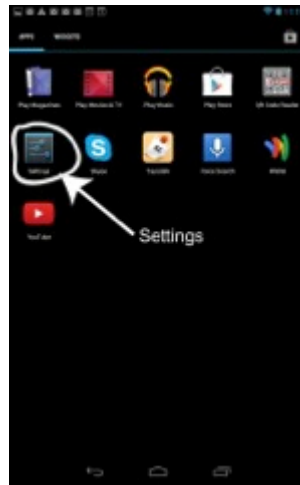


Figure 23

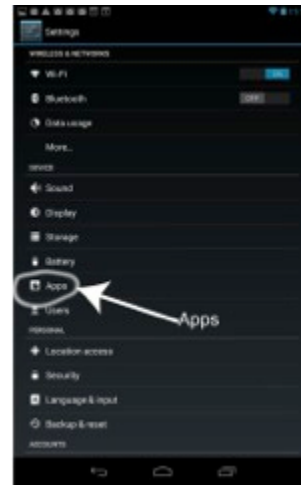


Figure 24



Figure 25



Figure 26

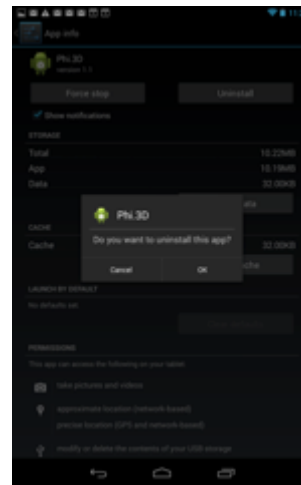


Figure 27

2. Load the Phi3D_v1.x.apk file in the root directory of the tablet. This is accomplished by connecting the tablet to the laptop or PC where you downloaded the Phi3D_v1.x.apk file. The tablet will look just like any other USB drive. Copy the Phi3D_v1.x.apk file to the root directory of the tablet. The root directory will also contain a calibration file with .cal file extension. Figure 28 shows how the Nexus tablet appears in Windows Explorer.

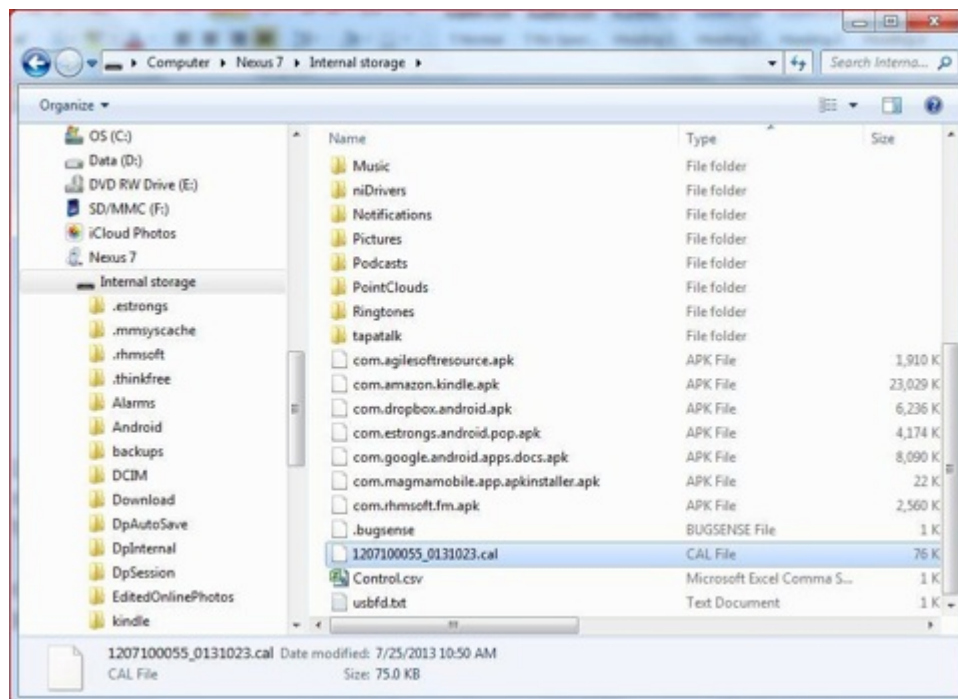


Figure 28

3. Open ES File Explorer on the Nexus 7. Navigate to the root directory and tap the Phi3D_v1.x.apk file. Note that the Phi.3D_v1.x.apk file needs to be located in the root directory of the sdcard on the Nexus tablet. See

Figure 29. This is the same directory where the *.cal file will be located. Select Install. See Figure 30.

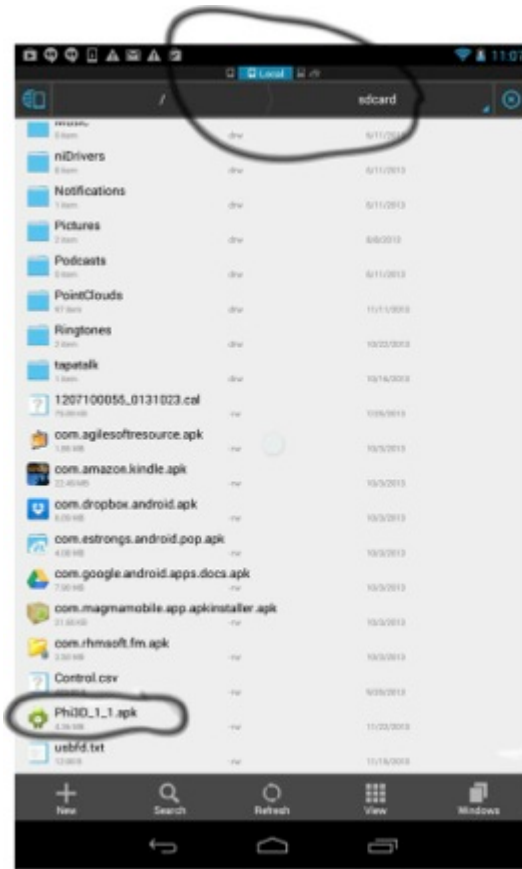


Figure 29: SD Card

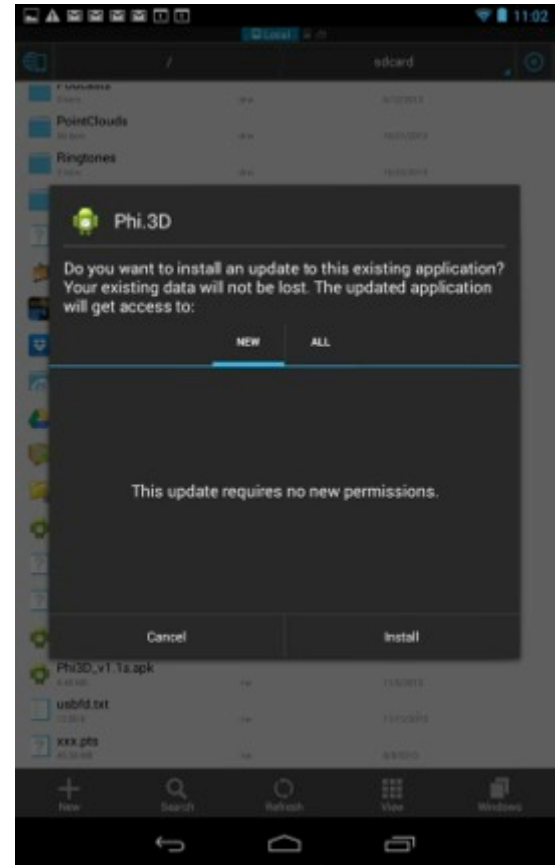


Figure 30: Phi.3D Installation

4. Reload the calibration file by opening Phi.3D from the Apps screen on the tablet. Then select the INFO tab in **and then select Load Other Calibration.** Selecting the INFO tab also allows you to confirm you have the correct version of Phi.3D installed. See Figure 31. If you are offered a choice of calibration files, see Figure 32, then always pick the file with the smaller or smallest value following temp in the file name. In the example shown in Figure 32, choose the first file in the list.

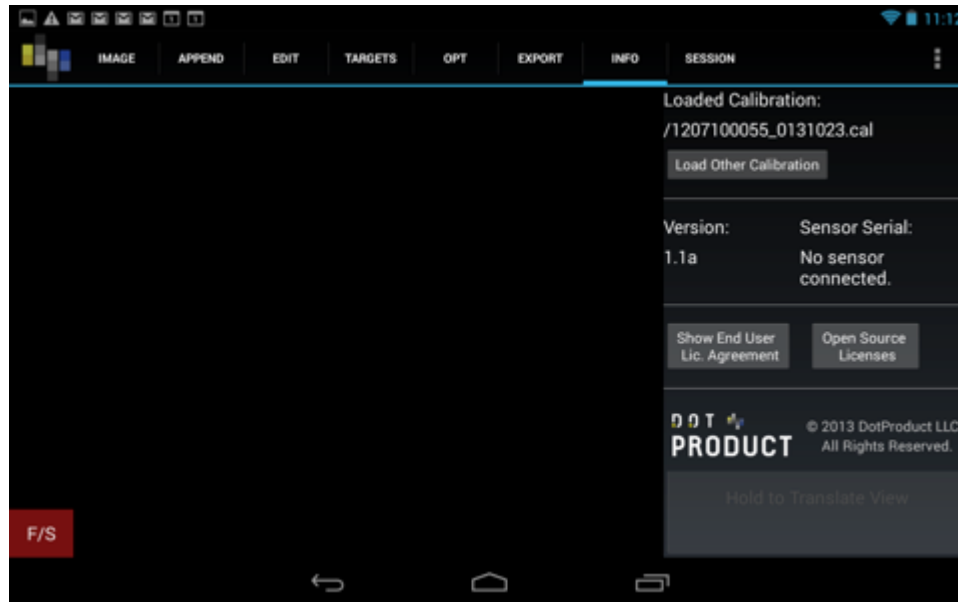


Figure 31

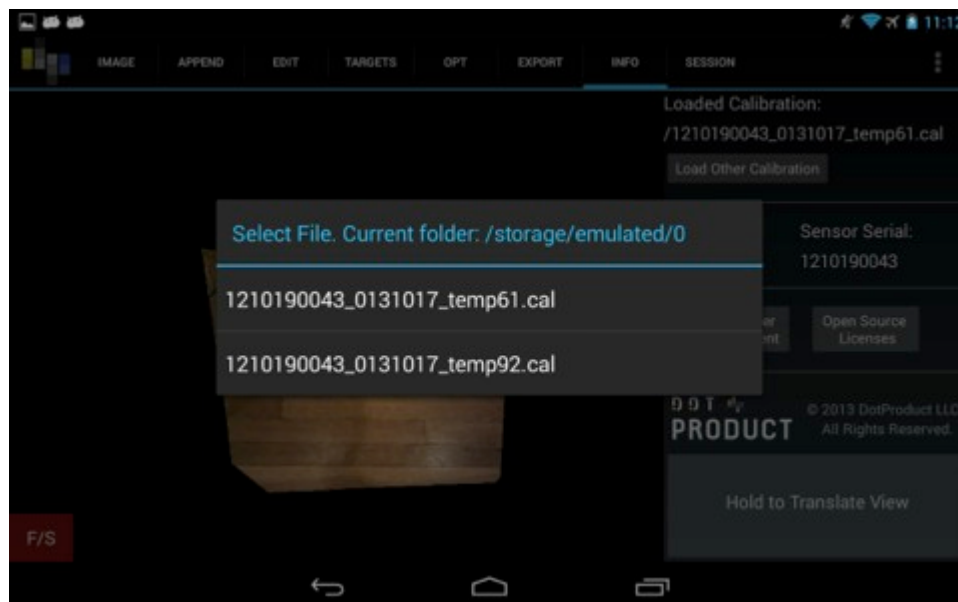


Figure 32: Multiple Calibration Files

Removing Phi.3D as the Default USB Device

1. Selecting the option to Open Phi.3D as the default device can result in system instability. To clear this option, go to Settings -> Apps -> Phi.3D (from the list) -> and select the Clear defaults (Button). See below.

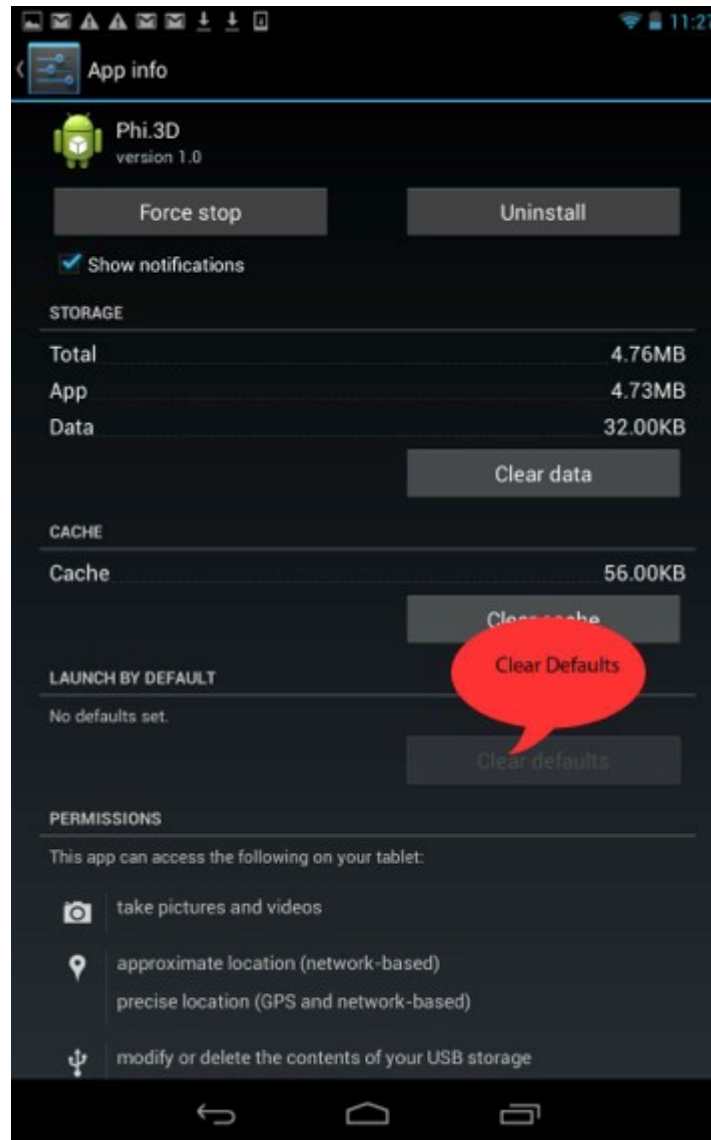


Figure 33 – Clearing Phi.3D USB default

TIPS AND TRICKS

Scene Consideration

Make sure there aren't gaps in the scene such as large spaces between vessels otherwise the system will lose tracking. Add a feature to the scene such as a trash can or chair to bridge the gap.



Capturing floors, ceiling and walls can be very problematic if they are blank or reflective type. Tracking depends on geometric features in the scene. You can improve results by panning along the floor/wall or wall ceiling edge. Adding targets will also allow better tracking. This is particularly important when the runs are long, for example a long piping run, and the tracking features are few.

If you must scan a scene that will exceed the time, file size and practical scene size limitations, break the scene into smaller overlapping scenes. Use a tool like Cyclone Register (cloud-based registration) to join scenes together.

Measurement Accuracy versus Tracking Stability

Getting close to objects in the scene generally leads to more accurate data but at an increased risk of tracking loss, depending on the amount of surface geometry and texture of the captured object. Getting far away generally includes more features and textures into the field of view and hence leads to more stable tracking but it can introduce distortions beyond 2m. Therefore users should always get as close as possible to get accurate results but as far away as necessary to guarantee stable tracking.

Setup

Check to make sure the proper calibration file is loaded prior to starting. You can easily check by going to the "Info" tab which will display the calibration file for the unit if present. Contact support if it is missing.

Imaging Technique

When imaging an area of interest, we recommend traversing the area initially with the goal of creating as few frames as possible. If higher detail is needed on a particular spot, or if capture of a hidden or shadowed area is needed, we recommend doing an initial traverse first without details, then going back to the particular areas of interest to fill in the details. This may also be separated into several capture sessions using the append feature.

Image Size

DP files are highly compressed and a size of 30 MB and more is considered huge. When DP files are loaded into memory, the space requirement increases 25 fold, therefore files greater than 20MB should be avoided.

Accuracy

The use of targets in the scene will improve accuracy of registration and reduce (or entirely get rid of) the possibility of drift.

File Management

Append a character (i.e. _O) to the DP file name after you optimized to indicate its updated status.

All work on the DP scanner is automatically saved to folder DPAutoSave. If you forget to export to a new name, you can use the Append function to review previously autosaved files, then reload and save.

Imaging

When beginning scanning, remember to consider the following when choosing your starting point:

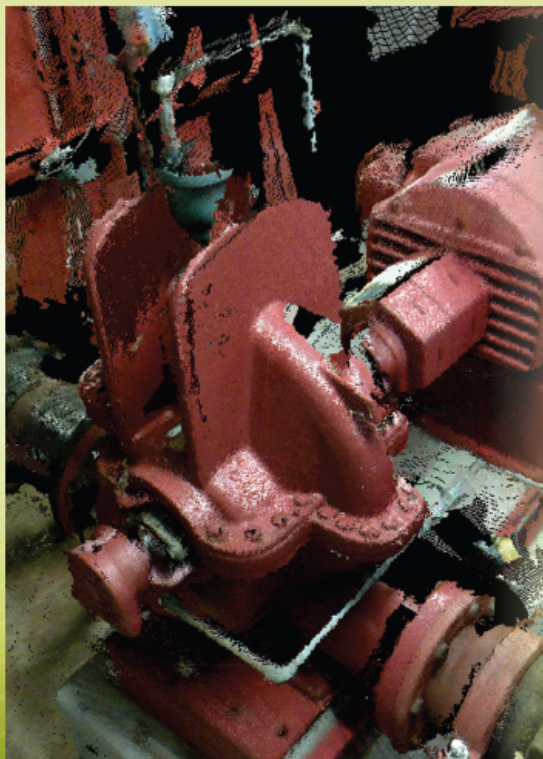
- Have good geometric feature such as intersecting planes and objects.
- If traversing around an object, start at the logical beginning and the end of a closed path.
- Begin at point you can come back to if you think you will need to pause.

DPI-7 Kit

Handheld 3D Data Capture on a Tablet

Powered by Phi.3D Software

DotProduct develops high performance, easy-to-use solutions for capturing 3D data. Our technology is designed for mobile professionals who need high-quality spatial data, instantly. Our Phi.3D software turns a Google Nexus 7 tablet into a 3D-capture and -processing solution that delivers results before you leave the worksite.



Phi.3D – 3D imaging software for mobile professionals

- » Phi.3D captures and registers 3D spatial data using only the processing power of a tablet – no desktop or laptop required!
- » Simplify, augment or even replace laser scanning and photogrammetry based work processes you use today with a DotProduct powered tablet.

Truly Mobile

Forget lugging around a laptop and cumbersome cables

- » Capture and process 3D spatial data directly on the tablet!
- » Hold the imager in your hand and capture in 3D as you walk through the area of interest.
- » Get into hard-to-reach, occluded areas, inaccessible with other technologies.

Real time

- » Leave the jobsite knowing you've collected the right data you need for your project.
- » DotProduct's Phi.3D technology provides users with real-time data quality feedback as the data is being acquired. Even novice users can capture data like seasoned professionals.

New Technology – Familiar and Proven Work Flows



- (1) Real time color coding of data quality.
- (2) Register point clouds on the fly!



Georeference in the field

- » Phi.3D lets you use traditional survey targets to allow data to be saved in the correct georeferenced transformation.

Append to Image

- » Use the Append to scan function to add new data to previously captured 3D spatial data. New data can be captured and appended on-the-fly without the need for additional targets or control.
- » Load an existing point cloud*; aim the imager at a view from that scan and Phi.3D will automatically append the new data to the existing image. (* works with DotProduct data currently, other formats under development)

Export to industry formats

- » Use Phi.3D captured data with the desktop point cloud software you work with today. No need to change your current work flow.
- » Export in PTS, PTX or use the DP format for saving to the cloud for efficient storage and rapid wireless data export, or download the data to your secure server via a USB connection. Other industry formats are under development.

Test Facility Results

Range	Typical Accuracy (RMS)	Maximum Reported Error
1 m (3.3 ft.)	2 mm (0.1 in.)	4 mm (0.2 in.)
2 m (6.6 ft.)	6 mm (0.2 in.)	9 mm (0.35 in.)
3.5 m (11.5 ft.)	10 mm (0.4 in.)	16 mm (0.6 in.)
>3.5 m (> 11.5 ft.)	Not specified	Not specified

DPI-7 Imager Performance

The data quality of the DPI-7 imager depends on range, temperature, ambient lighting conditions, reflectivity of the area of interest, operator skill and other factors. System accuracy is improved by using survey targets. System performance is degraded by long collection times, accumulation of frame-to-frame drift and lack of scene fitness induced by geometry and texture limitations.

The working range of the DPI-7 imager is from 0.6 m to 3.3 m. (2 ft – 11 ft.)

Illustrations, descriptions and technical specifications are not binding and may change.

The DotProduct DPI-7 Handheld 3D Imager Kit contains:

1	ASUS Google Nexus 7 Tablet computer with 16GB of storage (DotProduct reserves the right to provide greater than 16GB depending on availability). Performance specifications are available at: http://www.asus.com/Tab-lets_Mobile/Nexus_7/#specifications
1	License of DotProduct Phi.3D software which may be downloaded directly to the Nexus 7 tablet and licensed to that tablet computer and PrimeSense Carmine 1.08 camera, once the tablet has been activated with Google and registered with DotProduct. One year of support and upgrades is included.
1	PrimeSense Carmine 1.08 red, green, blue and depth sensor. Performance specifications are available at http://www.openni.org/rd1-08-specifications/
1	7" tablet bracket with handle attachment
3	USB to micro USB connectors for connecting camera to tablet
1	Carrying case
1	Tablet charger

DPI-7 Product Specifications - General

Imager type	Compact, near infrared structured light and rgb 3D imaging system
User Interface	ASUS Google Nexus 7 tablet/Android 4.2 operating system
Data Storage	Onboard ASUS Google Nexus 7 16 GB or 32 GB flash drive
Data Transfer	USB 2.0/3.0, microUSB connector

DPI-7 Product Specifications - Physical

Mass	< 1kg (2.2 lbs.)
Dimensions	20 cm x 24 cm x 6 cm (8 in x 9.5in. x 2.4 in.)
Temperature	Tested operating range: 15 °C to 32 °C (60°F to 85°F)
Lighting	Not operational in direct sunlight
Humidity	Non-condensing

**DOT
PRODUCT**

Please feel free to contact us for more details about our calibration and test procedures.

DotProduct LLC | 800 Town & Country Blvd. | Suite 300 | Houston, TX 77024 USA | +1 281 758-8301 | www.dotproduct3d.com

Copyright DotProduct LLC – ALL RIGHTS RESERVED

FARO® Laser Scanner Focus^{3D} X 330

The Perfect Instrument for 3D Documentation and Land Surveying

FARO



The image shows the FARO Focus 3D X 330 laser scanner mounted on a black tripod. The scanner is blue and silver, with the FARO logo and 'FOCUS^{3D}' clearly visible. To the right of the scanner, there are six blue square icons arranged vertically, each representing a key feature of the device.

- Extended scanning - 330m range**
The Focus^{3D} X 330 can scan objects up to 330 meters away. Large buildings, land-site excavations and vast terrains can be surveyed with fewer scans, thus resulting in quicker project scanning completion.
- Easy positioning - integrated GPS receiver**
With its integrated GPS receiver, the laser scanner is able to correlate individual scans in post-processing making it ideal for surveying based applications.
- Outdoor scanning capability**
The Focus^{3D} X 330 now is able to perform fast and highly precise scanning in direct sunlight.
- Low noise performance**
The new FARO Focus^{3D} X 330 delivers extraordinary scan data quality at extended range with very low noise.
- Wireless LAN**
WLAN remote control permits you to start, stop, view or download scans at a distance.

Extended outdoor scanning in full sunlight

The new FARO Focus^{3D} X 330 a high-speed 3D scanner with extra-long range. The Focus^{3D} X advances into entirely new dimensions: it can scan objects up to 330 meters away even in direct sunlight.

With its integrated GPS receiver, the laser scanner is able to correlate individual scans in post-processing making it ideal for surveying based applications.

With its increased range and scan quality, the FARO Focus^{3D} X 330 considerably reduces the effort involved in measuring and post-processing. The 3D scan data can easily be imported into all commonly used software solutions for accident reconstruction, architecture, civil engineering, construction, forensics, industrial manufacturing and land surveying. Distance dimensions, area and volume calculations, analysis and inspection tasks and documentation can thus be carried out quickly, precisely and reliably.

Benefits

The new FARO Focus^{3D} X 330 is the leading tool for surveying and 3D documentation.

Scanning range - 330m, integrated GPS, the possibility to work in direct sunlight as well as the specially for the scanner designed protection cover make it a ideal tool for outdoor environments.

FARO® Laser Scanner Focus^{3D} X 330

www.faro.com

Performance Specifications Focus^{3D} X 330

Ranging unit

Unambiguity interval: By 122 till 488 Kpts/sec at 614m; by 976 Kpts/sec at 307m
 Range Focus^{3D} X 330: 0,6m - 330m indoor or outdoor with normal incidence to a 90% reflective surface
 Measurement speed (pts/sec): 122,000 / 244,000 / 488,000 / 976,000
 Ranging error¹: ±2mm

Ranging noise ²	@10m	@10m - noise compressed ³	@25m	@25m - noise compressed ³
@ 90% refl.	0.3mm	0.15mm	0.3mm	0.15mm
@ 10% refl.	0.4mm	0.2mm	0.5mm	0.25mm

Colour unit

Resolution: Up to 70 megapixel colour
 Dynamic colour feature: Automatic adaption of brightness
 Parallax: Co-axial design

Deflection unit

Field of view (vertical/horizontal): 300° / 360°
 Step size (vertical/horizontal): 0,009° (40,960 3D-Pixel on 360°) / 0,009° (40,960 3D-Pixel on 360°)
 Max. vertical scan speed: 5,820rpm or 97Hz

Laser (optical transmitter)

Laser class: Laser class 1
 Wavelength: 1550nm
 Beam divergence: Typical 0,19mrad (0,011°) (1/e, halfangle)
 Beam diameter at exit: Typical 2,25mm (1/e)

Data handling and control

Data storage: SD, SDHC™, SDXC™; 32GB card included
 Scanner control: Via touchscreen display and WLAN
 New WLAN access: Remote control, scan visualisation and download are possible on mobile devices with Flash®

Multi-Sensor

Dual axis compensator: Levels each scan: Accuracy 0,015°; Range ± 5°
 Height sensor: Via an electronic barometer the height relative to a fixed point can be detected and added to a scan.
 Compass⁴: The electronic compass gives the scan an orientation. A calibration feature is included.
 GPS: Integrated GPS receiver



¹ Ranging error is defined as a systematic measurement error at around 10m and 25m, one sigma. ² Ranging noise is defined as a standard deviation of values about the best-fit plane for measurement speed of 122,000 points/sec. ³ A noise-compression algorithm may be activated to average points in sets of 4 or 16, thereby compressing raw data noise by a factor of 2 or 4. Subject to change without prior notice. ⁴ Ferromagnetic objects can disturb the earth magnetic field and lead to inaccurate measurements

General

Power supply voltage:	19V (external supply) 14.4V (internal battery)	Cable connector:	Located in scanner mount
Power consumption:	40W and 80W (while battery charges)	Weight:	5.2kg
Battery life:	4,5 hours	Size:	240 x 200 x 100mm
Ambient temperature:	5° - 40°C	Maintenance / calibration:	Annual
Humidity:	Non-condensing		



Global Offices: Australia • Brazil • China • France • Germany
 India • Italy • Japan • Malaysia • Mexico • Netherlands
 Philippines • Poland • Portugal • Singapore • Spain • Switzerland
 Thailand • Turkey • United Kingdom • USA • Vietnam

www.faro.com
 Freecall 00 800 3276 7253
 info@faro-europe.com

