

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Fakultet for miljøvitenskap og teknologi
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Masteroppgave 2016
30 stp

Kvalitetsundersøkelse og bruk av DPI-8

Magnus Thøgersen

Forord

Med denne oppgaven avslutter jeg min mastergrad i Geomatikk ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.

Jeg ønsker å takke hovedveileder Ivar Maalen-Johansen for god og rask veiledning. Videre ønsker jeg å takke alle de involverte fra Geomatikk Survey AS som gjorde denne oppgaven mulig. Jeg vil også rette en takk til Ivar Oveland for god hjelp underveis.

I tillegg ønsker jeg å takke familie og venner for god støtte gjennom arbeidet med masteroppgaven.

Magnus Thøgersen, Ås, 12.05.2016

Sammendrag

I det siste har det kommet mange håndholdte 3D-skannere på markedet. Etter at Xbox Kinect virkelig tok av, har også sensorene blitt stadig billigere. Målet til denne oppgaven er å undersøke kvalitet og bruk av den håndholdte 3D-skanneren, DPI-8. Oppgaven har et fokus på skanning i tunnel. Det er foretatt skanninger i Smestadtunnelen i Oslo, og innendørs i Drøbaksveien 31 (TF) med både laserskanning og DPI-8. Det er beregnet RMS-verdier for punktskyene fra DPI-8, og CloudCompare har blitt brukt for å analysere de ulike punktskyene fra laserskanner og DPI-8.

Resultatene fra beregningene viser at DPI-8 er svært avstandsavhengig. Undersøkelsene viser også at den har en nøyaktighet som er innenfor det som er oppgitt hos produsenten. Resultatene tyder på at overflaten til det som blir skannet har en betydning.

Skanningene med DPI-8 har vist seg å være tidkrevende, men tidsbruken går ned etter hvert som man lærer seg ulike teknikker for å skanne. Laserskanning er mer effektivt hvis man skal skanne store flater. DPI-8 har et stort potensiale for mindre områder med hindringer som gjør laserskanning vanskelig.

Abstract

Lately there there have been an explosion in handheld 3D scanners on the market. After Xbox Kinect really took off, the sensors became ever cheaper. The aim of this thesis is to investigate the quality and the use of the handheld 3D scanner, DPI-8. The thesis has a focus on scanning inside of a tunnel.

I've done scans in Smestadtunnelen, and also indoors in Drøbakveien 31 (TF) with both laser scanning and DPI-8. The estimated RMS values of point clouds from DPI-8, and CloudCompare has been used to analyze the various point clouds from laser scanning and DPI-8.

The results of the calculations show that the DPI-8 is highly distance dependent. The studies also show that it has an accuracy that is within the specified by the manufacturer. The results indicate that the surface of what is being scanned has impact.

Scans with DPI-8 has proven to be time consuming, but the time spent going down as you learn various techniques to scan. Laser scanning is more effective if you need to scan large surfaces. DPI-8 has a great potential for smaller areas with obstacles that makes laser scanning difficult.

Innhold

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn for oppgaven	1
1.2	Problemstilling	1
1.3	Geomatikk Survey AS	2
1.4	Oppgavens oppbygning	2
2	Bakgrunn	3
2.1	Simultaneous Localization and Mapping	3
2.1.1	Landmarks	3
2.1.2	Utvelgelse av landmarks	4
2.1.3	AprilTags	4
2.2	Strukturert lys	5
2.3	LiDAR	7
2.3.1	Pulsbasert laserskanning	7
2.3.2	Fasebasert laserskanning	8
2.3.3	Feilkilder	8
2.4	Koordinatsystemer	9
2.5	Strålebuntmetoden	10
2.6	Indre orientering	11
2.7	Ytre orientering	11
2.7.1	Tilbakeskjæring i rommet	11
2.7.2	Omforming av koordinater ved hjelp av absolutt orientering ved Horns metode	12
2.8	Kamerakalibrering for et RGB-D system	12
2.9	Overflateegenskaper	13
3	Maskinvare	15
3.1	DPI-8	15
3.1.1	Infrarød projektor	16
3.1.2	Dybdekamera	16
3.1.3	RGB Kamera	16

3.1.4	Nvidia Shield Nettbrett	16
3.1.5	Hvordan fungerer det?	17
3.2	Trimble TX5 og FARO Focus 3D	18
4	Programvare	21
4.1	Phi.3D	21
4.2	CloudCompare	23
4.2.1	Funksjoner i CloudCompare	24
4.3	Quick Terrain Modeler	25
4.4	MATLAB	25
5	Metode	27
5.1	Beregningsgang	27
5.2	Skanning i Smestadtunnelen	27
5.3	Skanning i TF	28
5.4	Hvordan gjøre en god skanning med DPI-8?	28
5.5	Punkttetthet	29
6	Resultat	31
6.1	Transformering av koordinater	31
6.2	Smestadtunnelen	34
6.3	TF	52
7	Diskusjon	73
7.1	Skanning og datasett	76
7.2	Problemer ved innlesing av data i CloudCompare	77
7.3	Styrker og svakheter ved analysemetodene	77
7.4	Forslag til videre arbeid	78
8	Konklusjon	79
	Bibliografi	79
A	Test sertifikat fra DotProduct3D	85

Kapittel 1

Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

I det siste har det kommet flere forskjellige håndholdte 3D-skannere, basert på strukturert lys, på markedet. Etter at Xbox Kinect ble stadig mer populært har også prisen på disse blitt billigere. Det foregår en stadig utvikling på nettbrett og mobiltelefoner, og disse begynner å bli populære som plattformer for slike håndholdte 3D-skannere.

Disse sensorene har veldig mange forskjellige bruksområder. Xbox Kinect ble opprinnelig laget for spillindustrien, men nå brukes den blant annet til å lage 3D-modeller, til å lage interaktive kart eller for å registrere bevegelser. Potensialet er stort.

Geomatikk Survey AS holdt en bedriftspresentasjon der de fortalte at de hadde sponset NMBU med en DPI-8. Dette fanget min interesse, og jeg bestemte meg for å skrive en oppgave om DPI-8.

1.2 Problemstilling

Problemstilling for denne oppgaven er kvalitetsundersøkelse og bruk av DPI-8. Siden Geomatikk Survey AS var veldig interessert i å undersøke om det går an å bruke DPI-8 på deres anlegg i Smestadtunnelen, har oppgaven et fokus på dette. Oppgaven er derfor avgrenset til skanning av en tunnelvegg, samt en annen vegg innendørs for sammenligning.

1.3 Geomatikk Survey AS

Geomatikk Survey AS ble utskilt fra Geomatikk AS til et eget selskap den 1. januar 2013. De er nå et av landets ledende innen geomatikk, modellering og landmåling.

1.4 Oppgavens oppbygning

Oppgaven tar først for seg teori og bakgrunnskunnskap for teknologi som blir brukt i oppgaven, før den videre går inn på spesifikk maskin- og programvare. Kapittel 5 tar for seg metode. I kapittel 6 presenteres resultatet, og kapittel 7 diskuterer resultatene. Til slutt avsluttes det med en konklusjon.

Kapittel 2

Bakgrunn

2.1 Simultaneous Localization and Mapping

Simultaneous localization and mapping (SLAM) er et beregningsproblem som består av flere steg. Målet til prosessen er å bruke omgivelsene til å oppdatere posisjonen til plattformen du måler fra. Siden man ikke klarer å bruke sensorer til å beskrive nøyaktig posisjon til plattformen, kan man bruke avstandsmålinger av omgivelsene til å korrigere posisjonen. Dette gjøres ved å plukke ut unike punkter, også kalt landmarks, fra omgivelsene, og observere de på nytt når plattformen beveger seg. En slik avstandsmåler kan for eksempel være en laserskanner, en sonar, eller en infrarød projektor med tilhørende dybdesensor.

Det finnes 3 hovedretninger innen SLAM. Kalmanfilter, partikkelfilter og grafbasert. Det utvidede kalmanfilteret (EKF), er den mest populære metoden. EKF er ansvarlig for å oppdatere posisjonen til plattformen, basert på landmarks. EKF har oversikt over estimatet for usikkerheten i plattformens posisjon, og usikkerheten til observerte landmarks.

Målet til SLAM er å regne ut formel 2.1

$$p(x_{1:t}, m | z_{1:t}, u_{1:t}) \quad (2.1)$$

Hvor p er sannsynlighetsfordelingen, x er bevegelsesbanen, m er kartet, z er observasjoner og u er kontrolldata. (Thrun et al., 2005)

2.1.1 Landmarks

Landmarks er punkter som lett kan bli re-observert og plukket ut fra resten av omgivelsene. Hensikten med landmarks er at plattformen skal kunne bruke de til å lokalisere seg selv. Landmarks bør derfor ha noen spesielle egenskaper.

De bør være observerbare, de bør kunne skilles fra hverandre, det bør være mange av de i omgivelsene, og de bør være stasjonære. Et eksempel på et landmark kan for eksempel være trær i en park. Hvis man ikke klarer å skille landmarks fra hverandre, vil man få feil posisjon. (Riisgaard and Blas, 2003)

2.1.2 Utvelgelse av landmarks

Hvordan skal man velge landmarks, kunne og plukke de ut på en pålitelig måte? Det finnes to forskjellige metoder som er godt brukt. Spike og RANSAC (Riisgaard and Blas, 2003)

Spike

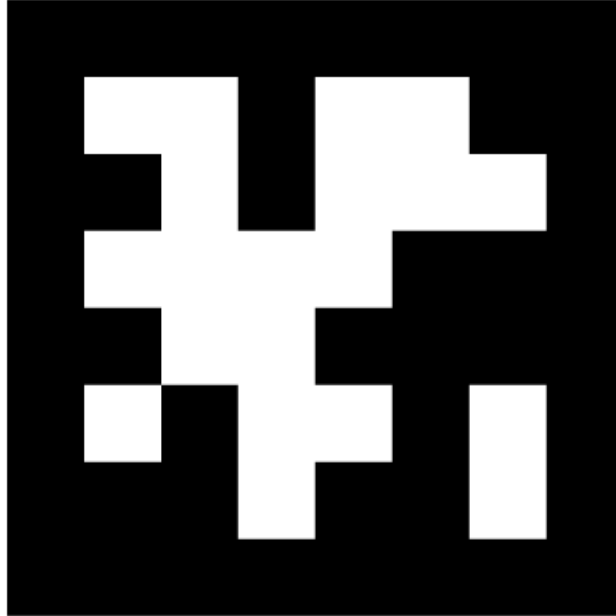
Spike bruker ekstrepunkter for å finne landmarks. Da velger man ut en terskelverdi som sier hvor mye forskjellen mellom to punkter må være for at det skal være et ekstrepunkt. På denne måten finner man punkter som har store forskjeller. Dette er problematisk i glatte"områder. Det er heller ikke optimalt på steder med mange mennesker, fordi man da vil få landmarks på punkter som ikke er stasjonære. (Riisgaard and Blas, 2003)

RANSAC

RANSAC(random sampling consensus) er en metode som blir brukt til å trekke ut linjer. Man observerer ofte rette linjer, siden det er ganske vanlig på f.eks. vegger. RANSAC finner disse linjene ved å tilfeldig ta et utdrag av scannet, for så å gjøre en minste kvadraters tilnærming for å finne beste fitlinje som går gjennom. Etter dette sjekker RANSAC hvor mange laserpunkter som ligger i nærheten av denne linjen. Hvis antallet er over en terskelverdi kan vi trygt si at det er en linje. (Riisgaard and Blas, 2003)

2.1.3 AprilTags

For å blant annet minimere drift i målingene, er det viktig å lukke målesløyfen. Dette gjøres ved å måle noen felles punkter ved flere forskjellige tidspunkter i målesesjonen. I DPI-8 kan man styre hvilke punkter som blir valgt ved hjelp av AprilTags. Programvaren plukker automatisk ut AprilTags fra omgivelsene. Siden disse er unike eksisterer ikke muligheten til å velge feil punkt.



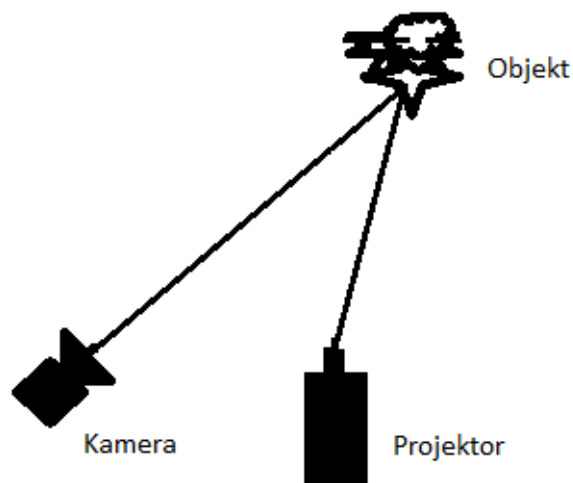
ID: **1**

Tag family: 36h11

Figur 2.1: Figuren viser et eksempel på en AprilTag

2.2 Strukturert lys

Prinsippet for strukturert lys ligner veldig på stereoskopi. Forskjellen er at man bytter ut et kamera med en lyskilde (Figur 2.2). Vanligvis er denne lyskilden enten en laser eller en projektor.



Figur 2.2: Eksempel på oppsett av et målesystem med strukturert lys.

Det finnes flere forskjellige metoder der man kan bruke strukturert lys til å 3D-skanne. Infrarødt strukturert lys er en av de. Da har man en infrarød laserstråle som blir brukt til å lage mønstre som det menneskelige øyet ikke kan se. Slike mønstre kan være alt fra en prikk eller en linje, til to-dimensjonale mønstre. Lyset blir vanligvis projisert som nærinfrarødt lys (640 nm-2500 nm). Ved hjelp av et kamera som kan se det nærinfrarøde lyset, tar man bilder. Ved å kjenne avstanden mellom projektoren, det projiserte mønsteret og bildet, kan man beregne 3D-posisjon for punktene ved hjelp av triangulering.

En annen metode kalt usynlig strukturert lys, bruker en videoprojektor og to kameraer. Projektoren sender ut et lysmønster etterfulgt av det inverse mønsteret med høy frekvens. Det første kameraet er synkronisert med projeksjonen av det første mønsteret, og får lov til å rekonstruere ved hjelp av vanlig strukturert lys. Det andre kameraet observerer omgivelsene over lengre tid. Dette fører til at man ikke ser det projiserte mønsteret på omgivelsene. Man kan da ta et gråtone eller fargebilde og prosessere dette.

En tredje metode, kalt filtrert strukturert lys, bruker et høypassfilter etter lyskilden. Filteret gjør at bare det infrarøde lyset kommer gjennom. (Fofi et al., 2004)

2.3 LiDAR

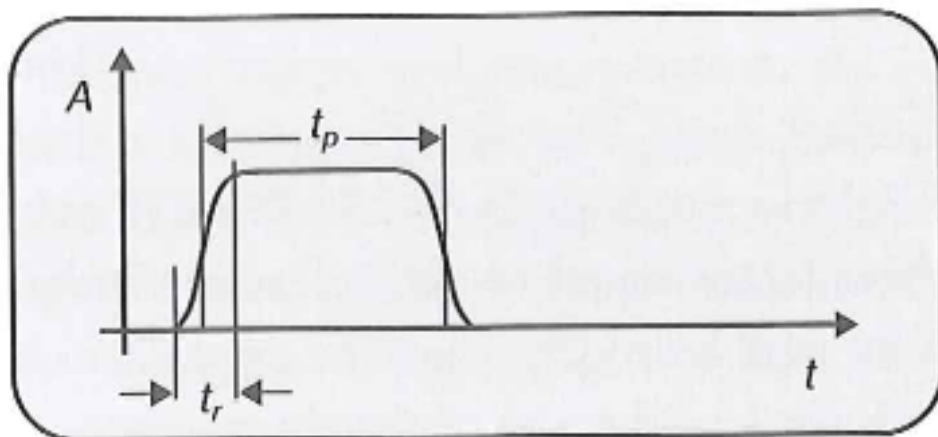
LiDAR (Light Detection And Ranging) er en metode som blir brukt for å måle avstand til en reflektor. En reflektor kan for eksempel være naturlige objekter eller et prisme. Metoden går ut på at man måler tiden det tar fra man sender ut et lasersignal til det treffer reflektoren og blir sendt tilbake. Dette kan utføres på flere forskjellige måter, men for terrestrisk laserskanning er det to teknikker som er vanlig; puls og fasebasert laserskanning. (Vosselman and Maas, 2010)

2.3.1 Pulsbasert laserskanning

Ved bruk av pulsskanner sendes det ut laserpulser som beveger seg med kjent hastighet og konstant bølglengde i et gitt medium. Dette utnytter man av ved å måle tiden det tar fra laserpulsen forlater instrumentet til den blir reflektert tilbake til instrumentet. Avstanden ρ finner man ved formel 2.2:

$$\rho = \frac{c \tau}{n 2} \quad (2.2)$$

Der τ er tiden, c er lyshastigheten og n er refraksjonsindeksen. Refraksjonsindeksen er tilnærmet lik 1.



Figur 2.3: Puls karakteristikk som viser puls rise time (t_r) og pulsens bredde (t_p). Figuren er hentet fra (Vosselman and Maas, 2010)

2.3.2 Fasebasert laserskanning

En faseskanner sender ut en kontinuerlig signal med kjent bølglengde. Ved å sammenligne faseforskjellen mellom utsendt og returnert puls, får man tidsforskjellen:

$$\tau = \frac{\Delta\phi}{2\pi} \times \frac{\lambda_m}{c} \quad (2.3)$$

Der $\Delta\phi$ er faseforskjellen mellom de to bølgeene, λ_m er bølglengden til amplitudemoduleringen og c er lyshastigheten. Avstanden ρ får man ved å sette τ inn i 2.2.

2.3.3 Feilkilder

Når man holder på med laserskanning finnes det mange forskjellige feilkilder. Disse feilkildene blir ofte delt inn i fire forskjellige kategorier; instrumentfeil, det skannede objektets form og natur, omgivelser og brukerfeil.

Innenfor instrumentfeil finnes det flere forskjellige feilkilder. Laserstrålens fotavtrykk er en av de. Fotavtrykket påvirker både oppløsningen til punkt-skyen og usikkerhet i posisjon siden strålen kan treffe på flere sider av et objekt. Laserstrålens fotavtrykk øker med avstand.

En annen feilkilde er avstandsnøyaktighet. For time of flight skannere er dette gitt ved:

$$\delta_z \approx \frac{c \cdot T_t}{2\sqrt{SNR}} \quad (2.4)$$

hvor T_t er pulsens rise-time, altså hvor lang tid det tar før signalet går fra null til fullt (Se 2.3). SNR er Signal til støy ratio, og c er lyshastigheten. Det betyr at avstandsnøyaktigheten er avhengig av et tidsintervall.

for faseskanner er avstandsnøyaktigheten gitt ved:

$$\delta_z \approx \frac{\lambda_m}{4\pi \cdot \sqrt{SNR}} \quad (2.5)$$

hvor λ_m er bølglengden til det modulerte signalet. Dette betyr at avstandsnøyaktigheten bare er avhengig av bølglengden og SNR .

Videre kan små feil i vinkler og akser på selve skanneren utgjøre feil.

Den andre kategorien med feilkilder er det skannede objektets form og natur. I dette tilfellet kan man få feil som følge av reflektans på overflaten. Avhengig av vinkelen man skanner fra og overflaten, vil man kunne få forskjellige typer retur. Veldig mørke overflater vil absorbere mye av lyset, og det reflekterende signalet vil være svakt. For lysere overflater vil det være motsatt. Hvis overflaten er speilblank, kan man risikere å ikke få retur.

En speilblank overflate kan også resultere i multipath. Dette betyr at man vil kunne få retur fra et annet sted enn det man måler til. Dette kan føre til store feil om man ikke er klar over det.

Den tredje kategorien går på omgivelsene. (Van Genechten, 2008) skriver at en endring i temperatur på 10°C eller en endring i lufttrykk på 35 hPa kan gi en avstandsfeil på 1 mm/100 m. Dette vil ikke utgjøre noen stor feil for målinger med relativt korte avstander. Videre kan andre signaler og lyskilder forstyrre returen. Det kan også bli feil som følge av vibrasjoner i bakken.

Den siste kategorien er metodefeil. Dette er feil som kommer av feil bruk. Dette kan for eksempel være å bruke en skanner som er ment for lange avstander på korte avstander. (C. COŞARCA, 2009) (Van Genechten, 2008)

2.4 Koordinatsystemer

Et koordinatsystem er et system som beskriver et punkts plassering. For punkter i det 3-dimensjonale rom har man tre akser, X, Y og Z. Man skiller på et lokalt og et globalt koordinatsystem. Et lokalt koordinatsystem har ikke et fast definert origo. Det betyr at man kan sette sitt eget origo, bestemme orienteringen til aksene og målestokken. Vanligvis vil man bestemme dette slik at en økning i 1 i et koordinat tilsvarer en meter. Orienteringen vil man bestemme på en slik måte at det blir lett å skjønne hvor et punkt i et rom vil være.

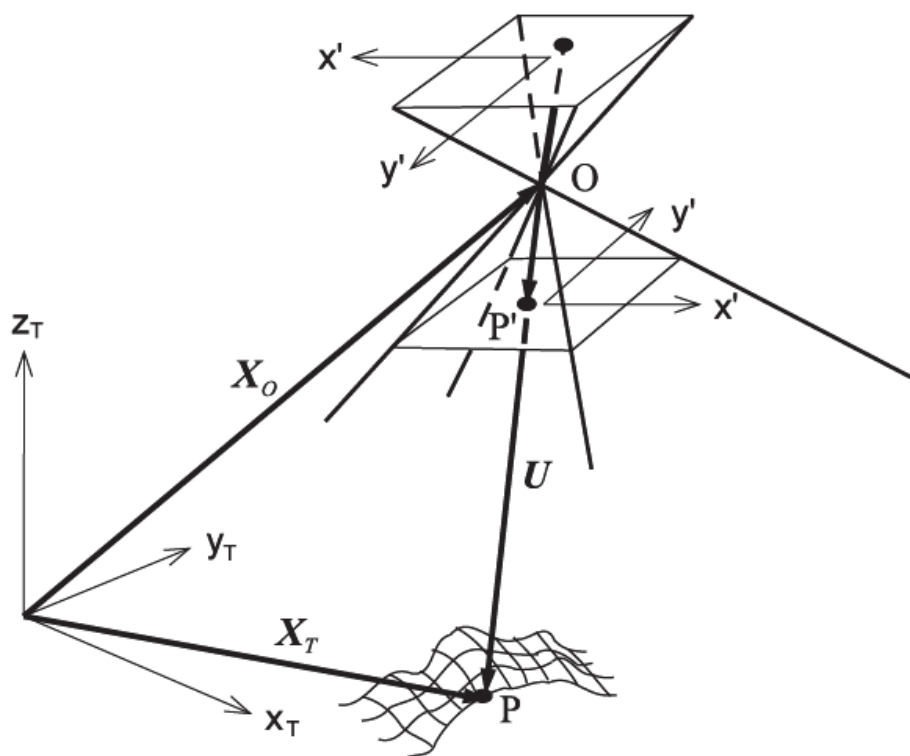
For et globalt koordinatsystem er origo og aksene definert på forhånd. Disse systemene er ofte laget for en verdensdel, eller for hele verden. Det finnes flere slike koordinatsystemer. I Norge er det vanlig å bruke UTM/EUREF89 og WGS84. For å kunne koble seg på et globalt koordinatsystem, er det nødvendig å måle til kjentmerker som bruker dette koordinatsystemet. Det finnes også transformasjoner mellom de kjente globale koordinatsystemene. Hvis en punkt sky er i et globalt koordinatsystem, sier vi at det er georeferert.

UTM har noen kjente og uønskede problemer. Siden UTM har en målestokkfaktor på 0.9996 i sentralmeridianen, må man foreta en avstandskorreksjon avhengig av avstanden til sentralmeridianen. Denne korrigeringen kan være på inntil 4 cm/100 m. For byggebransjen er det derfor innført et annet koordinatsystem, EUREF89 NTM (Norsk Transversal Mercator). NTM har en sentralmeridian for hver halve grad. Dette fører til at man får en mye lavere målestokk-korreksjon. (Kartverket)

2.5 Strålebuntmetoden

Strålebuntmetoden blir brukt til ytre orientering, og til å bestemme terrengkoordinater ved hjelp av bildekoordinater. For å kunne gjøre dette gjenskaper metoden fotograferingssituasjonen ved hjelp av det perspektiviske samband (Figur 2.4). De ulike størrelsene i figuren er: Prosjeksjonssenteret (O), koordinatene til bildepunkt (x' , y') og koordinatene til terrengpunkt (P). Sammenhengen mellom bildekoordinater og terrengkoordinater er beskrevet i formel 2.6.

Det perspektiviske sambandet krever at terrengpunkt, bildepunkt og projeksjonssenteret skal ligge på en rett linje. Dette kalles kolinearitetsprinsippet. Kolinearitetsprinsippet forutsetter feilfrie målinger. Siden dette sjeldent er tilfellet, blir man nødt til å danne feillikninger. Disse feillikningene inngår i en elementutjevning for å minimalisere feilene.



Figur 2.4: Det perspektiviske sambandet. Fra (Andersen, 1999)

$$\begin{aligned}
X_B &= -c \frac{a_{11}(X_T - X_O) + a_{12}(Y_T - Y_O) + a_{13}(Z_T - Z_O)}{a_{31}(X_T - X_O) + a_{32}(Y_T - Y_O) + a_{33}(Z_T - Z_O)} \\
Y_B &= -c \frac{a_{21}(X_T - X_O) + a_{22}(Y_T - Y_O) + a_{23}(Z_T - Z_O)}{a_{31}(X_T - X_O) + a_{32}(Y_T - Y_O) + a_{33}(Z_T - Z_O)}
\end{aligned}
\tag{2.6}$$

Der er X_B og Y_B bildekoordinater, c er kamerakonstant, a er elementer fra en rotasjonsmatrise, X_T, Y_T og Z_T er terrengpunktet, mens X_O, Y_O og Z_O er koordinatene til projeksjonssenteret. Kamerakonstanten er avstanden mellom projeksjonssenteret og bildeplanet. For kameraer som ikke endrer zoom eller fokus, vil denne verdien være en konstant. (Andersen, 1999)

2.6 Indre orientering

Indre orientering går ut på å bestemme kameraets indre orienteringselementer. Disse elementene er hovedpunktets bildekoordinater ($X_{PPS'}, Y_{PPS'}$), kamerakonstanten (c), data om objektivets fortegning, data om bildedeformasjoner og transformasjonen mellom bildekoordinatsystem og pikselkoordinatsystem.

De ulike orienteringselementene finner man ved gjøre en kamerakalibrering etter strålebuntmetoden. (Andersen, 1999)

2.7 Ytre orientering

I mange tilfeller er man avhengig av å ha det samme koordinatsystemet i to forskjellige systemer for å kunne sammenligne de. Det blir derfor nødvendig å gjøre en ytre orientering. Den ytre orienteringen finner strålebuntens beliggenhet i rommet. For å kunne gjøre dette må man bestemme 6 parametre; x_O, y_O, z_O som er projeksjonssenterets posisjon i fotograferingsøyeblikket, og ω, ϕ, κ som er tre vinkler om angir bildets orientering i rommet.

2.7.1 Tilbakeskjæring i rommet

Den ytre orienteringen kan bli bestemt ved hjelp av tilbakeskjæring i rommet. Ved å måle minst tre terrengkoordinater og bildekoordinater kan man løse tilbakeskjæringen teoretisk. Tilbakeskjæring i rommet utnytter at terrengpunkt, projeksjonssenter og bildepunkt ligger på en rett linje. For et godt resultat bør man ha flere kjente punkter. Det er viktig med god geometri på

punktene. Terrengunktene må ikke ligge langs samme linje, og man må ikke kunne legge en liggende sylinder som går gjennom punktene og projeksjons-senteret. (Andersen, 1999)

2.7.2 Omforming av koordinater ved hjelp av absolutt orientering ved Horns metode

Horns metode for absolutt orientering er en lukket metode som krever at man har minimum tre punkter med koordinater som ikke er kollineære, i to forskjellige kartesiske koordinatsystemer. At metoden er lukket betyr at det ikke er behov for iterering. De ukjente størrelsene som trengs for å gjøre en transformasjon mellom systemene er rotasjon, translasjon og skalering. Metoden bruker kvaternioner¹ for å representere rotasjonen mellom de to koordinatsystemene. (Horn, 1987)

2.8 Kamerakalibrering for et RGB-D system

Når man skal kalibrere et RGB-D system² er man ute etter å finne de indre og ytre parameterne til det infrarøde kameraet, samt RGB kameraet.

(Chow and Lichti, 2013) har foreslått en metode for kalibrering av en PrimeSense RGB-D sensor. Den går ut på at man etter en to timers oppvarming tar dybdebilder, IR bilder og RGB bilder av et checkerboard target³ fra flere forskjellige posisjoner og orienteringer. Ved hvert opptak ble det tatt 20 påfølgende bilder for å minimalisere støy til dybdemålingene og for å fylle hull i dybdekartet. Siden man ikke kan ta bilde med både RGB og IR kameraet samtidig, tar man først RGB og dybdebilder. Deretter dekker man til projektoren og tar IR bilder av omgivelsene som er opplyst av en eksterne lyskilde. Den eksterne lyskilden fører til at man får god kontrast på IR-bildene.

Observasjonene kan bli kategorisert i tre grupper. Bildekoordinater i RGB bilder, bildekoordinater i IR bilder og bildekoordinater observert av projektoren. Bildekoordinatene til begge kameraene ble funnet ved hjelp av hjørnene på et checkerboard target med hjelp av et åpent kildekodeprogram i MATLAB, kalt MATLAB Camera Calibration Toolbox. Dybdemålingene ble gjort ved å velge tilfeldig fordelte piksler i dybdebilde som hørte til det samme planet som checkerboard mønsteret.

¹Den mest kjente form for hyperkomplekse tall (Aarnes, 2009)

²Et RGB kamera med en dybdekanal

³A4 ark med to svarte og to hvite ruter fra et sjakkbrett

2.9 Overflateegenskaper

Når man skal skanne med et RGB-D system, eller med en laserskanner har overflateegenskapene til det man skal skanne betydning (For laserskanning, se 2.3.3). Disse egenskapene kan for eksempel være: Farge, lysforhold eller tekstur.

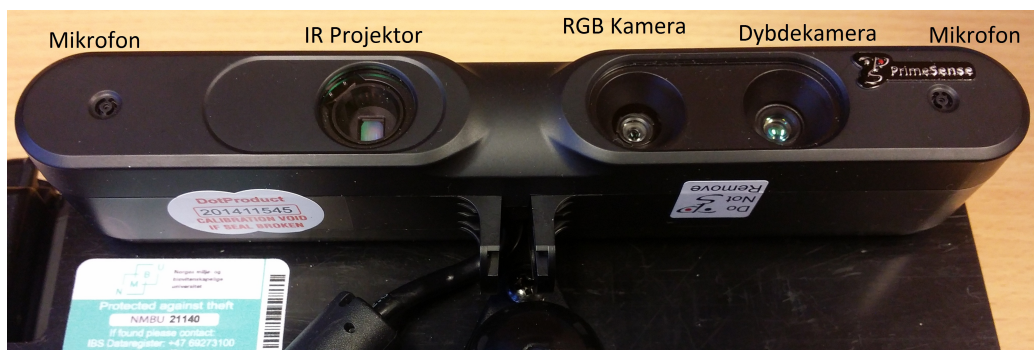
Et RGB-D system er mer følsom for dette enn en laserskanner. Khoshelham (2011) skriver at lysforholdene påvirker korrelasjon og måling av forskjeller. Ved sterkt lys vil kontrasten til det infrarøde bildet bli mindre, som igjen kan føre til unøyaktigheter i punktskyen. Glatte og skinnende overflater vil også påvirke målingene, og resultere i hull i punktskyen.

Kapittel 3

Maskinvare

3.1 DPI-8

DPI-8's maskinvare består av en sensor og et nettbrett. Sensoren heter PrimeSense Carmine 1.082, og er laget av det israelske selskapet PrimeSense. PrimeSense var med på å utvikle dybdesensoren i Xbox Kinect (Fрати and Praticchizzo, 2011). I 2013 ble PrimeSense kjøpt opp av Apple Inc (Isaac and Paczkowski, 2013).



Figur 3.1: Figuren viser PrimeSense Carmine 1.082 med forklaring på de ulike komponentene

Sensoren er klassifisert som en klasse 1 laser. Dette betyr at den ikke er farlig for mennesker (Statens Strålevern, 2014). Selvom den er klassifisert som en klasse 1 laser har den en mekanisme som gjør at laseren automatisk skruer seg av hvis den oppdager en feil. Sensoren består av to mikrofoner, en infrarød projektor, ett RGB kamera, og et dybdekamera. DotProduct3D bruker sensoren til PrimeSense, men har ikke bruk for mikrofonene.

Avstand	Typisk nøyaktighet (RMS)	Minimum nøyaktighet
< 1m	0.2 %	0.4 %
1m til 2m	0.5 %	0.8 %
2m til 3.3m	0.8 %	1.2 %
>3.3m	Ikke spesifisert	Ikke spesifisert

Tabell 3.1: Oppgitt nøyaktighet for DPI-8 fra produsent

3.1.1 Infrarød projektor

Den infrarøde (IR) projektoren sender ut et IR signal. Signalet blir sendt gjennom et transparent filter med et mønster. Når signalet blir projisert på omgivelsene, kommer det i form av et tilfeldig sett infrarøde prikker.

3.1.2 Dybdekamera

Dybdekamera er egentlig et infrarødt kamera. Det muliggjør opptak av IR mønsteret som blir projisert på omgivelsene av IR projektoren. Opptaket blir konvertert til dybdeinformasjon ved å måle avstanden mellom objektet og sensoren.

Den relative geometrien mellom IR projektoren og dybdekamera er kjent, samt det utsendte IR-signalet. Dette fører til at man kan rekonstruere modellen ved hjelp av triangulering. Siden prikkemønsteret er relativt tilfeldig, kan man gjøre matchingen mellom IR-bilde og det projiserte mønsteret ved å sammenligne små områder med f.eks. normalisert krysskorrelasjon (Zhang, 2012).

For andre metoder er det vanlig at mønsteret blir laget med optisk interferens (Freedman et al., 2012).

3.1.3 RGB Kamera

RGB kamera er et vanlig kamera som tar opptak på tre kanaler, rødt, grønt og blått. Ved hjelp av fotogrammetri og sammenhengen mellom dybde-dataene, kan man gi reelle farger til punktskyen.

3.1.4 Nvidia Shield Nettbrett

I tillegg til sensoren består DPI-8 av et Nvidia Shield nettbrett med 16GB lagringsplass og Android 5.0.1 som operativsystem. Nettbrettet er selve hjernen til DPI-8, med programmet Phi.3D som sørger for visualisering og regnekraft. Nettbrettet sørger også for å gi nok strøm til sensoren. Skjermen er

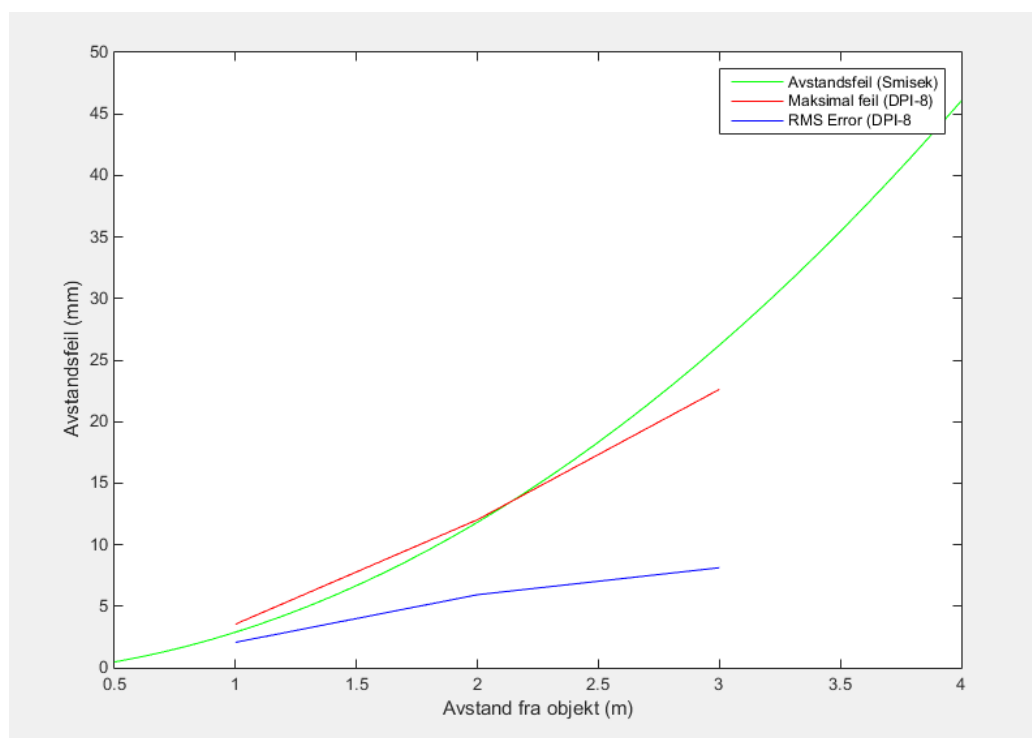
en 8 tommeres skjerm. Selve skanningen blir begrenset av Random Access Memory (RAM) og lagringskapasiteten.

3.1.5 Hvordan fungerer det?

Hvis sensoren hadde stått stille, hadde det ikke vært noe problem å finne posisjon bare ved hjelp av triangulering. Siden dette ikke er tilfellet, blir man nødt til å implementere SLAM (Se 2.1). Ved å kombinere triangulering og SLAM med landmarks, og bruke RANSAC (Se 2.1.2) til å estimere 3D-transformasjonen mellom disse. Alternativt til DPI-8, finnes det gratis åpen kildekode tilgjengelig (OpenSLAM (Endres et al., 2012a)). (Endres et al., 2012b)

Siden DPI-8 bruker en infrarød projektor, er nøyaktigheten avhengig av avstanden. Smisek et al. (2013) kom frem til en matematisk formel (Se 3.1) som beskriver kvantifiseringssteget for en kinect sensor, altså hvor avstandsavhengige målingene er. Med DPI-8 følger det med et test-sertifikat. Dette sertifikatet viser målinger som er gjort etter kalibrering, fra henholdsvis 1, 2 og 3m avstand. Ved å plotte resultatet fra dette mot kvantifiseringssteget til (Smisek et al., 2013), kan man se at resultatet fra denne testen er tilnærmet lik kvantifiseringssteget (Se figur 3.2).

$$q(z) = 2,73z^2 + 0,74z - 0,58 \quad (3.1)$$



Figur 3.2: Avstandsfeil for Kinect, sammen med maksimal feil og RMS error fra test-sertifikatet (Se vedlegg A) til DPI-8 etter kalibrering. Plottet i Matlab. Formel som blir brukt er formel 3.1.

3.2 Trimble TX5 og FARO Focus 3D

Trimble TX5 og FARO Focus 3D er to laserskannere. Begge instrumentene er basert på faseskanning (Se 2.3.2). De er ment for bruk med avstander fra 0.6 - 120 m (130 m for Faro Focus 3D). Begge skannerene har en elektronisk libelle, og et klinometer som kan justere for små feil i horisontering automatisk.

Laserskanneren er en faseskanner. I tabell 3.2 er det listet opp noen spesifikasjoner. De er veldig like, men det er likevel noe som skiller de. Laseren på de to instrumentene har forskjellige egenskaper. Trimble TX5 har en bølgelengde på 905nm og er i laserklasse 3R. FARO Focus 3D bruker en bølgelengde på 1550nm og er i laserklasse 1. Dette betyr at diameteren til signalet når den forlater skanneren er forskjellig. For Trimble TX5 er denne på 3.0 mm, og for FARO Focus 3D er den på 2.25 mm. Oppgitt avstandsfeil er gitt til ± 2 mm for begge skannerene. (FARO, 2014) (Trimble, 2012)



Figur 3.3: Faro Focus 3D i aksjon

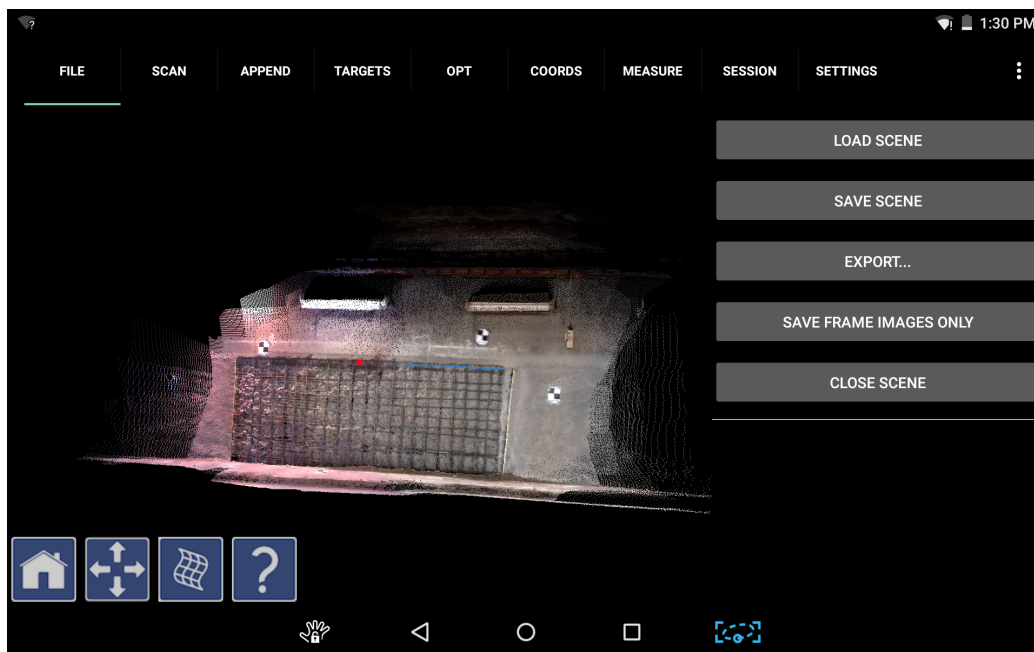
Egenskaper	TX5	FARO Focus 3D
Batteritid	Opp til 5t	4,5t
Romtemperatur	5°C til 40°C	5°C til 40°C
Vekt	5.0kg	5,2kg
Størrelse	240mm x 200mm x 100mm	240 x 200 x 100mm
Horisontal FOV	360°	360°
Vertikal FOV	300°	300°
Laserklasse	3R	1

Tabell 3.2: Spesifikasjoner for TX5 og FARO Focus 3D

Kapittel 4

Programvare

4.1 Phi.3D



Figur 4.1: Skjermdump fra Phi.3D med opptak fra Smestadtunnelen

Selve hjernen i DPI-8 er programvaren Phi.3D. Phi.3D gjør om RGB-D data til en konsistent 3D-modell. Det som gjør Phi.3D spesielt er at databehandlingen gjøres i sanntid. Modellene blir fargelagt med en reell farge, og skal være mm - nøyaktig ved innendørs bruk. Phi.3D støtter flere forskjellige

typer sensorer, sånn som stereo, Lidar, ToF og i DPI-8 bruker man strukturert lys. All prosessering skjer lokalt på den enheten programmet kjører. Programvaren er kompatibel med de fleste enheter og operativsystemer.

Programvaren har mange nyttige funksjoner. Den har faner for filbehandling, skanning, append, targets, optimalisering, koordinater, målinger, målesesjon og instillinger. I filbehandlingen har man mulighet til å lagre og eksportere skanninger til flere forskjellige filformater, men også mulighet til å laste inn gamle opptak. Man kan eksportere til PTG, PTX, PLY og PTS format. Lagrer man på vanlig måte, blir filen lagret som en dp fil. Denne filtypen har lossless komprimering¹, og kan komprimeres 10 til 50 ganger mer enn for eksempel PTS og PTX.

Under fanen skanning, kan man gjøre klart for opptak. Her kan man velge om programvaren automatisk skal gjenkjenne AprilTags når man skanner. Man får også en oversikt over hvor lang tid systemet har varmet opp.

Under fanen append har man mulighet til å fortsette på en skanning på et senere tidspunkt, eller hvis man mister posisjonen sin. For å kunne gjøre dette er man avhengig av å ha et område med dybde. Man velger et bilde fra et bildebibliotek som har blitt opprettet, og prøver å gjenskape det.

Under targets finner programmet alle targets automatisk igjen. Her kan man laste inn en liste med koordinater og gi de til de forskjellige punktene, eller man kan taste det inn manuelt. Man vil da også kunne få en rapport som viser hvor godt modellen stemmer.

Under optimalisering har man mulighet til å optimalisere skanningen. Skanningen består av mange bilder med tilhørende dybdekart. Dybdekartet har en dybdeverdi for hver piksel. Denne verdien kan være unøyaktig. Optimalisering er en etterprosesseringsteknikk som prøver å finne posisjon, orientering og dybdekart for alle disse bildene, slik at den globale forskjellen mellom bildene blir så liten som mulig.

Her kan man også velge hvilken modus man vil optimalisere med. Valgmulighetene er hard, soft, scale bar, only correspondences og no targetting. Hard targetting er den metoden som gir høyest nøyaktighet. Den krever en liste med x, y og z koordinater til tilhørende targets. Dette er metoden man bruker om man vil georeferere, skalere og registerere punktskyen. Soft targetting er ganske likt som hard, men den vekter farger og det visuelle mer enn absolutt nøyaktighet. Scale bar er en metode som bruker de relative avstandene mellom targets. Metoden vil gi en bedre nøyaktighet for modellen ved å sørge for at disse avstandene blir fulgt. Den vil ikke gjøre en koordinattransformasjon slik som hard og soft. Only correspondences er en metode som

¹Komprimering uten tap av informasjon

ikke krever noen absolutt posisjon eller avstand. Den bruker bare targets og en foreløpig posisjon. Den bruker dette for å lukke store sløyfer, og generelt forbedre optimaliseringen. Hvis man ikke ønsker å bruke noen av disse, kan man bruke no targetting. Denne metoden trenger ingen targets, og gjør bare en generell optimalisering.

Under koordinater kan man sette origo, koordinat og definere aksene til koordinatsystemet.

Målinger gir deg muligheten til å måle avstander i punktskyen.

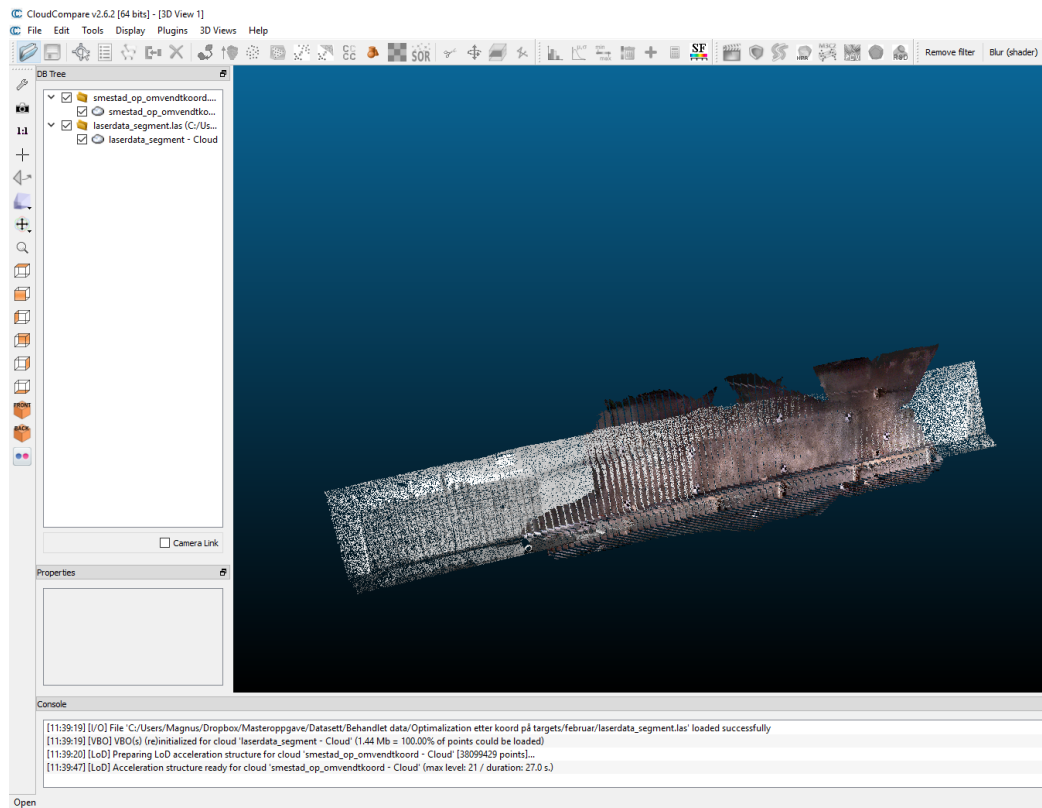
Målesesjon gir deg muligheten til å lagre skanningen din som en målesesjon, slik at man kan fortsette på den senere med samme koordinatsystem.

Under innstillinger kan man velge kalibreringsfil, lisensfil, gjøre rotasjonsaksene invers, eller bestemme avstandsrekkevidden til skanneren. Denne er begrenset av kalibreringen til maks 3.7 m. Man har mulighet til å sette denne lavere, for å kunne få et bedre resultat. For et estimat på hvor stor feil man vil få ved forskjellig avstand, se figur 3.2. (DotProduct LLC, 2015)

4.2 CloudCompare

CloudCompare er et gratis åpen-kildekode program for behandling av punktskyer i 3D. Opprinnelig ble det utviklet for å sammenlikne punktskyer, men har i dag mange flere funksjoner. CloudCompare støtter mange forskjellige filformater, der .dp fra dotproducts er en av de. Det har imidlertid vist seg at importeringen av .dp til CloudCompare ikke går helt som det skal hvis man har georeferert .dp. Koordinatene blir tusen ganger for store. Hvis man eksporterer .dp til PLY i DPI-8, for deretter og importere denne til CloudCompare, vil man få riktige koordinater, men med feil i modellen. Etter å ha postet på forumet til CloudCompare har de sagt at de skal komme med en oppdatering som fikser dette problemet.

(Girardeau-Montaut, 2011)



Figur 4.2: Utsnitt fra CloudCompare med data fra DPI-8 og TX5

4.2.1 Funksjoner i CloudCompare

CloudCompare har mange ulike funksjoner. Noen av de som har blitt brukt i denne oppgaven er:

- Merge
- Mesh (Delanuy triangulering)
- Segment
- Apply transformation
- Compute distance (Cloud/cloud, Cloud/mesh)

Merge er en funksjon som blir brukt for å sette to eller flere modeller sammen til en modell.

Mesh er en funksjon som ved hjelp av 2,5D Delaunay triangulering¹, lager en modell med fast overflate.

Segment brukes for å velge ut områder.

Apply transformation er en funksjon som blir brukt til å transformere punktskyen til et annet koordinatsystem. Her setter man inn en 4×4 rotasjonsmatrise.

Compute distance er en funksjon som regner ut avstand fra punkt til nærmeste punkt, eller fra mesh til nærmeste punkt. Ved å gjøre dette for alle punktene i punktskyen, vil man se forskjellen mellom to punktskyer, eller mellom en punktsky og et mesh. Denne forskjellen blir vist på modellen som et skalart fargefelt. Man får også muligheten til å eksportere et histogram som viser fordelingen av punkter og avstand. (Girardeau-Montaut et al.)

4.3 Quick Terrain Modeler

Quick Terrain Modeler er et program for å visualisere punktskyer og terreng i 3D. Det er utviklet av Applied Imagery. Programmet kan vise mye informasjon om punktskyer som man laster inn. I denne oppgaven er Quick Terrain Modeler blitt brukt for å se punkttettheten. For å kunne gjøre dette var det nødvendig å rotere modellen slik at den havnet i XY-planet.

4.4 MATLAB

MATLAB er et matematikkprogram med eget scriptspråk. Det er utviklet av MathWorks. I denne oppgaven har MATLAB sammen med åpent kildekode-script((Matt J, 2009)) til MATLAB blitt brukt for å beregne transformasjonen mellom de ulike punktskyene. Det er også blitt brukt for å beregne RMS-verdier.

¹En metode for å lage trekanter av en punktsky

Kapittel 5

Metode

5.1 Beregningsgang

Beregningen er gjort på følgende måte. Først har det blitt skannet med DPI-8 og laserskanning for de aktuelle områdene. Targets har blitt målt inn med totalstasjon. Senere har dataene til DPI-8 blitt optimalisert. Deretter har det blitt foretatt en transformering mellom de ulike skanningene for å kunne koble de sammen. Når de er koblet sammen, er de områdene som er aktuelle for analyse segmentert ut. Etter at de er segmentert har det blitt gjort en sammenligning mellom de ulike skanningenes punktskyer. Til slutt ble det laget en mesh av punktskyen til laserdataen, og gjort samme sammenligning. Det er ikke laget en mesh av punktskyene til DPI-8, da disse har så stor punkttetthet at man måtte ha tynnet ut punktskyen for å kunne gjøre det (se kapittel 5.5. Dessuten er dataene fra DPI-8 ment å være ferdig prosesserte når de kommer fra Phi.3D).

5.2 Skanning i Smestadtunnelen

Det har blitt foretatt skanninger i smestadtunnelen på flere forskjellige tidspunkt. Den første ble utført den 13. desember 2015 av Geomatikk Survey. Her ble det skannet med laserskanner (TX5). Neste skanning ble utført med DPI-8, den 22. desember 2015. Det har ikke skjedd noen endringer i tidspunktet mellom disse skanningene for det aktuelle området. Videre har veggen blitt sprøytet med betong, og neste skanning med DPI-8 ble utført den 29. februar 2016.

Det er vanskelig å bestemme avstand fra DPI-8 skanneren til objektet som ble skannet, men begge skanningene med DPI-8 ble gjennomført med ca 2 m avstand til tunnelveggen. Noe ble skannet fra kortere avstand, og noe

litt lengre unna. Utetemperaturen var på ca 5°C ved den første skanningen med DPI-8, og ca $-2,5^{\circ}\text{C}$ ved den andre skanningen. (Fiedler and Müller, 2013) har rapportert at kinect sensoren har en temperaturavhengighet på ca $1\text{mm}/^{\circ}\text{C}$. Siden DPI-8 bruker en tilsvarende sensor, er det nærliggende å tro at dette også gjelder her. Begge skanningene har blitt utført med mer enn 20 minutters oppvarming for sensoren. Selve utførelsen av skanningene tok i overkant av 30 min. Siden skanningene ikke ble utført samtidig, og A4-ark ikke kan henge lenge inne på en tunnelvegg, er man nødt til å georeferere punktskyene for å kunne koble de sammen. For laserdataene har dette blitt gjort ved å måle til kjente fastmerker. For DPI-8 dataene ble det teipet opp checkerboardtargets på veggen, for så å måle de inn med totalstasjon. Checkerboardtargetene er spredt godt utover det aktuelle området for å få god geometri. Innmålingene av punkter med totalstasjon har blitt utført av Geomatikk Survey.

5.3 Skanning i TF

Torsdag 14. april 2016 ble det gjennomført en skanning av en vegg, i 2. etasje av TF. Innendørstemperaturen ligger på ca 20°C . Skanningen ble først utført med en Faro Focus 3D skanner, og deretter ble det foretatt en skanning med DPI-8. Skanningen med DPI-8 ble gjennomført med ca 1-2 m avstand fra objektet som ble skannet. Laserskanningen er gjort med en oppstilling. For å kunne koble de to skanningene sammen, er det blitt satt opp checkerboardtargets på veggen. Disse er spredt godt utover det aktuelle området for å få god geometri. Det ble også gjennomført en ny skanning med DPI-8 og laserskanner, mandag 18. april 2016. Denne skanningen med DPI-8 ble også utført med ca 1-2 m avstand fra det skannede objektet. Det ble foretatt en ny skanning fordi skanningen med DPI-8 den 14. april så visuelt dårlig ut. Den første skanningen tok ca 45 minutter, men den andre tok ca 15 minutter.

5.4 Hvordan gjøre en god skanning med DPI-8?

Siden DPI-8 er en håndholdt skanner, er den i stor grad påvirket av operatøren. Dette betyr at man bør vite litt om hvordan skanneren fungerer. Når man skanner, hender det at systemet plutselig ikke klarer å beregne hvor den er. Man må da prøve å finne tilbake til et sted som skanneren kjenner igjen, for så å fortsette derfra. For å få et godt resultat, ser det ut til at det lønner seg å bruke en rolig sirkelbevegelse. DotProduct3D opplyser

også om at man vil kunne få et bedre resultat hvis man holder skanneren ortogonalt på det aktuelle området man skal skanne. Man vil kunne få bedre nøyaktighet ved å være nærmere området man skal skanne, men det vil være vanskeligere å få god geometri eller dybde. Dette kan føre til at man mister posisjonen, og må starte på nytt fra et tidligere tidspunkt. Ved lang tidsbruk vil systemet drifte. Dette betyr at man vil få dårligere posisjonsbestemmelse. Ved mye bruk, lærer man seg teknikker for å gjøre skanningene raskere.

5.5 Punkttetthet

Punkttettheten for en laserskanning er blant annet avhengig av avstand og innstillinger på selve skanneren. DPI-8 er også avstandsavhengig, men her har man ingen mulighet til å stille på punkttettheten. For laserskanningen som er foretatt i Smestadtunnelen ligger punkttettheten på ca 35 000 punkter/ m^2 . På TF er denne punkttettheten ca 50 000 punkter/ m^2 . For skanningen med DPI-8 i smestadtunnelen er punkttettheten ca 2 100 000 punkter/ m^2 . På TF er den ca 1 500 000 punkter/ m^2 .

Kapittel 6

Resultat

6.1 Transformering av koordinater

Alle targets fra skanningen i Smestadtunnelen er målt inn med totalstasjon. Disse målingene er ansett som fasit. Det er foretatt en transformasjon mellom datasettene fra DPI-8 der disse punktene er brukt som utgangspunkt. Punktene i DPI-8 punkttskyene er plukket ut manuelt ved hjelp av CloudCompare. For skanningen foretatt i 2.etasje på TF, er koordinatene plukket ut manuelt i begge punkttskyene (laserskanning og DPI-8). Siden de er plukket ut manuelt, og punkttettheten til laserskanningen er på ca 35 000 punkter/ m^2 er det vanskelig å treffe helt nøyaktig på rett punkt. For DPI-8 dataene er ikke dette et problem, da de har veldig høy punkttetthet. Horns metode er blitt brukt for transformasjonen. Metoden er forklart i 2.7.2. Transformasjonen er beregnet ved hjelp av MATLAB og et åpent kildekodeprogram ((Matt J, 2009)).

RMS-verdier fra transformeringene kan sees i tabell 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 og 6.6. Tabell 6.1 og 6.2 er fra den første målesesjonen i Smestadtunnelen. Tabell 6.3 og 6.4 er fra den andre målesesjonen. Tabell 6.5 er fra den første målesesjonen på TF, og tabell 6.6 er fra den andre målesesjonen på TF. Tabellene fra TF viser ikke RMS for punkttskyen før den er optimalisert, fordi det er mange punkter man ikke kan se (se figur 6.16 og 6.24).

Siden fellespunktene i Smestadtunnelen er målt med totalstasjon, og dette blir sett på som fasit, vil RMS-verdiene beskrive nøyaktigheten til DPI-8. I TF beskriver RMS-verdiene forskjellen mellom DPI-8 og laserskanneren. Alle RMS-verdiene har meter som enhet.

Den totale RMS-verdien for punkttskyene viser en tendens med lavere RMS for punkttskyer som er optimalisert. De videre analysene er derfor foretatt på de optimaliserte datasettene.

Smestadtunnelen

Punktnavn	RMS (m)	RMS optimalisert (m)
CAL-113	0.0417	0.0089
CAL-115	0.0344	0.0071
CAL-116	0.0183	0.0109
CAL-117	0.0218	0.0022
CAL-118	0.0143	0.0067
CAL-119	0.0164	0.0060
Total RMS	0.0265	0.0075

Tabell 6.1: RMS for punktsky ved første målesesjon i Smestadtunnelen, og for den samme punktskyen etter at den er optimalisert i Phi.3D

Punktnavn	RMS (m)	RMS optimalisert (m)
CAL-101	0.0141	0.0106
CAL-118	0.0086	0.0086
CAL-119	0.0085	0.0076
CAL-120	0.0136	0.0092
Total RMS	0.0115	0.0090

Tabell 6.2: RMS for punktsky ved første målesesjon i Smestadtunnelen, og for den samme punktskyen etter at den er optimalisert i Phi.3D

Punktnavn	RMS (m)	RMS optimalisert (m)
CAL-101	0.0034	0.0044
CAL-115	0.0180	0.0021
CAL-118	0.0214	0.0066
CAL-119	0.0176	0.0051
CAL-120	0.0146	0.0070
Total RMS	0.0162	0.0053

Tabell 6.3: RMS for punktsky ved andre målesesjon i Smestadtunnelen, og for den samme punktskyen etter at den er optimalisert i Phi.3D

Punktnavn	RMS (m)	RMS optimalisert (m)
CAL-112	0.0153	0.0101
CAL-113	0.0154	0.0222
CAL-115	0.0169	0.0135
CAL-116	0.0383	0.0159
CAL-117	0.0359	0.0214
CAL-118	0.0338	0.0112
CAL-119	0.0082	0.0138
CAL-120	0.0363	0.0212
Total RMS	0.0275	0.0168

Tabell 6.4: RMS for punktsky ved andre målesesjon i Smestadtunnelen, og for den samme punktskyen etter at den er optimalisert i Phi.3D

TF

Punktnavn	RMS optimalisert (m)
CAL-120	0.0648
CAL-119	0.0312
CAL-117	0.0284
CAL-116	0.0330
CAL-101	0.0904
CAL-118	0.0264
CAL-115	0.0703
Total RMS	0.0546

Tabell 6.5: RMS for punktsky etter første målesesjon i TF. Optimalisert i Phi.3D

Punktnavn	RMS optimalisert (m)	RMS optimalisert, AT (m)
CAL-120	0.0206	0.0190
CAL-119	0.0255	0.0253
CAL-118	0.0126	0.0139
CAL-117	0.0354	0.0412
CAL-116	0.0304	0.0312
CAL-115	0.0146	0.0197
CAL-114	0.0416	0.0451
CAL-113	0.0112	0.0107
Total RMS	0.0262	0.0283

Tabell 6.6: RMS for punktsky etter andre målesesjon i TF. Optimalisering med no target, og senere optimalisert med Apriltags i Phi.3D

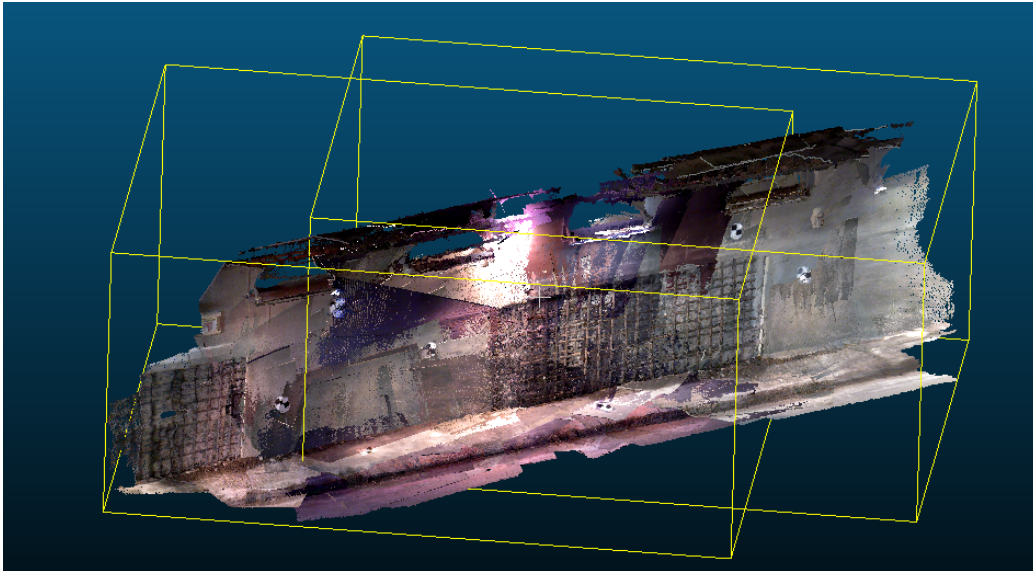
6.2 Smestadtunnelen



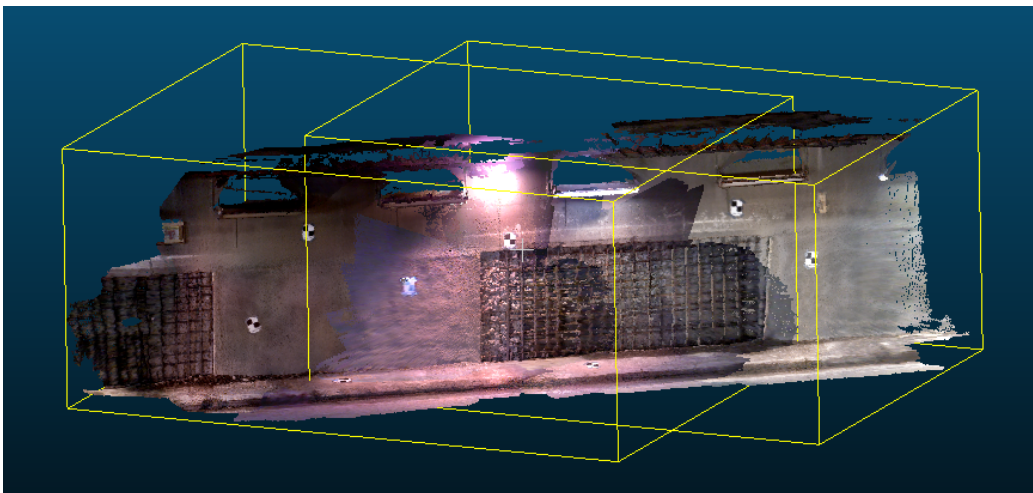
Figur 6.1: Utsnitt fra punktskyen etter laserskanning i Smestadtunnelen

I figur 6.1 ser man et utsnitt av punktskyen fra laserskanningen. Visuelt ser dette veldig bra ut. Det runde hullet i midten av punktskyen er en av laserskannerens mange oppstillinger. I figur 6.2 og 6.4 ser man punktskyene til den første og andre skanningen i Smestadtunnelen med DPI-8. Punktskyene er nå et lappeteppe av ulike skanninger og bilder. Når man optimaliserer punktskyene blir dette borte, og man får et mye bedre visuelt resultat (se figur 6.3 og 6.5). De gule boksene i figur 6.2 symboliserer avgrensingen til de ulike punktskyene. Man kan derfor se at denne punktskyen er satt i sammen

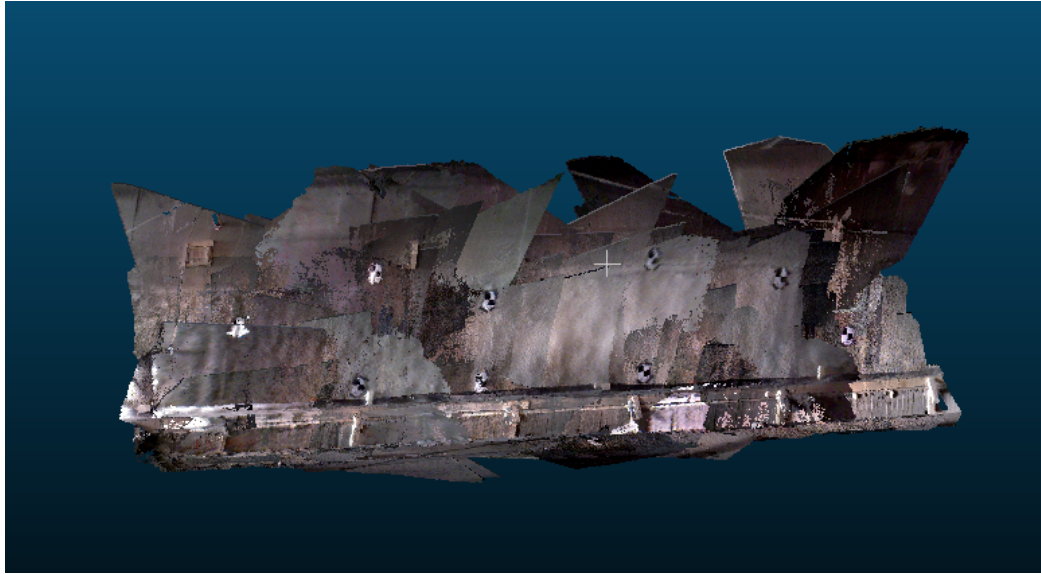
av to ulike punktskyer. Dette er gjort fordi DPI-8 ikke har nok minne til å kunne skanne alt med bare en skanning.



Figur 6.2: Punktsky fra første skanning med DPI-8 som ikke er optimalisert



Figur 6.3: Punktsky fra første skanning med DPI-8 som er optimalisert

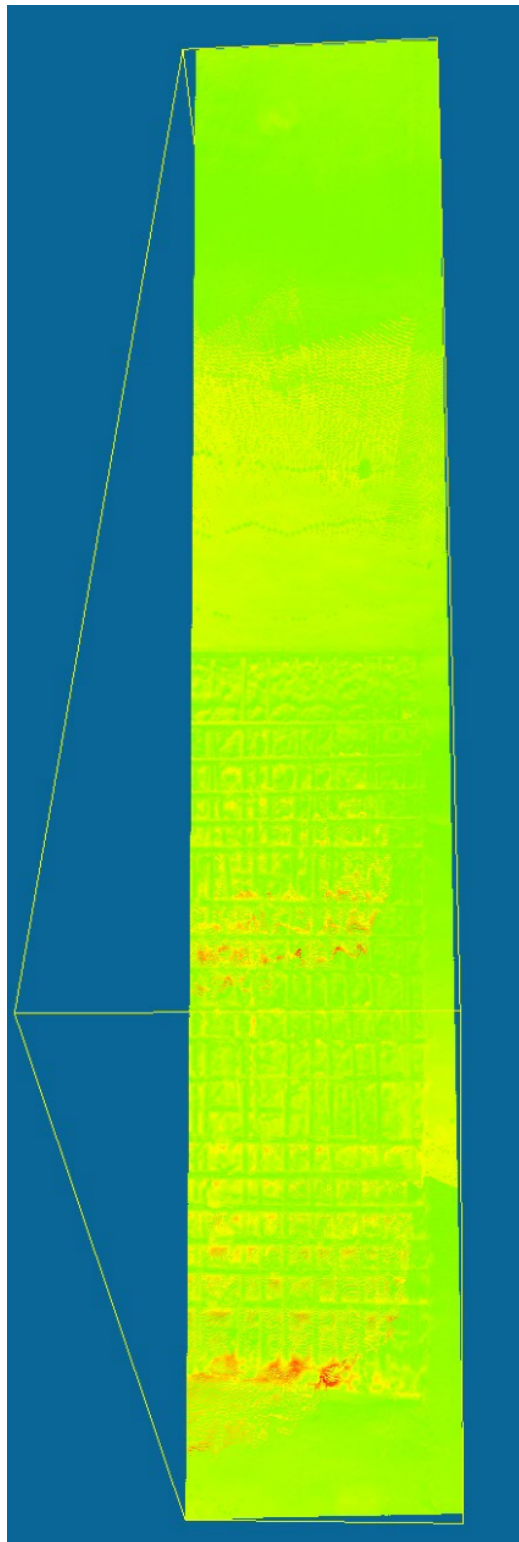


Figur 6.4: Punktsky fra andre skanning med DPI-8 som ikke er optimalisert



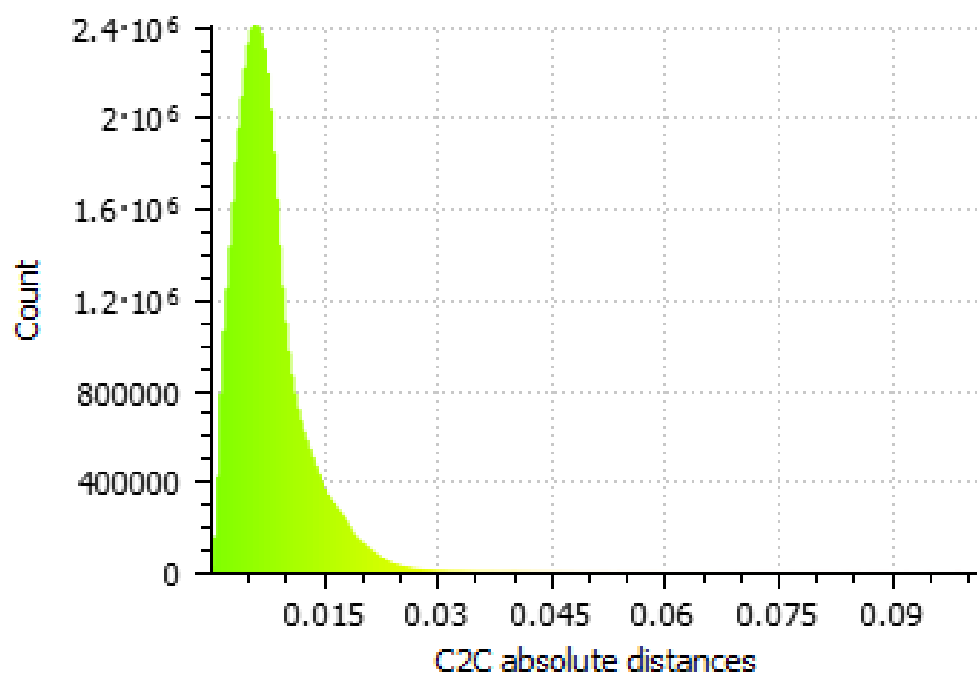
Figur 6.5: Punktsky fra andre skanning med DPI-8 som er optimalisert

Figur 6.6 med tilhørende histogram 6.7 viser avstanden mellom den første skanningen med DPI-8 og laserdataene ved hjelp av en fargeskala. Skalaen går fra grønt til rødt. Den gjennomsnittlige avstanden er beregnet til 7.723 mm med et standardavvik på 4.820 mm. Figur 6.6 er stort sett helt grønn, men det er noen små områder med røde flekker. Disse flekkene er plassert i og rundt et område med mye armeringsjern. Grunnen til at avstandene i dette området er større enn for de andre kan være fordi dette er et område som er vanskelig å skanne på en slik måte at man får med alt. Histogrammet viser en jevn fordeling, men med noen punkter med opp til 2.5 cm forskjell.



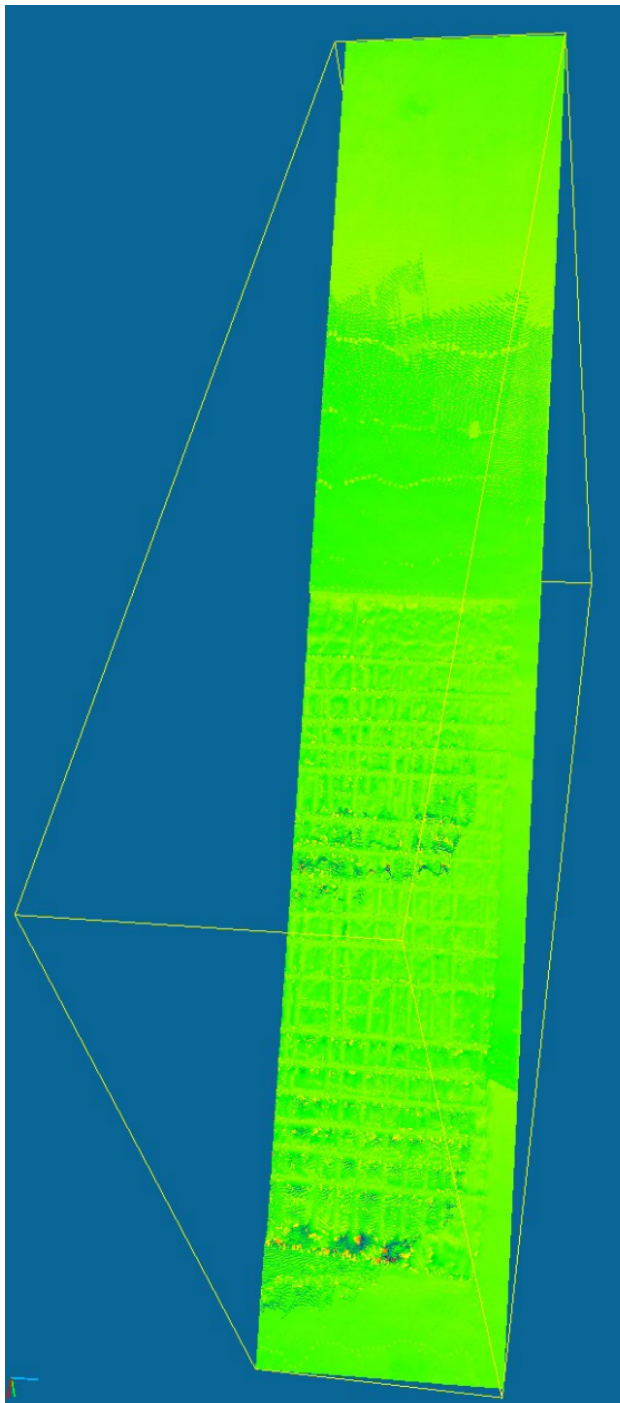
Figur 6.6: Resultat etter beregning av avstand mellom punktskyene for den første skanningen med DPI-8 og laserdataene. Figuren er rotert 90° med klokken

C2C absolute distances (52656129 values) [256 classes]



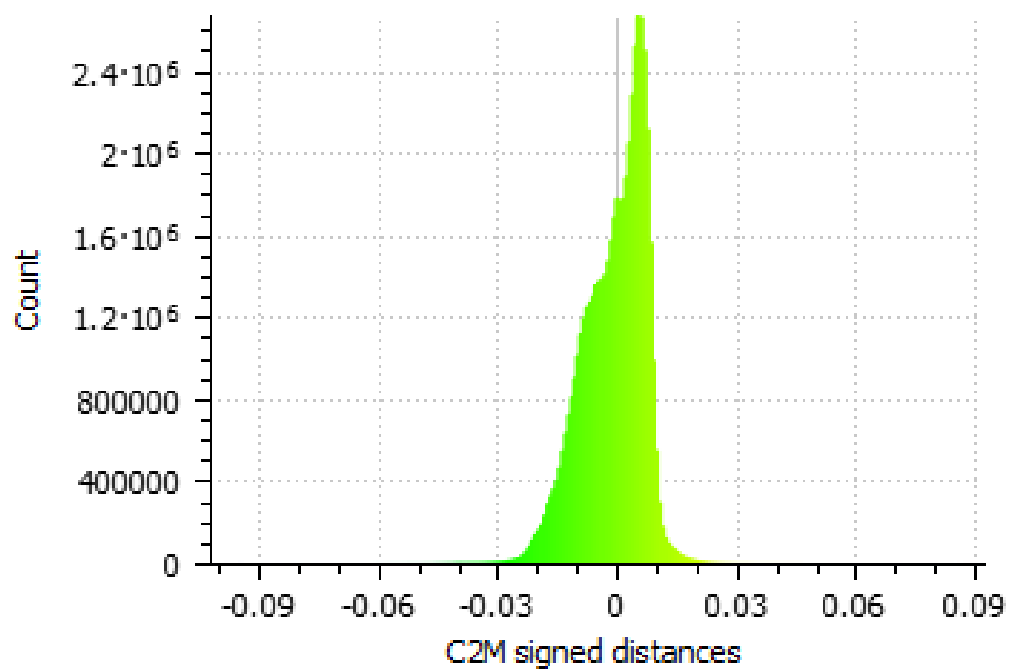
Figur 6.7: Tilhørende histogram til figur 6.6. Histogrammet viser fordeling av antall punkter med gitt avstand mellom punktskyene

Etter at man har gjort om laserdataene til en mesh blir resultatene litt annerledes. Det er fortsatt de samme områdene som har større avstandsavvik, men denne gangen er ikke avstandene absolutte. Dette betyr at avstanden nå er retningsbestemt i forhold til laserdataene. Den gjennomsnittlige avstanden er beregnet til -1.05 mm med et standardavvik på 7.86 mm (Se figur 6.8 og 6.9). Sammenligner man histogram 6.7 med 6.9 ser man at de ligner veldig på hverandre. Den eneste forskjellen er at avstandene nå har fått en retning. Man kan nå se at flere av punktene fra DPI-8 skanningen ligger litt foran laserdataene. Standardavviket til beregningen er noe høyt.



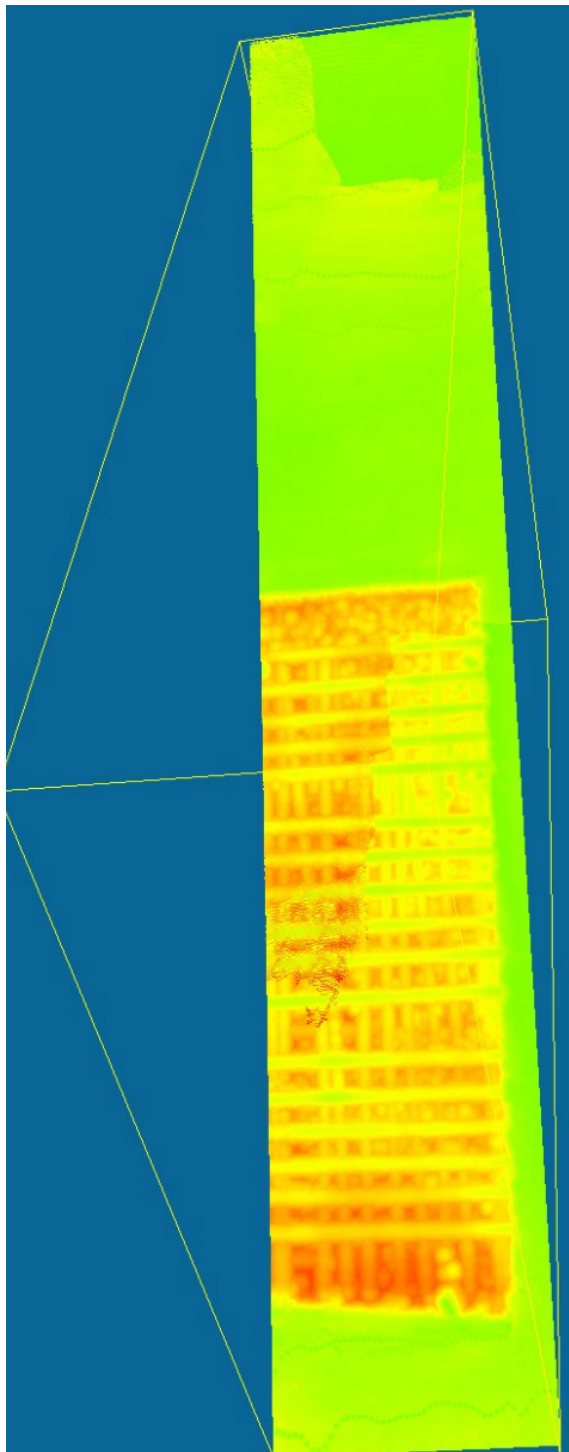
Figur 6.8: Resultat etter beregning av avstand mellom punktsky og mesh for den første skanningen med DPI-8 og laserdataene. Figuren er rotert 90° med klokken

C2M signed distances (52656129 values) [256 classes]



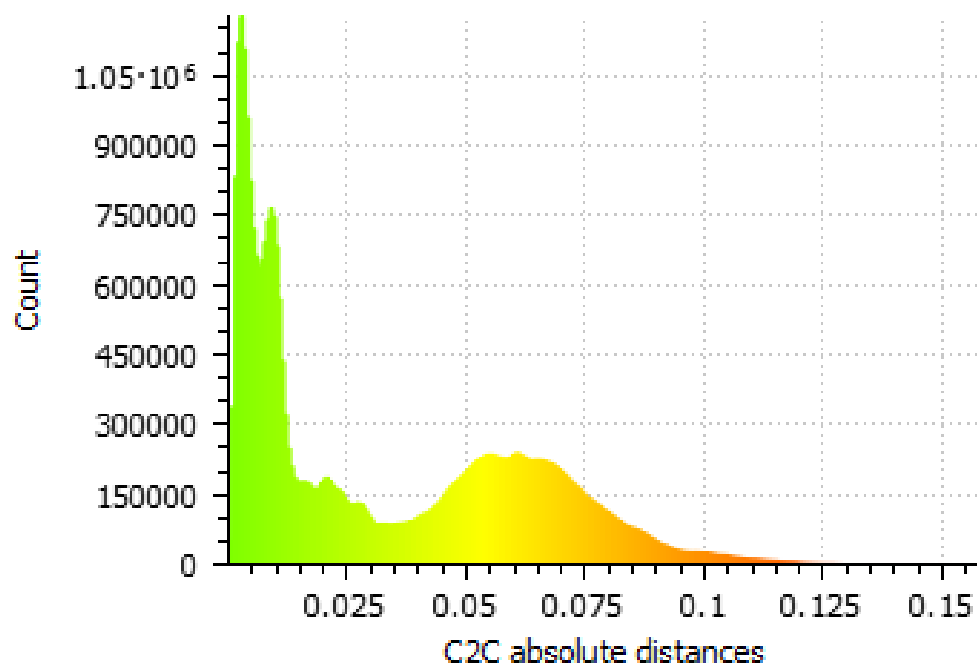
Figur 6.9: Tilhørende histogram til figur 6.8

Når man sammenligner den andre skanningen fra Smestadtunnelen med laserdataene ser man at resultatet skiller seg ut fra de tidligere skanningene. Dette er naturlig da veggen er sprøytet med betong. Punktene med størst avstand befinner seg i det området hvor det er sprøytet med betong. Avstandsberegningen mellom punktskyene gir en gjennomsnittlig avstand på 3.336 cm med et standardavvik på 2.914 cm (se figur 6.10 og 6.11). Histogrammet har to topper med punkter. Dette gjenspeiler at det er fylt på med masse på et område, og ikke det andre.



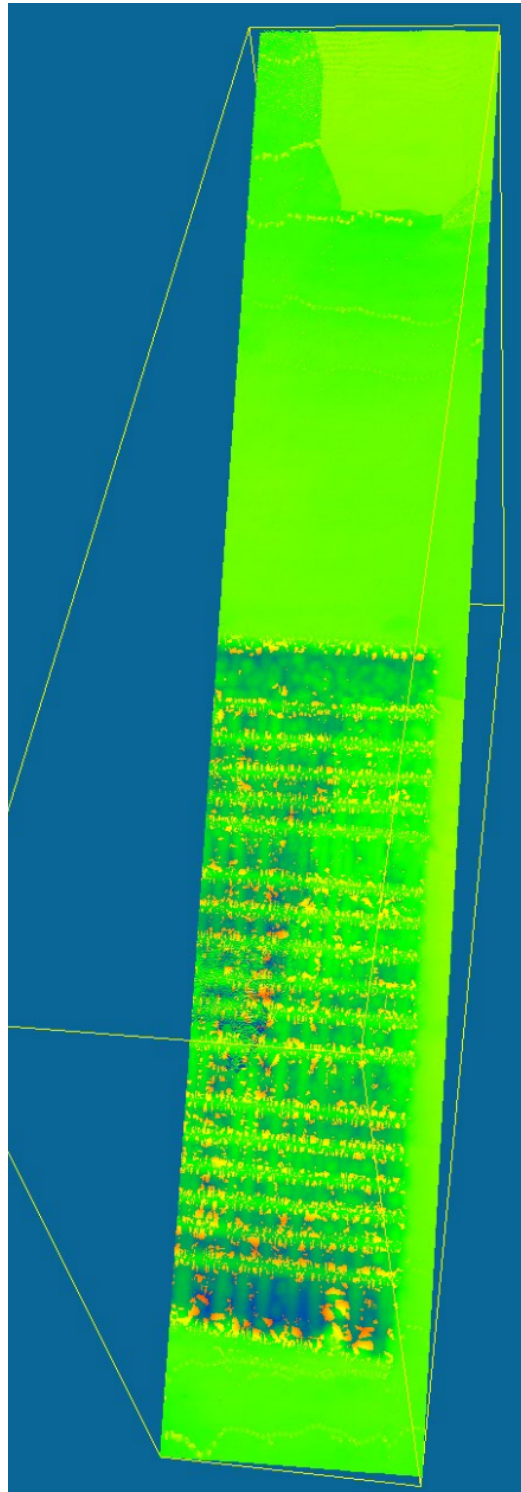
Figur 6.10: Resultat etter avstandsberegning mellom punktskyene for den andre skanningen med DPI-8 og laserdataene. Figuren er rotert 90° med klokken

C2C absolute distances (34311367 values) [256 classes]



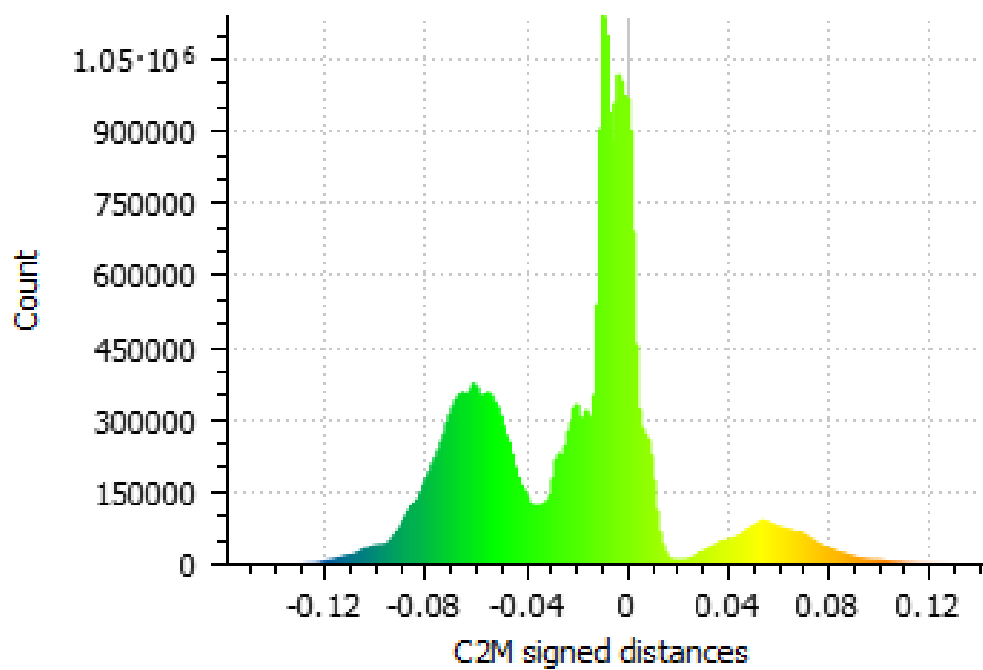
Figur 6.11: Tilhørende histogram til figur 6.10

Sammenligningen mellom punktsky og mesh av laserdata gir en gjennomsnittlig avstand på -2.188 cm med et standardavvik på 3.869 cm (Se figur 6.12 og 6.13). Dette betyr at mesteparten av DPI-8 datene ligger foran laserdataene. Dette er naturlig. Histogrammet (figur 6.13) består av tre topper. Toppen som er sentrert rundt null representerer punktene som ikke har hatt noen forandring. Toppen på den negative siden viser sprøytingen av betong, og toppen på den positive siden viser punkter som har hatt en negativ forandring.



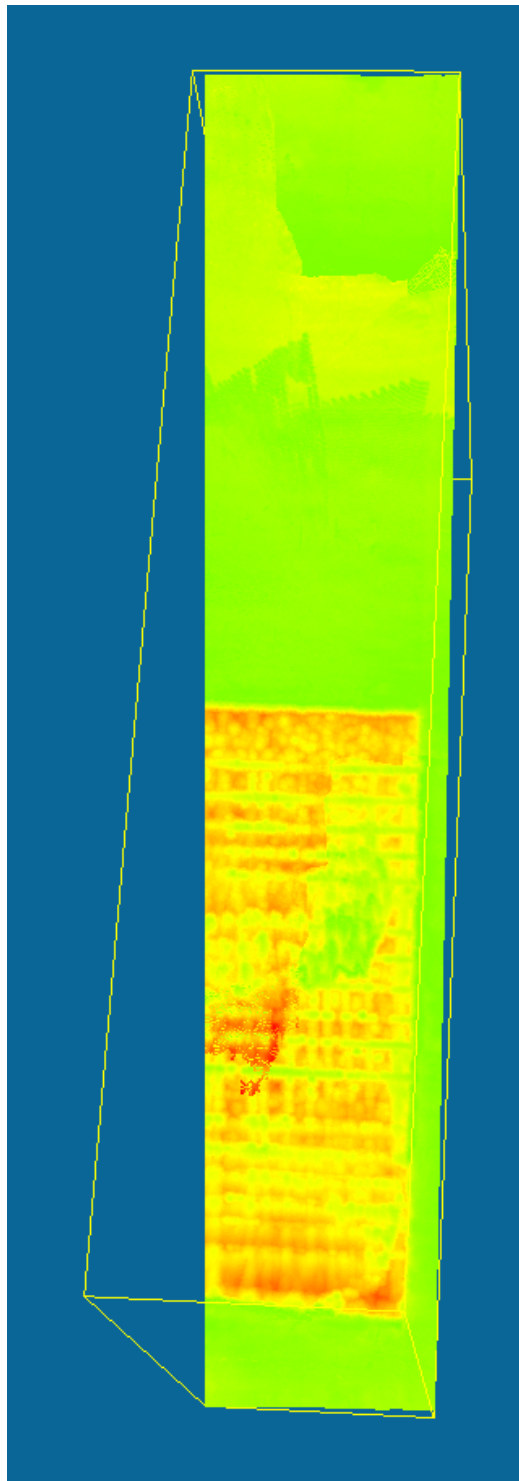
Figur 6.12: Resultat etter avstandsberging mellom punktsky og mesh for den andre skanningen med DPI-8 og laserdataene. Figuren er rotert 90° med klokken

C2M signed distances (34311367 values) [256 classes]



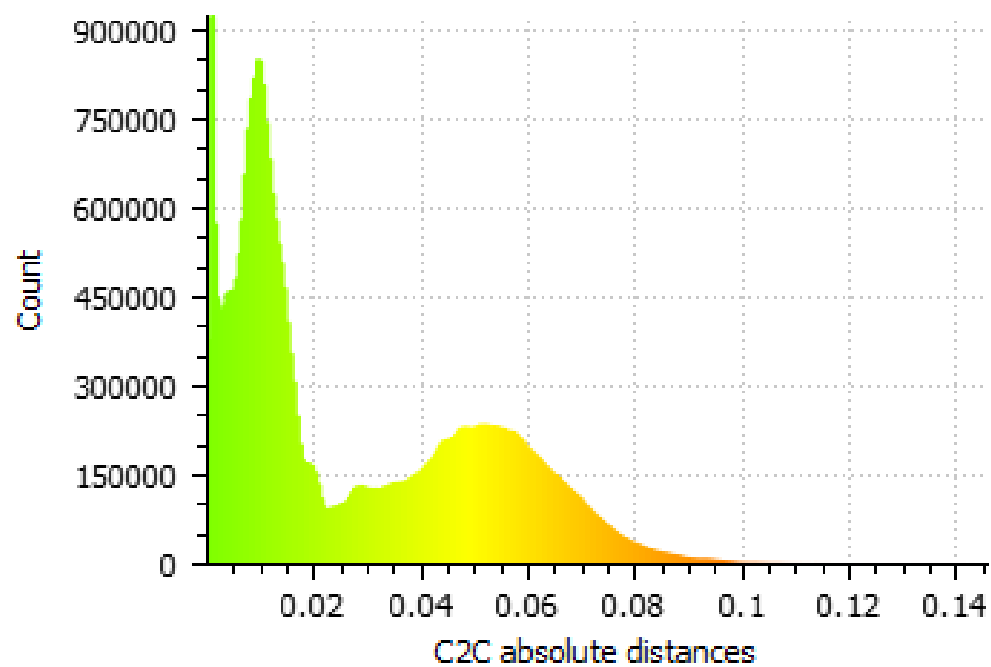
Figur 6.13: Tilhørende histogram til figur 6.12

Det har blitt gjort en sammenligning mellom de to ulike skanningene med DPI-8. Dette ga en gjennomsnittlig avstand på 2.842 cm med et standardavvik på 2.352 cm (se figur 6.14 og 6.15). Sammenligner man figur 6.15 med 6.11 ser man at de er veldig like.



Figur 6.14: Resultat fra avstandsberegning mellom punktskyene til skanning 1 og skanning 2 med DPI-8. Figuren er rotert 90° med klokken

C2C absolute distances (34311367 values) [256 classes]



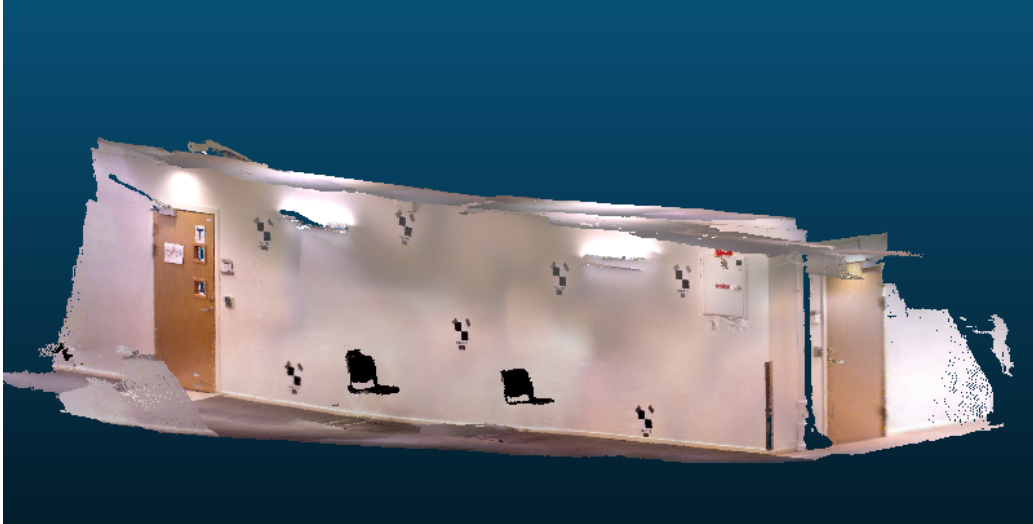
Figur 6.15: Tilhørende histogram til figur 6.14

6.3 TF

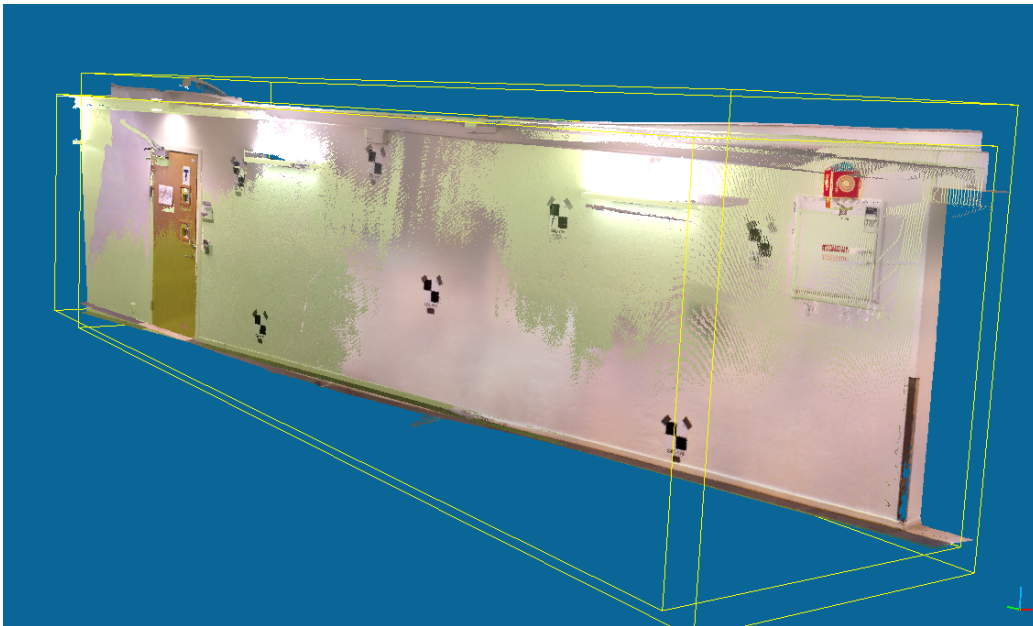
Man kan se klart og tydelig at det har skjedd noe feil ved den første skanningen på TF(figur 6.16). Sannsynligvis kommer dette som følge av lang tidsbruk under skanningen. Etter optimaliseringen blir resultatet litt bedre visuelt, men man kan fortsatt se store skjevheter i punktskyen. Dette kan man se i figur 6.18 og 6.19. Selv om dette datasettet ganske tydelig inneholder feil, er det allikevel foretatt en avstandsberegning. Denne avstandsberegningen gir et falskt godt resultat. Mellom punktskyene er gjennomsnittlig avstand beregnet til 5.04 mm med et standardavvik på 3.39 mm. Mellom punktsky og mesh er gjennomsnittlig avstand 1.42 mm med et standardavvik på 5.44 mm. Resultatet er godt fordi store deler av veggflaten er flat og jevn. Dette fører til at en liten forskyvning bare vil få utslag i de få områdene med utstikkende detaljer (se figur 6.20 og 6.22). Det kan man også se på histogrammene, da de fleste av punktene er sentrert rundt 0.



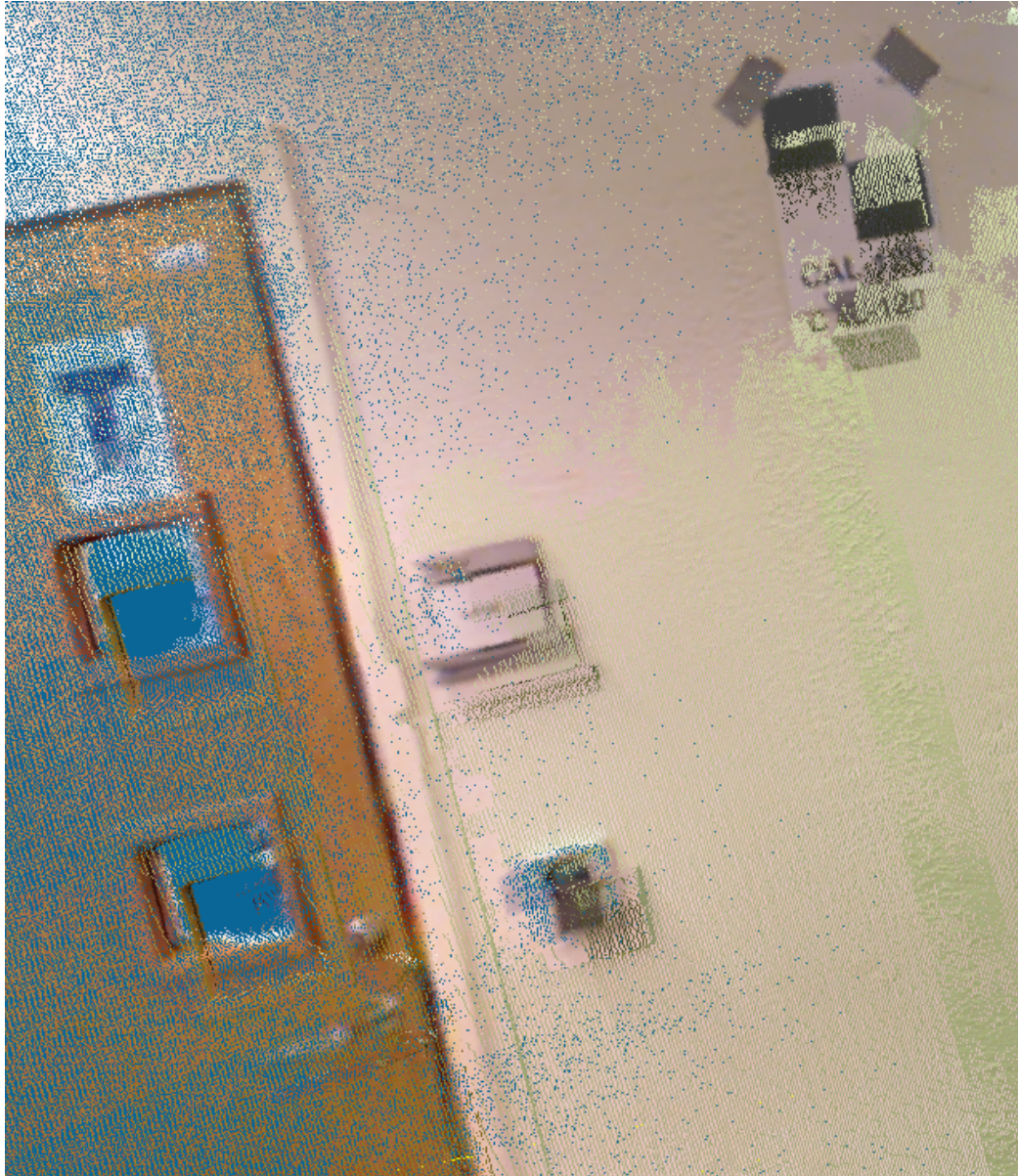
Figur 6.16: Første skanning med DPI-8, ikke optimalisert



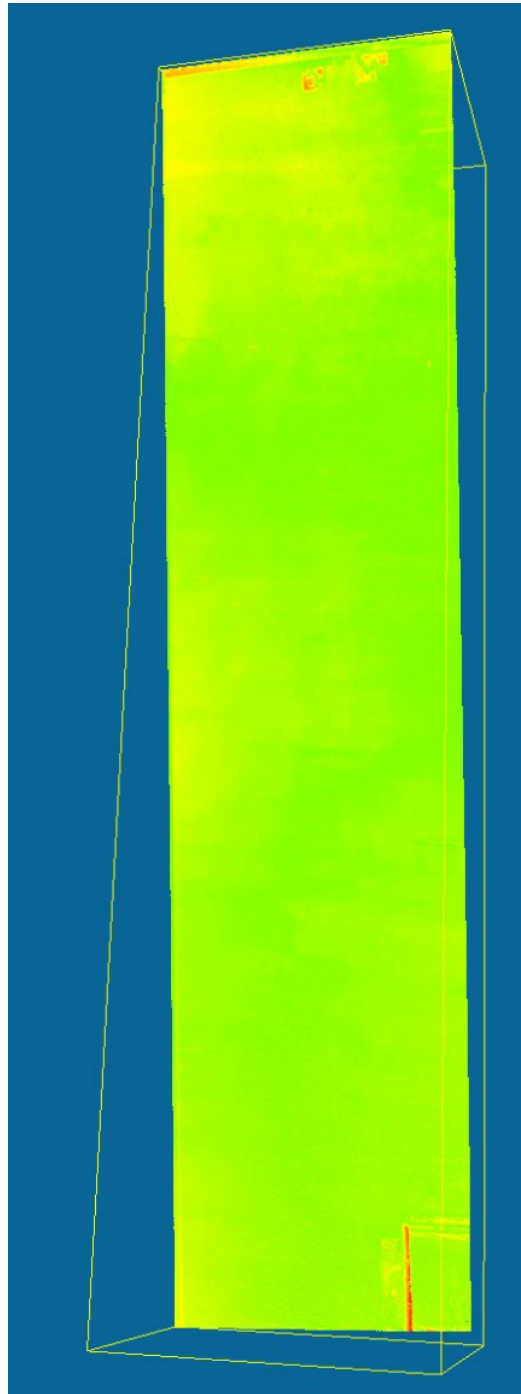
Figur 6.17: Første skanning med DPI-8, optimalisert



Figur 6.18: Laserdata og data fra DPI-8. Her ser man at det har blitt feil. Tak og gulv har forskyvninger og er ikke rett.

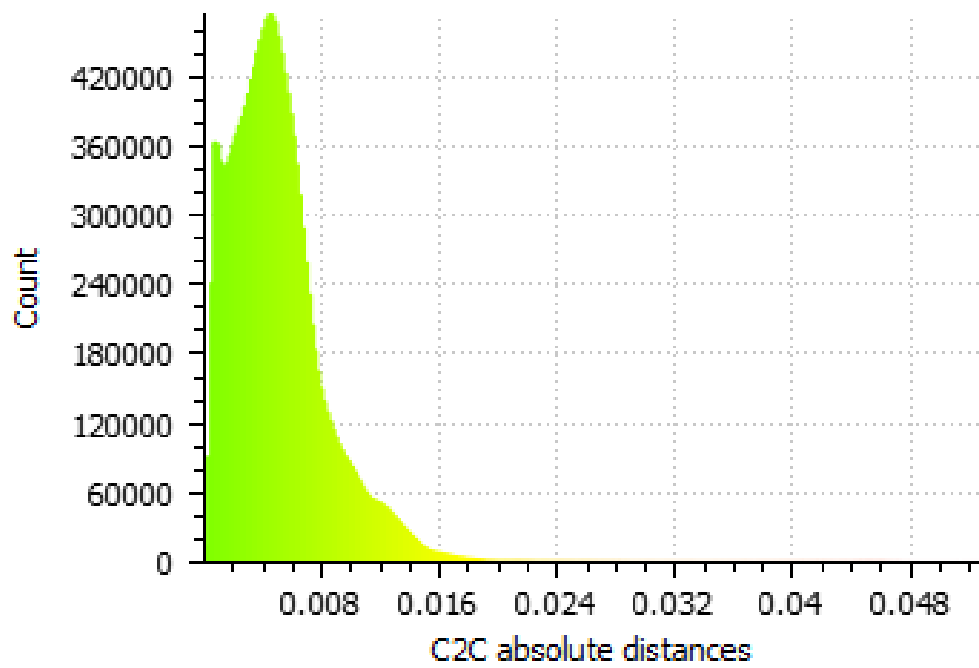


Figur 6.19: Detaljer som viser forskyvning og feil i punktstyken

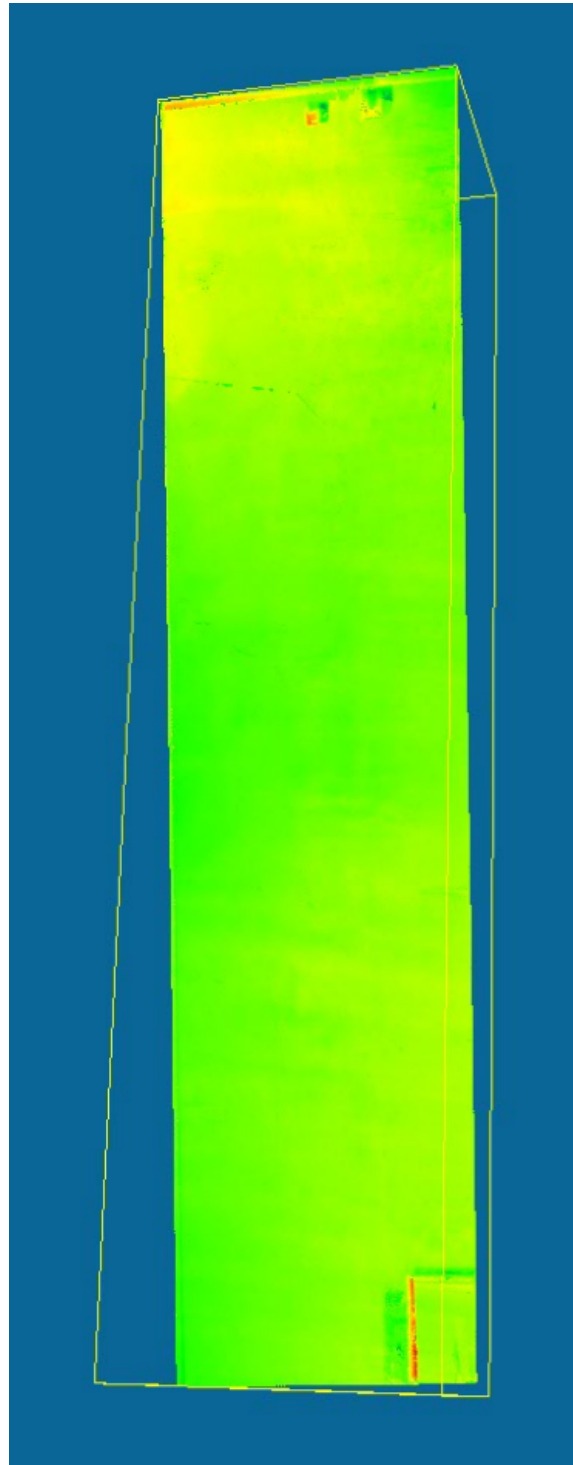


Figur 6.20: Resultatet fra sammenligning mellom punktskyene for den første skanningen med DPI-8 og laserdataene. Siden veggen er veldig jevn bortsett fra noen få partier, får man et tilsynelatende godt resultat. Man ser imidlertid at man får en rød fargekode der det er utstikkende detaljer. Figuren er rotert 90° med klokken

C2C absolute distances (15723729 values) [256 classes]

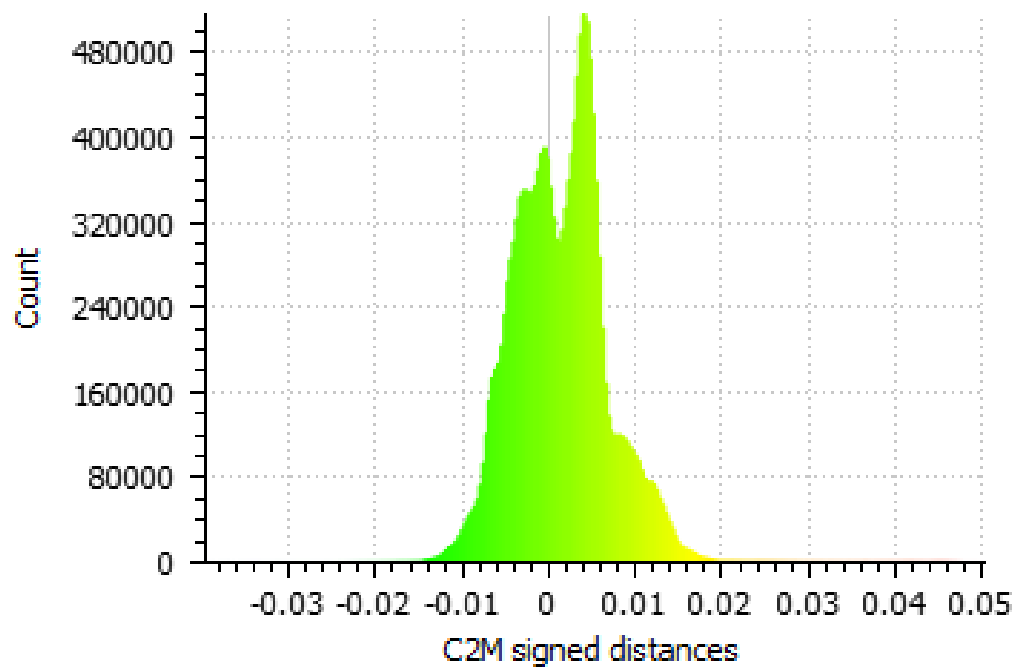


Figur 6.21: Histogram som samsvarer med figur 6.20



Figur 6.22: Sammenligning mellom punktsky og mesh av laserdata for den første skanningen med DPI-8 og laserdataene. Ser ganske likt ut som figur 6.20. Figuren er rotert 90° med klokken

C2M signed distances (15723729 values) [256 classes]



Figur 6.23: Histogram som hører til figur 6.22

Siden den første skanningen i TF ble mindre vellykket har det blitt utført en ny skanning, både med DPI-8 og med laser. Etter en rask visuell sjekk, ser denne skanningen mye bedre ut enn den forrige. Det er ikke like mye skjevheter og uregelmessigheter i dette datasettet. Visuelt ser man også at optimaliseringen uten targets (figur 6.25) er veldig lik den samme optimaliseringen som er gjort med hensyn på AprilTags (figur 6.26). Det er ingen synlige forskjeller mellom disse to.



Figur 6.24: Andre skanning med DPI-8, ikke optimalisert



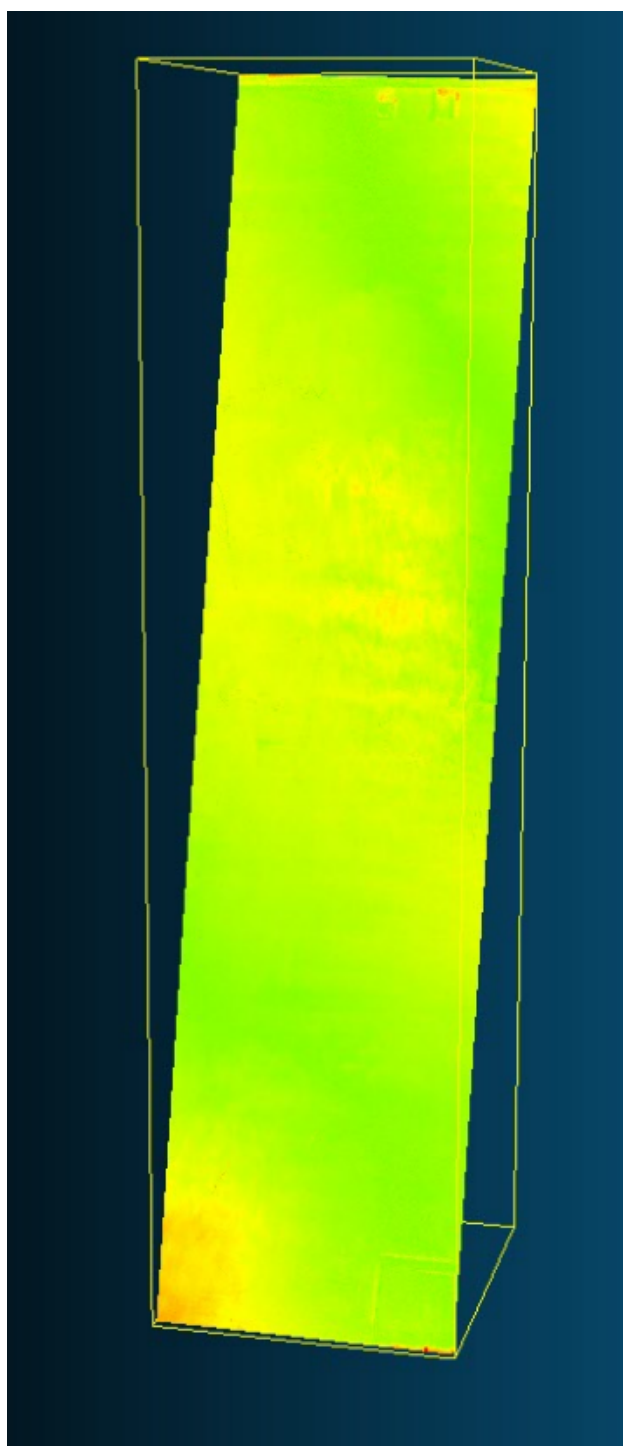
Figur 6.25: Andre skanning med DPI-8, optimalisert



Figur 6.26: Andre skanning med DPI-8, optimalisert med apriltags

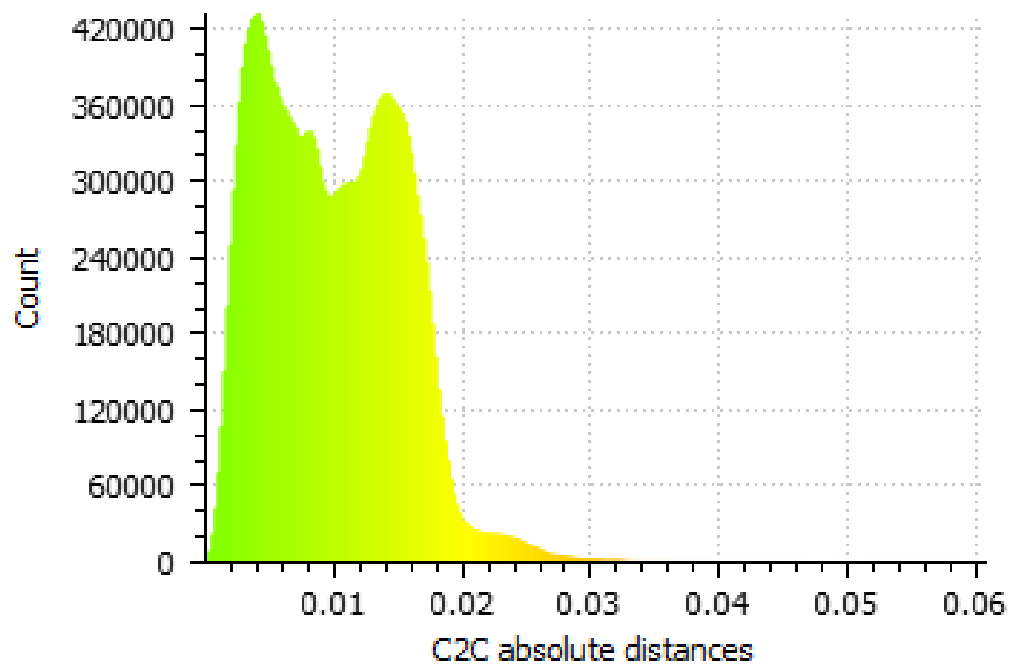
Figur 6.27 og 6.28 viser resultat av avstandsberegningen mellom punkt-skyen til laserskanningen og punkt-skyen fra DPI-8. Den gjennomsnittlige avstanden er beregnet til 9.94 mm med et standardavvik på 5.32 mm. Dette er nesten dobbelt så stort som den forrige skanningen, som man vet er dårlig. Fargene her viser ingen spesifikke steder med store utslag slik som i 6.20. Det er allikevel et litt rart mønster på hvor feilene befinner seg. Det er et felt oppe til venstre, et skrått felt på midten og et felt nede i det høyre hjørnet. Dette kan kanskje være på grunn av at laserskanneren stod nærme veggen, og fikk veldig skrå avstand på punktene ved hjørnene. Eller det kan rett og slett være som en følge av at det er en hvit flat bakgrunn som er vanskelig å skanne med DPI-8.

Tabell 6.6 viser at den optimaliserte punkt-skyen har en total RMS på 2.6 cm. Dette kan tyde på at det har skjedd noe med skanningen. Av histogrammet (figur 6.28) ser man at en stor del av punktene ligger mellom 0 og 2 cm. Dette gir en indikasjon på at det er overflaten som kan være grunnen.



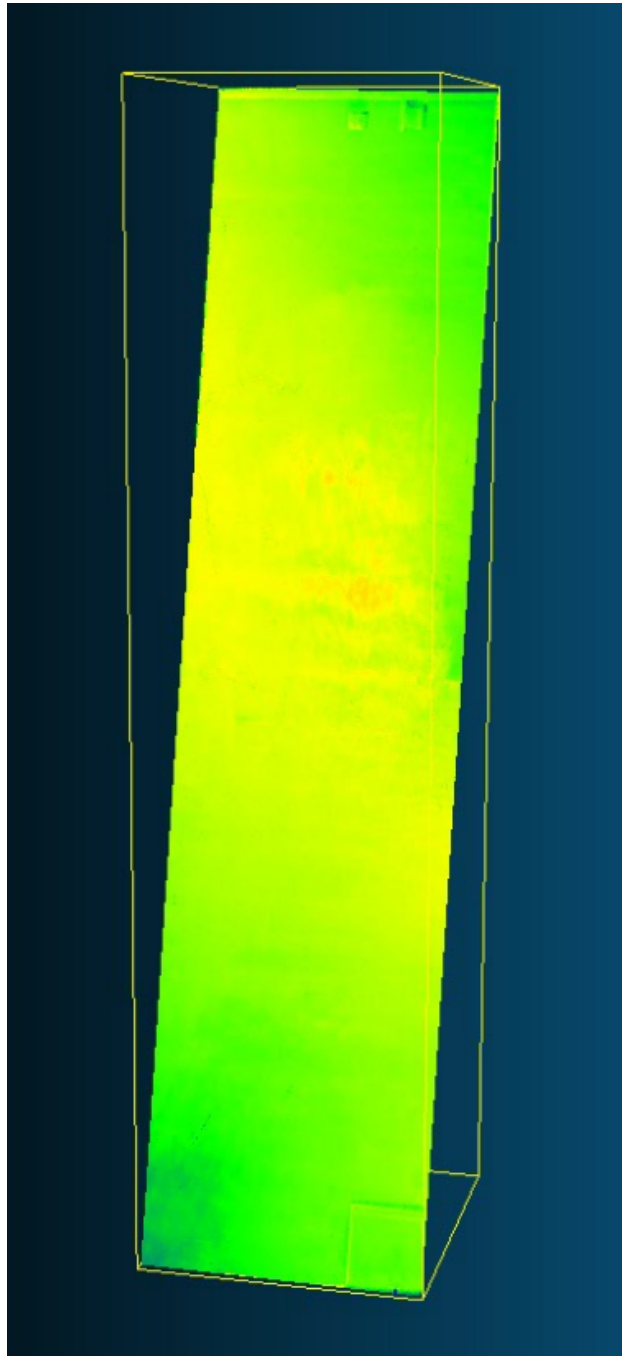
Figur 6.27: Resultat av punktsky til punktsky analyse mellom den andre skanningen med DPI-8 og laserdataene. Figuren er rotert 90° med klokken

C2C absolute distances (24425506 values) [256 classes]



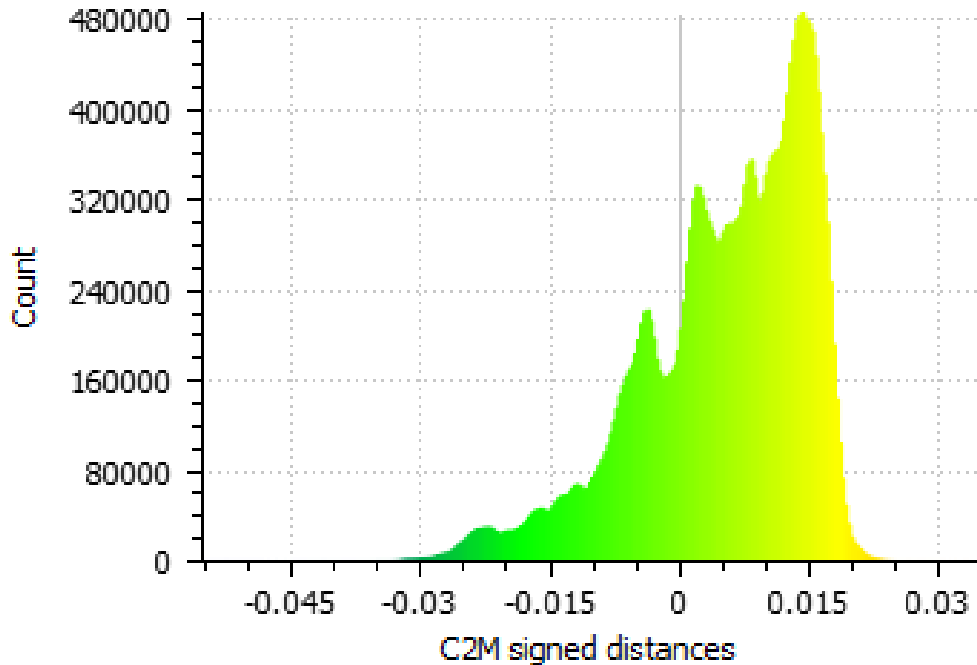
Figur 6.28: Histogram til 6.27

Resultatene med beregning mellom punktsky og mesh (figur 6.29 og 6.30) er ganske lik den mellom punktskyene. Den har en gjennomsnittlig avstand på 5.27 mm med et standardavvik på 9.67 mm. Avstanden er lavere, men standardavviket er høyere.



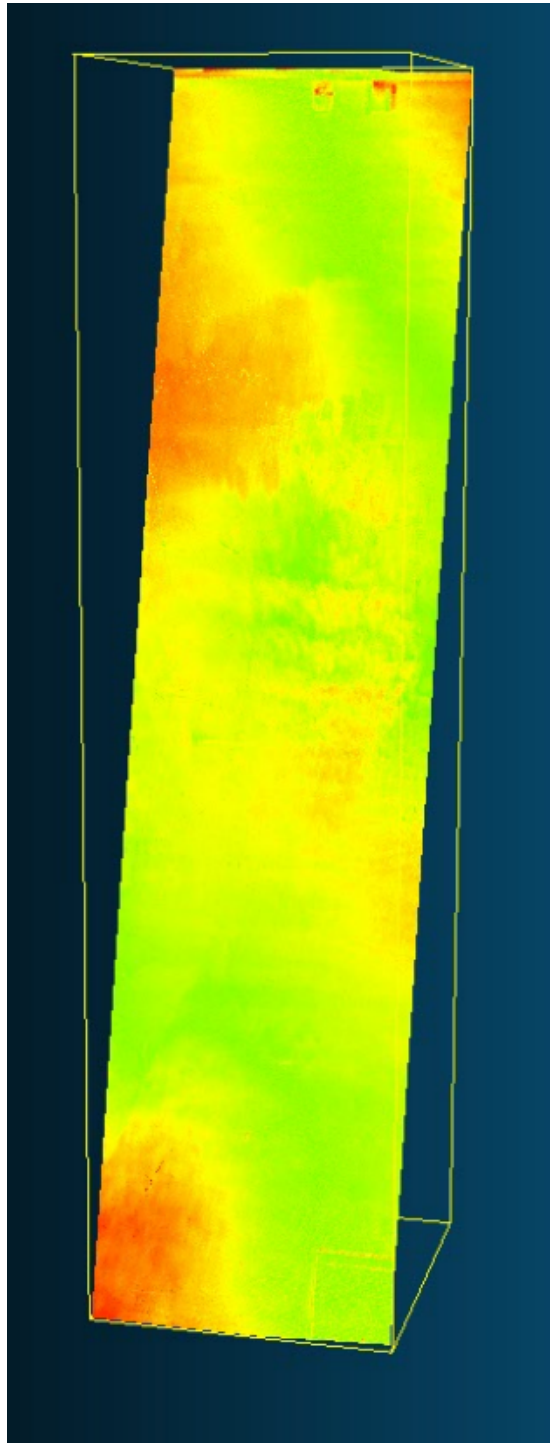
Figur 6.29: Resultat fra beregning mellom punktsky og mesh for den andre skanningen med DPI-8 og laserdataene. Figuren er rotert 90° med klokken

C2M signed distances (24425506 values) [256 classes]



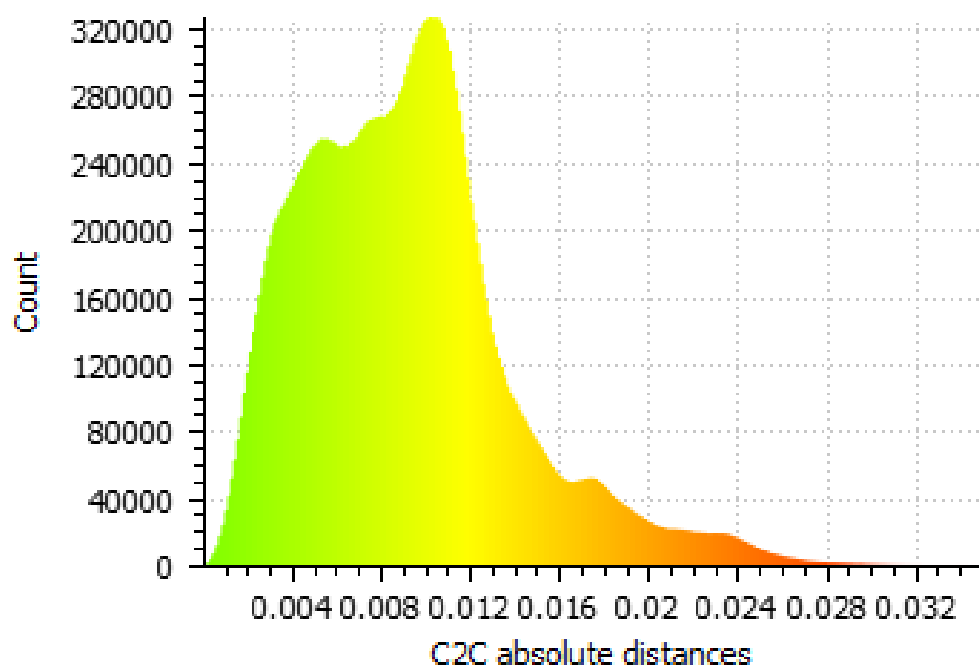
Figur 6.30: Histogram til figur 6.29

Beregningen som er utført når punktskyen er optimalisert med tanke på apriltags skiller seg ikke så veldig mye fra den som ikke er det. For beregningen mellom punktskyene, er den gjennomsnittlige avstanden beregnet til 9.12 mm med et standardavvik på 4.72 mm. For beregningen mellom punktsky og mesh, er resultatet 4.84 mm med et standardavvik på 8.73 mm. Dette er mindre enn en mm forskjell fra de forrige beregningene. Resultatene vises i figur 6.31, 6.32, 6.33 og 6.34. Fordelingen av punkter er også ganske lik, bortsett fra for mesh. Der har en overvekt av punktene rundt 1 cm avstand.

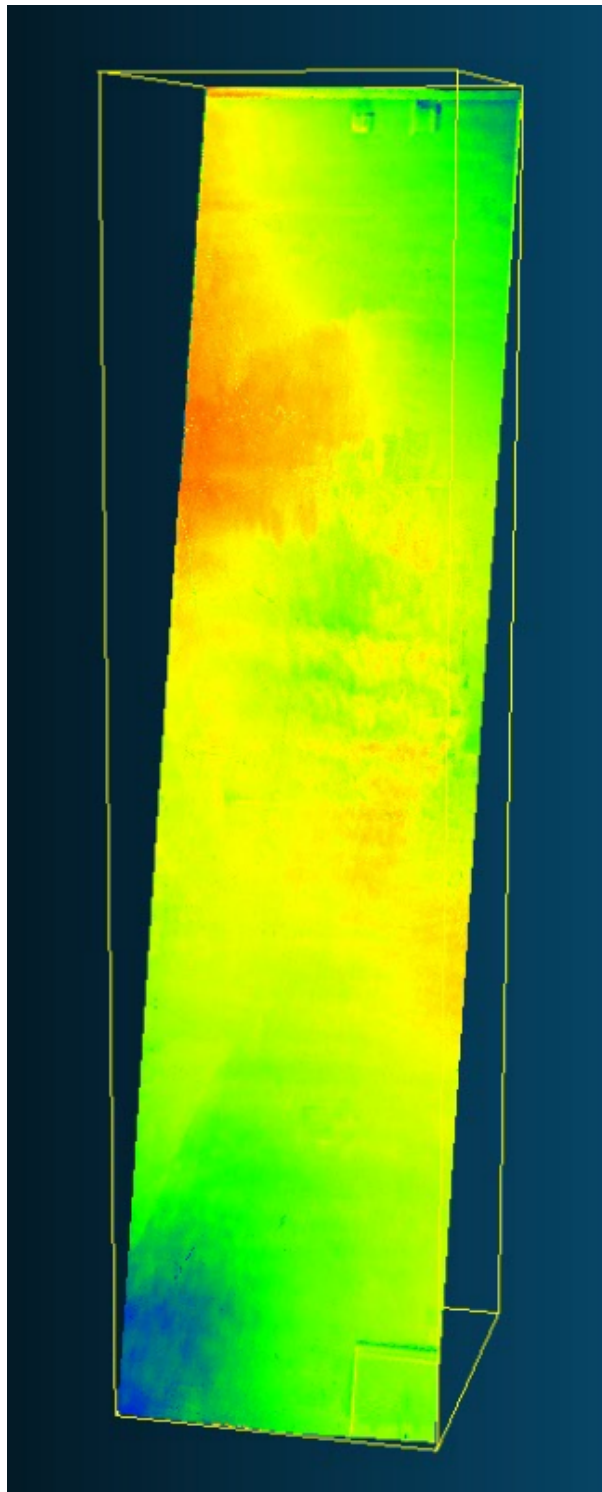


Figur 6.31: Resultat etter punktsky til punktsky beregning for den andre skanningen med DPI-8 og laserdataene, der apriltags er brukt under optimalisering. Figuren er rotert 90° med klokken

C2C absolute distances (24407748 values) [256 classes]

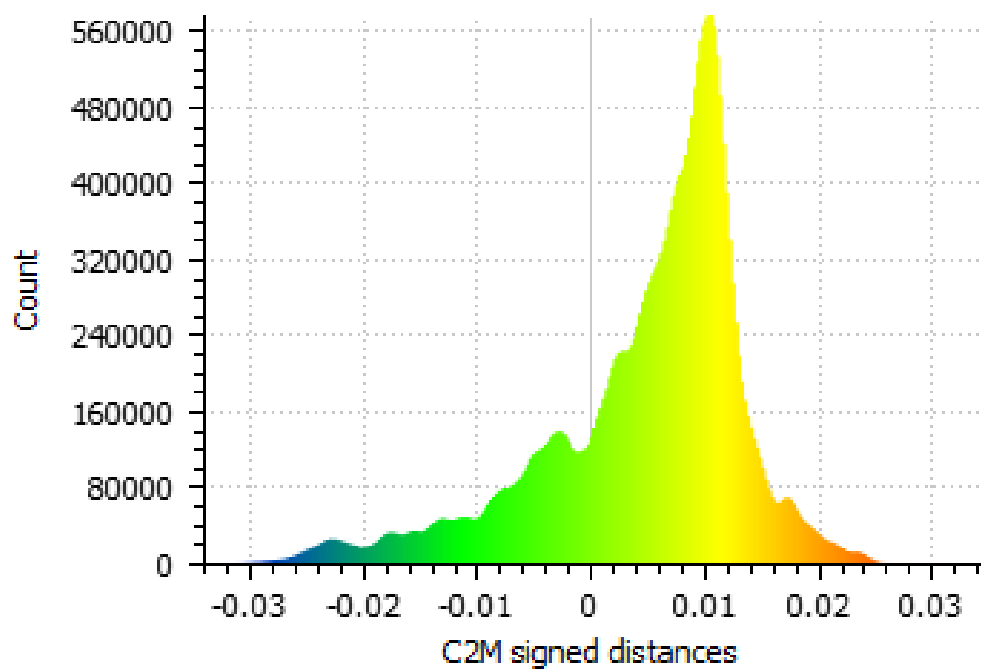


Figur 6.32: Histogram til figur 6.31



Figur 6.33: Resultat etter mesh til punktsky beregning for den andre skanningen med DPI-8 og laserdataene, der apriltags er brukt under optimalisering. Figuren er rotert 90° med klokken

C2M signed distances (24407748 values) [256 classes]



Figur 6.34: Histogram til figur 6.33

Skanning	Metode	Gj. avstand (m)	Standardavvik (m)
Skann 1S	Cloud-Cloud	0.0077	0.0048
Skann 1S	Cloud-Mesh	-0.0011	0.0079
Skann 2S	Cloud-Cloud	0.0336	0.0291
Skann 2S	Cloud-Mesh	-0.0219	0.0387
Skann 1S, 2S	Cloud-Cloud	0.2842	0.0235
TF 1	Cloud-Cloud	0.0050	0.0034
TF 1	Cloud-Mesh	0.0014	0.0054
TF 2	Cloud-Cloud	0.0099	0.0053
TF 2	Cloud-Mesh	0.0053	0.0097
TF 2	Cloud-Cloud AT	0.0091	0.0047
TF 2	Cloud-Mesh AT	0.0048	0.0087

Tabell 6.7: Viser en oversikt over gjennomsnittlig avstand med standardavvik mellom de ulike skanningene. Skanning angir hvilken målesesjon det ble skannet ved. S betyr Smestadtunnelen. Metode angir hvilket metode som er brukt for beregning av gjennomsnittlig avstand. AT betyr at punktskyen er optimalisert med hensyn på AprilTags.

Kapittel 7

Diskusjon

Skanningen i Smestadtunnelen er skannet på en ruglete og ujevn overflate. Denne type overflate er lett å skanne med DPI-8, sammenlignet med veggen på TF. Den er hvit, jevn og uten mye utstikkende detaljer. For å gjennomføre skanningen ble det derfor nødvendig å sette opp noen stoler på gulvet foran veggen for å få dybde i skanningen. De ulike overflatene som har blitt skannet er også skannet under forskjellige forhold. Skanningen i Smestadtunnelen har variende lys- og temperaturforhold. Inne på TF er dette stabilt. Den store forskjellen mellom skanningene er hvordan de er blitt koblet sammen. I Smestadtunnelen er de koblet sammen ved hjelp av georeferering, men på TF er de koblet sammen ved hjelp av felles punkter. Dataene fra Smestadtunnelen har derfor ikke en like direkte kobling til hverandre, slik som dataene fra TF. Dette er en potensiell feilkilde. Siden målinger med totalstasjon har veldig god nøyaktighet, beskriver transformasjonen mellom DPI-8 skanningen i Smestadtunnelen og laserskanningen fra samme sted DPI-8 sin nøyaktighet.

I tabell 6.1 og 6.2 ser man RMS-verdiene for den første målingen i tunnelen. Disse verdiene ligger noe høyt før modellen er blitt optimalisert. Etter dette er den totale RMS-verdien på 7.5 og 9 mm. Dette svarer med forventningene fra figur 3.2. I tabell 6.3 og 6.4 er RMS-verdiene høyere for det ene datasettet. Det er fortsatt slik at den optimaliserte punktskyen får en mye lavere RMS-verdi for alle punkter. Den totale RMS-verdien er på 5.3 mm for den første delen av skanningen, og 1.68 cm for den andre. Dette er resultater som er forventet, da DPI-8 er svært avhengig av avstand. At den totale RMS-verdien er mye høyere for den andre delen av skanningen kan skyldes at det er flere punkt som er involvert i denne transformasjonen.

For TF sier RMS-verdiene noe om forholdet mellom laserskanning og skanning med DPI-8. Siden disse har en direkte kobling via fellespunkter, forteller også RMS-verdiene noe om nøyaktigheten til DPI-8. Det må poeng-

teres at siden disse punktene er plukket ut manuelt, og punkttettheten til laserskanneren ikke er like høy som for DPI-8 dataene, er det vanskelig å velge eksakt samme punkt. For den første skanningen (tabell 6.5) ser man at RMS-verdiene er veldig store. De varierer mellom 2 og 9 cm, og den totale RMS er på 5.46 cm. Dette er forventet, siden man tydelig kan se at punktskyen ikke er korrekt. For den andre skanningen av TF er RMS-verdiene ganske mye høyere enn for Smestadtunnelen. Den totale RMS-verdiene ligger på 2.62 cm for den optimaliserte punktskyen, og 2.83 cm for den punktskyen som er optimalisert med hensyn på AprilTags. Dette er verdier som er høyere enn forventet. Det kan skyldes at objektet er såpass flatt og har en veldig lys farge, slik at det blir vanskelig å skanne. Det kan ha vært en dårlig utført skanning. Med tanke på at måleteknikken ikke er endret siden måling i Smestadtunnelen, er det sistnevnte lite sannsynlig. En annen mulig forklaring er at laserskanneren har stått ganske nærme veggen den har skannet. Sannsynligvis er grunnen til at det er et dårligere resultat enn den i Smestadtunnelen, overflaten.

Videre er det foretatt en segmentering av punktskyene. Segmenteringen blir lik for alle punktskyene i det samme koordinatsystemet. En feil i georeferering, plassering eller transformasjon mellom de ulike punktskyene vil kunne føre til feil i sammenligningen. Dette ser man har skjedd i figur 6.20 og 6.22.

Etter segmenteringen er det gjort en avstandsberegning mellom punktskyene og mellom en punktsky og en mesh av laserdataene. Avstandsberegningene mellom punktskyene har brukt en nærmeste nabo funksjon for å bestemme avstanden. Denne avstanden blir oppgitt som absolutt. Når beregningen gjøres mellom punktsky og mesh, får man et definert plan. Dette fører til at man får retningsbestemt avstand. Gjennomsnittsavstanden vil derfor kunne være lavere, men man får et høyere standardavvik. Hvis man bare tolker denne avstanden, kan den gi en kunstig trygghet om at dataene stemmer bedre enn de gjør.

Hvis man sammenligner gjennomsnittsavstandene som har blitt beregnet fra den første skanningen i Smestadtunnelen, med RMS-verdiene, så samsvarer dette ganske godt. Gjennomsnittsavstanden er nesten 8 mm, med et standardavvik på nesten 5 mm. De totale RMS-verdiene for tilhørende punktsky er 7.5 mm og 0.9 cm.

Sammenligner man resultatene fra den andre skanningen i Smestadtunnelen, og resultatet mellom den første og andre skanningen med DPI-8, får man også et godt samsvarende resultat, dog med et høyt standardavvik. Dette skyldes som sagt at et område har fått ekstra masse. Gjennomsnittlig avstand mellom laserpunktsky og DPI-8 punktsky er beregnet til 3.4 cm med et standardavvik på 2.9 cm. Mellom DPI-8 punktskyene er dette beregnet til 2.8 cm med et standardavvik på 2.4 cm. Dette betyr at det skiller 6 mm på

den gjennomsnittlige avstanden. Dette er også veldig likt den gjennomsnittlige avstanden mellom den første skanningen med DPI-8 og laserdataene.

Resultatene fra TF er også resultater som er forventet. Her har det vært vanskelig å få utført en skanning med DPI-8 på grunn av veggens egenskaper. Disse målingene blir dårligere enn målingene i Smestadtunnelen. Den gjennomsnittlige avstanden mellom punktskyen som er optimalisert for den andre målingen ved TF er på ca 1 cm, med et standardavvik på 5 mm. Det skiller bare 2.3 mm mellom dette resultatet og den tilsvarende beregningen i Smestadtunnelen. Det tyder på at overflaten har en betydning. Det er bare foretatt en måling, så hvis man skal dra noen kobling burde man kanskje ha utført flere målinger med forskjellig lysforhold og temperatur.

Målingene som er optimalisert med hensyn på AprilTags, skiller seg veldig lite ut i fra de som ikke er det. Den gjennomsnittlige avstanden er beregnet til 9.1 mm med et standardavvik på 4.7 mm. Forskjellen ligger på under 1 mm. Siden dette bare baserer seg på en måling, er det vanskelig å trekke en slutning. Men det virker fristende å si at bruk av AprilTags ikke har noen stor effekt på et så lite område som dette. Det er derimot nødvendig å gjøre flere målinger på ulike steder, men også ulike størrelser på det som blir skannet.

Beregningen mellom punktsky og mesh skiller mer. For TF er den beregnet til 5 mm med et standardavvik på 1 cm, men for Smestadtunnelen er den beregnet til -1 mm med et standardavvik på 8 mm. Dette avviket er stort. Det kan hende det skyldes metoden, eller det kan hende det skyldes at det er mye større utfordringer for å lage en god mesh i skanningen i Smestadtunnelen. Man burde kanskje ha laget en mesh av DPI-8 dataene, slik at man sammenlignet mellom disse. Man måtte da ha tynnet ut modellen kraftig, og med det kanskje ha mistet informasjon. Siden punkttettheten til modellene fra DPI-8 er såpass stor, er det ikke sikkert at en mesh hadde gitt et bedre resultat.

Kort oppsumert ser det ut som om resultatene speiler figur 3.2. Dette er et godt tegn, da dette er forventede verdier. RMS-verdiene samsvarer også med hva DotProduct sier om forventet nøyaktighet. De sier at typisk global nøyaktighet er mellom 0.2 % og 1.2 % av måleavstanden. RMS-verdien for skanningen i TF er i grenseland. For å bedre den globale nøyaktigheten skal det hjelpe med AprilTags. Dette er ikke tilfellet for den skanningen som er utført i TF, men det kan hende det bedrer nøyaktigheten hvis det er snakk om et opptak som går over et større område. En gjennomsnittlig avstandsforskjell mellom DPI-8 og laserdata på maksimum 1 cm for alle målesesjonene må også sies å være godt.

7.1 Skanning og datasett

Skanningen med DPI-8 er veldig intuitiv og går raskt å lære seg. For å få et godt resultat er det viktig at operatøren vet hva han gjør. Hvis man skal skanne store områder med lite utstikkende detaljer, er skanningen tidkrevende. Da vil det være mye raskere å bruke en laserskanner. Laserskanneren krever ingen lang oppvarming slik som DPI-8. Man kan imidlertid korte ned oppvarmingstiden, men da kanskje på tross av nøyaktighet. Dette er noe som bør testes. Med litt planlegging er ikke oppvarmingstiden på 20 min noe problem. Man får tilbakemelding på nøyaktigheten i form av en fargekode når man skanner. Det skal også være lett å se om dataene er gode eller ikke ute i felt. Dette mislyktes jeg med når jeg skannet på TF, og måtte derfor skanne på nytt.

Skal man georeferere punktskyen er man nødt til å måle koordinater til noen faste punkt. Må man uansett måle disse punktene, kan det være like greit å bruke en laserskanner, selv om prisen på en laserskanner er mye høyere enn for DPI-8. Har man målt inn koordinater til faste punkt, kan de enkelt importeres til nettbrettet. Hvis man skal bruke disse punktene til å georeferere punktskyen i Phi.3D, er fremgangsmåten noe tungvint. Man må manuelt trykke på bilder og sette koordinaten på mange punkter.

Siden skanningen er tidkrevende for store områder kan man tenke seg at den kan være bedre for små områder med mye kriker og kroker. Det kan også tenkes at DPI-8 kan være bra for supplering av manglende data fra en laserskanning. Hvis man har noen fellespunkter kan man klare å koble de sammen uten bruk av targets.

Batteritiden til DPI-8 er styrt av nettbrettet. For skanningene jeg har utført, har jeg ikke vært i nærheten av å gå tom for batteri. Hvis man skal skanne noe en hel dag, er det ikke sikkert at batteriet holder. Siden man bare får lisens til Phi.3D på en enhet, er det heller ikke mulig å koble til et nytt nettbrett hvis man skulle gå tom for batteri.

Opprinnelig skulle det også ha vært et datasett til, med laserskanning fra tiden etter at veggen i Smestadtunnelen ble sprøytet med betong. Siden oppdraget til Geomatikk Survey forandret seg, utgikk dette. Hvis dette hadde vært tilgjengelig kunne man også ha gjort en volumberegning med både laserskanning og DPI-8, og sammenlignet direkte mellom disse.

7.2 Problemer ved innlesing av data i CloudCompare

Selvom CloudCompare skal støtte DPI-8 sitt format, .dp, har ikke innlesningen av dette gått helt feilfritt. De filene som ikke er optimalisert med hard targetting og koordinater får feil koordinatverdier, og det blir hull i dataene når de blir lest inn som en .dp fil. Blir de eksportert til et av de andre tilgjengelige filformatene blir koordinatene rett, men man får fortsatt hull i modellen. Det har ikke kommet noen god løsning på dette problemet, så analysen har ikke fått vurdert data som er optimalisert med hard targetting. Dette er synd, da DotProduct hevder at disse dataene skal være bedre.

7.3 Styrker og svakheter ved analysemetodene

Analysemetodene som er brukt er beregning av RMS-verdier ut i fra transformasjon, gjennomsnittlig avstandsberegning mellom punktskyene, og gjennomsnittlig avstandsberegning mellom punktskyene til DPI-8 og en mesh av punktskyen til laserskanningen.

RMS-verdiene fra transformasjonen beskriver nøyaktigheten til forskjellige punkter i punktskyen. I dette tilfellet er alle de felles punktene brukt for å beregne transformasjonen. For et bedre vitenskapelig resultat, kunne man kanskje ha hatt noen ekstra punkter som ikke ble brukt i transformasjonen, men som ble brukt til å beregne RMS.

Avstandsberegningen mellom punktskyene bruker en enkel nærmeste nabo funksjon. Dette fører til at det er svært viktig at modellene er plassert riktig i forhold til hverandre. En liten forskyvning vil føre til at feil punkt sammenlignes med hverandre. Hvis det er mye detaljer vil også feil punkt kunne bli valgt. Siden det er så mange punkt vil ikke dette ha noe stort utslag. Avstanden som blir beregnet er den absolutte avstanden mellom punktene. Dette betyr at man ikke får noen indikasjon på hvor punktene er i forhold til hverandre.

Siden punktskyen fra laserskanneren har mye lavere punkttetthet enn den andre punktskyen, har den blitt gjort om til en mesh ved hjelp av en delaunay triangulering. For denne oppgavne ble det valgt å beregne denne ved å bruke det best passende planet istedenfor XY-planet. Dette fordi XY-planet veggen er det mest interessante området, og mesteparten av det befinner seg ikke i XY-planet. Avstanden som blir beregnet, er en retningsbestemt avstand mellom mesh og punktsky. Dette betyr at man kan få en liten indikasjon på

hvor punktene er i forhold til hverandre. På den annen side kan dette gi et feil inntrykk av resultatene, forskjeller på begge sider kan nullstille hverandre og gi en kunstig lav verdi.

7.4 Forslag til videre arbeid

Siden dette er et fagfelt som er i stadig utvikling, vil det være behov for å arbeide videre med lignende teknologi. Det kommer stadig nye typer håndholdte 3D-skannere, og det kunne vært interessant å sammenligne de med hverandre. For analyse av DPI-8, kan det være interessant å se nærmere på effekten av de ulike optimaliseringsteknikkene, og også effekten av å bruke AprilTags i større punktskyer.

Det går også an å undersøke om det finnes noen tendens i X, Y eller Z retning. CloudCompare har mulighet til å vise en skalarfarge for hver retning, men gir ikke tallverdier. Det kunne derfor vært interessant å undersøkt andre typer programvare som ikke er et åpent kildekode-program.

Videre kunne det vært interessant å se på forskjell i nøyaktighet for skanning av ulike objekter og rom, eller man kan undersøke hvordan oppvarming av sensoren påvirker måleresultatene. Videre kan man undersøke muligheten for, og eventuelt bygge et system som bruker flere strukturert-lys sensorer samtidig.

Kapittel 8

Konklusjon

Det lar seg gjøre å bruke DPI-8 i tunnel, men hvis man skal bruke den til å skanne store veggflater vil det trolig være mye mer effektivt å bruke en laserskanner. For mindre områder med kriker og kroker, som krever mange oppstillinger med laserskanner, kan det hende at DPI-8 vil være raskere. DPI-8 har potensiale til å kunne bli brukt til å gjøre supplerende målinger

Nøyaktigheten til DPI-8 er undersøkt, og den tilfredsstillende den opplyste nøyaktigheten på 0.2 % til 1.2 % av avstanden fra skanneren til det skannede objektet. Siden det er en håndholdt skanner som er basert på IR, varierer nøyaktigheten etter avstand til objekt. Dette kan operatøren i stor grad styre. Operatøren har mulighet til å sette en avstandsverdi slik at skanneren ikke skanner noe bak denne avstanden, og på den måten sikre nøyaktigheten.

Det virker også som om overflaten til det skannede objektet har mye å si for nøyaktigheten. Det er bare foretatt en skanning som viser dette, og for å si noe med 100 % sikkerhet bør man ha gjort flere skanninger. Eventuelt kan man ha flere forskjellige overflater i samme skanning, for så å se på nøyaktighetsforskjellene i disse områdene. Det skal også sies at hvis man har lite utstikkende detaljer, vil DPI-8 slite med å skanne. Dette fører til økt tidsbruk, som igjen fører til lavere nøyaktighet.

Bibliografi

- Aarnes, J. F. (2009). Kvaternioner. <https://snl.no/kvaternioner>. [Online; accessed 31-March-2016].
- Andersen, y. (1999). *Orientering i stereoinstrument*. Institutt for karfag, NLH.
- C. COȘARCĂ, A. JOCEA, A. S. (2009). Analysis of error sources in terrestrial laser scanning. http://www.uab.ro/geocad/upload/18_144_Paper11_RevCAD09_2009.pdf. [Online; accessed 27-April-2016].
- Chow, J. C. and Lichti, D. D. (2013). Photogrammetric bundle adjustment with self-calibration of the primesense 3d camera technology: Microsoft kinect. *Access, IEEE*, 1:465–474.
- DotProduct LLC (2015). Dpi-7/8 imager user manual phi.3d v2.0.
- Endres, F., Hess, J., Engelhard, N., Sturm, J., and Burgard, W. (2012a). Openslam. <https://openslam.org/rgbdslam.html>. [Online; accessed 25-April-2016].
- Endres, F., Hess, J., Engelhard, N., Sturm, J., Cremers, D., and Burgard, W. (2012b). An evaluation of the rgb-d slam system. In *Robotics and Automation (ICRA), 2012 IEEE International Conference on*, pages 1691–1696. IEEE.
- FARO (2014). Faro laser scanner focus 3d x 130. <http://www.laserscanning-europe.com/en/system/files/04REF201-420-EN%20-%20FARO%20Laser%20Scanner%20Focus3D%20X%20130%20Tech%20Sheet.pdf>. [Online; accessed 26-April-2016].
- Fiedler, D. and Müller, H. (2013). Impact of thermal and environmental conditions on the kinect sensor. In *Advances in Depth Image Analysis and Applications*, pages 21–31. Springer.

- Fofi, D., Sliwa, T., and Voisin, Y. (2004). A comparative survey on invisible structured light. In *Electronic Imaging 2004*, pages 90–98. International Society for Optics and Photonics.
- Frati, V. and Prattichizzo, D. (2011). Using kinect for hand tracking and rendering in wearable haptics. In *World Haptics Conference (WHC), 2011 IEEE*, pages 317–321. IEEE.
- Freedman, B., Shpunt, A., Machline, M., and Arieli, Y. (2012). Depth mapping using projected patterns. US Patent 8,150,142.
- Girardeau-Montaut, D. et al. Cloudcompare user’s manual for version 2.6.1.
- Girardeau-Montaut, D. (2011). Cloudcompare-open source project. *Open-Source Project*.
- Horn, B. K. (1987). Closed-form solution of absolute orientation using unit quaternions. *JOSA A*, 4(4):629–642.
- Isaac, M. and Paczkowski, J. (2013). Apple confirms acquisition of 3-d sensor startup primesense. <http://allthingsd.com/20131124/apple-confirms-acquisition-of-3d-sensor-startup-primesense/>. [Online; accessed 18-January-2016].
- Kartverket. Euref89 ntm (norsk transversal mercator) sone 5 - 30. <http://www.kartverket.no/globalassets/posisjonstjenester/euref89ntmbeskrivelse.pdf>. [Online; accessed 11-Mai-2016].
- Khoshelham, K. (2011). Accuracy analysis of kinect depth data. In *ISPRS workshop laser scanning*, volume 38, page W12.
- Matt J (2009). Absolute orientation - horn’s method. <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/26186-absolute-orientation-horn-s-method>. [Online; accessed 28-April-2016].
- Riisgaard, S. and Blas, M. R. (2003). Slam for dummies. *A Tutorial Approach to Simultaneous Localization and Mapping*, 22(1-127):126.
- Smisek, J., Jancosek, M., and Pajdla, T. (2013). 3d with kinect. In *Consumer Depth Cameras for Computer Vision*, pages 3–25. Springer.
- Statens Strålevern (2014). Laserklasser. <http://www.nrpa.no/fakta/90813/laserklasser/>. [Online; accessed 27-January-2016].

- Thrun, S., Burgard, W., and Fox, D. (2005). *Probabilistic robotics*. MIT press.
- Trimble (2012). Datasheet trimble tx5 scanner. http://mep.trimble.com/sites/mep.trimble.com/files/marketing_material/Datasheet-TX5_scanner.pdf. [Online; accessed 26-April-2016].
- Van Genechten, B. (2008). *Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning: Training material based on practical applications*. Universidad Politecnica de Valencia Editorial.
- Vosselman, G. and Maas, H.-G. (2010). *Airborne and terrestrial laser scanning*. Whittles Publishing.
- Zhang, Z. (2012). Microsoft kinect sensor and its effect. *MultiMedia, IEEE*, 19(2):4–10.

Tillegg A

**Test sertifikat fra
DotProduct3D**



Real Time • Mobile • 3D

Test Certificate

Date of test: April 14, 2015
Data File Name: Imhst
Software Version: Ph3D 2.02
Calibration File: 201411545

The above referenced unit was tested at a DoProduct testing facility using surveyed-in targets as reference data only (not to align images). Single-frame images were taken and the distances between targets were recorded and compared to the survey results. The analysis matrix for various distances is provided below.
Note: As the distance from the targets is reduced, fewer targets are in the field of view. All measurement units are in millimeters (mm).

	A009	A010	A013	A014	B002	B003
A009	0	-0.2	-1.64	-1.28	-2.53	-3.29
A010	-0.2	0	-1.97	-2.26	-2.83	-3.55
A013	-1.64	-1.97	0	-0.47	-0.81	-1.96
A014	-1.28	-2.26	-0.47	0	-1.12	-1.23
B002	-2.53	-2.83	-0.81	-1.12	0	-2.29
B003	-3.29	-3.55	-1.96	-1.23	-2.29	0

Mean Error: -1.830
RMS Error: 2.066
Mean Abs. Error: 1.830
Mean Abs. Relative Error (%): 0.324
Maximum Error: 3.546
Maximum Relative Error (%): 0.733

This test was performed by: Alan Cawley

Signature:



Real Time • Mobile • 3D

Test Certificate

Date of test: April 14, 2015
Data File Name: 2m.txt
Software Version: PH.3D 2.0.2
Calibration File: 201411545

The above referenced unit was tested at a DotProduct testing facility using surveyed-in targets as reference data only (not to align images.) Single-frame images were taken and the distances between targets were recorded and compared to the survey results. The analysis matrix for various distances is provided below.
Note: As the distance from the targets is reduced, fewer targets are in the field of view. All measurement units are in millimeters (mm).

	A009	A010	A012	A013	A014	A016	A017	B001	B002	B003
A009	0	-0.77	-2.56	-0.8	-0.21	-9.96	-8.33	-3.18	-0.03	-2.18
A010	-0.77	0	-3.68	-1.71	-0.34	-11.84	-9.71	-4.84	-2.11	-3.56
A012	-2.56	-3.68	0	-3.13	-5.95	-7.24	-8.36	-0.74	-0.47	-3.49
A013	-0.8	-1.71	-3.13	0	-0.81	-9.74	-7.41	-3.46	-0.37	-1.15
A014	-0.21	-0.34	-5.95	-0.81	0	-12.03	-9.95	-5.24	-2.74	-3.21
A016	-9.96	-11.84	-7.24	-9.74	-12.03	0	-7.91	-6.5	-9.92	-9.26
A017	-8.33	-9.71	-8.36	-7.41	-9.95	-7.91	0	-7.74	-9.14	-6.14
B001	-3.18	-4.84	-0.74	-3.46	-5.24	-6.5	-7.74	0	-2.40	-3.83
B002	-0.03	-2.11	-0.47	-0.37	-2.74	-9.92	-9.14	-2.40	0	-3.02
B003	-2.18	-3.56	-3.49	-1.15	-3.21	-9.26	-6.14	-3.83	-3.02	0

Mean Error: -4.770
RMS Error: 5.935
Mean Abs. Error: 4.770
Mean Abs. Relative Error (%): 0.381
Maximum Error: 12.030
Maximum Relative Error (%): 0.726

This test was performed by: Alan Cawley

Signature:



Real Time • Mobile • 3D

Test Certificate

Date of test: April 14, 2015
Data File Name: 3m.m
Software Version: Ph.3D 2.0.2
Calibration File: 201411545

The above referenced unit was tested at a DptProduct testing facility using surveyed-in targets as reference data only (not to align images.) Single-frame images were taken and the distances between targets were recorded and compared to the survey results. The analysis matrix for various distances is provided below.
Note: As the distance from the targets is reduced, fewer targets are in the field of view. All measurement units are in millimeters (mm).

	A004	A005	A006	A007	A008	A009	A010	A011	A012	A013	A014	A015	A016	A017	A018	A019	A020	B001	B002
A004	0	-3.8	-5.71	-10.03	-9.64	-7.19	-12.33	-5.98	-5.74	-8.59	-14.1	-6.11	-15.35	-15.35	-8.73	-12.18	-11.5	-5.45	-9
A005	-3.8	0	-3.18	-7.82	-7.29	-4.23	-9.5	-1.62	-1.89	-5.23	-10.93	0.67	-11.34	-11.04	-11.33	-10.83	-10.89	-0.86	-5.12
A006	-5.71	-3.18	0	-4.25	-3.9	-1.72	-6.15	-4.8	-1.14	-2.26	-7.25	0.47	-11.74	-9.55	-10.75	-7.66	-7.69	-0.51	-3.29
A007	-10.03	-7.82	-4.25	0	0.42	-2.41	-2.87	-9.15	-6.31	-2.57	-3.66	-1.9	-14.44	-10.09	-8.5	-3.06	-2.79	-5.31	-5.63
A008	-9.64	-7.29	-3.9	0.42	0	-3.2	-1.18	-5.48	-5.63	-2.57	-1.34	-0.69	-13.27	-9.19	-8.8	-4.38	-4.73	-5.68	-5.63
A009	-7.19	-4.23	-1.2	-2.41	-3.2	0	-5.24	-10.4	-2.37	-0.22	-4.46	2.65	-10.55	-7.95	-8.8	-4.73	-1.59	-1.98	-1.98
A010	-12.33	-9.5	-6.15	-2.87	-1.18	0	0	-2.49	-7.62	-3.52	-0.14	-1.5	-13.41	-10.1	-10.55	-8.8	-13.41	-5.07	-5.07
A011	-5.98	-4.8	-1.4	-9.15	-5.48	-5.13	-10.4	-2.49	-5.89	-3.39	-11.76	-0.12	-8.82	-10.1	-11.63	-10.55	-13.41	-7.95	-7.95
A012	-5.74	-1.89	-1.14	-2.87	-8.48	-2.37	-7.62	-5.89	-3.39	-0	-5.83	0	-10.55	-7.95	-10.55	-8.8	-13.41	-5.07	-5.07
A013	-8.59	-5.23	-2.26	-2.84	-2.57	-0.22	-3.52	-5.89	-3.39	0	-5.83	0	-10.55	-7.95	-10.55	-8.8	-13.41	-5.07	-5.07
A014	-14.1	-10.93	-7.25	-3.66	-1.34	-4.46	-1.5	-11.76	-9.24	-5.83	0	-2.53	-14.18	-7.81	-13.57	-4.61	-7.11	-8.41	-8.41
A015	-6.11	0.67	0.47	-0.19	-0.69	2.65	-1.5	-8.82	-2.47	0	0	0	7.44	0	-5.44	-2.62	-19.42	0	0
A016	-15.35	-11.34	-11.74	-14.44	-9.19	-10.55	-13.41	-10.1	-10.6	-10.58	-14.18	7.44	0	0	-5.44	-2.62	-19.42	0	0
A017	-15.35	-11.04	-9.55	-10.09	-9.19	-7.99	-8	-10.1	-9.38	-10.58	-14.18	7.44	0	0	-5.44	-2.62	-19.42	0	0
A018	-8.73	-11.33	-10.75	-8.5	-8.8	-8.8	-11.63	-12.57	-12.57	-10.68	-13.57	-10.16	-22.62	-19.42	-6.43	0	0	0	0
A019	-12.18	-10.83	-7.66	-3.06	-7.66	-4.38	-4.38	-12.57	-9.27	-6.07	-4.61	-5.42	-17.45	-12.43	-6.43	0	0	0	0
A020	-11.5	-10.89	-7.69	-2.79	-7.69	-4.73	-5.68	-12.54	-10.24	-6.38	-7.51	-7.17	-19.43	-14.51	-6.48	0.09	0	0	0
B001	-5.45	-0.86	-0.51	-3.29	-5.63	-5.63	-5.63	-5.07	-5.07	-5.07	-7.11	4.85	-18.21	-9.64	-11.32	-8.27	-9.25	0	0
B002	-9	-5.12	-3.29	-5.63	-5.63	-5.63	-5.07	-5.07	-5.07	-5.07	-7.11	4.85	-18.21	-9.64	-11.32	-8.27	-9.25	0	0
B003	-12.1	-8.21	-6.13	-6.33	-5.7	-4.7	-4.52	-7.95	-6.32	-4.19	-4.3	3.12	-7.84	-3.48	-15.14	-8.92	-10.23	-5.36	-3.09

Mean Error: -6.581
RMS Error: 8.127
Mean Abs. Error: 6.923
Mean Abs. Relative Error (%): 0.490
Maximum Error: 22.623
Maximum Relative Error (%): 1.926

This test was performed by: Alan Cawley Signature:



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no