

Magnus Berstad
Stian Haugen

Sammenligning av targetbasert registrering og ulike cloud-to-cloud-modeller med bakkebasert laserskanner

Case studie i Gjøvik Olympiske Fjellhall

Bacheloroppgave i Geomatikk

Veileder: Andras Ladai

Mai 2021

Magnus Berstad
Stian Haugen

Sammenligning av targetbasert registrering og ulike cloud-to-cloud-modeller med bakkebasert laserskanner

Case studie i Gjøvik Olympiske Fjellhall

Bacheloroppgave i Geomatikk
Veileder: Andras Ladai
Mai 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk



NTNU

Kunnskap for en bedre verden



Kunnskap for en bedre verden

Sammenligning av targetbasert registrering og ulike cloud-to-cloud-modeller med bakkebasert laserskanner

Case studie i Gjøvik Olympiske Fjellhall

Magnus Berstad og Stian Haugen

Gradering: Åpen

Bachelor i geomatikk

Innlevert: 20 mai 2021

Veileder: Andras Ladai

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk

Oppgavens tittel: Sammenligning av targetbasert registrering og ulike cloud-to-cloud-modeller med bakkebasert laserskanner. Case studie i Gjøvik Olympiske Fjellhall	Dato: 20.05.2021		
	Antall sider: 81		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	X
Navn: Magnus Berstad og Stian Haugen			
Veileder: Andras Ladai			
Oppdragsgiver: NTNU i Gjøvik			

Sammendrag:

Dagens krav til dokumentasjon og effektiv tidsbruk har gjort laserskanning til et verdifullt datafangstverktøy. I tillegg har teknologisk utvikling gjort både instrument og prosesseringsverktøy stadig mer nøyaktige og effektive.

Registreringsmetoden cloud-to-cloud bruker algoritmer i programvaren til å sette sammen de ulike punktskyene. Dette gjør at en ikke behøver å benytte targets. Det kan gi stor tidsbesparelse. Spørsmålet har gjerne vært hvorvidt denne metoden er like nøyaktig.

I denne oppgaven sammenligner vi targetbasert registrering og ren cloud-to-cloud, for å vurdere kvaliteten med targetfrie metoder på et større innendørs prosjekt med utfordrende geometri.

Check points ble benyttet som kvalitetskontroll for laserskanningen. Disse targetpunktene ble målt inn ved hjelp av polygondrag gjennom anlegget, med utgangspunkt i et grunnlagsnett på utsiden av Fjellhallen. Det ble gått et tilsluttet polygondraget fra et fastmerke ved Fjellhallinngangen, gjennom interesseområdet, og til et annet fastmerke på utsiden av svømmehallinngangen.

I alt seks modeller analyseres, hvor én er targetbasert og de andre ulike versjoner av cloud-to-cloud. Ved registrering kan en velge hvilke koblinger som skal benyttes. De ulike cloud-to-cloud-modellene brukes for å undersøke effekten av ulike valg, og hva som kan bidra til å optimalisere metoden.

Resultatene viser at targetbasert registrering i gjennomsnitt har 1-2 millimeter lavere romlige avvik i check points, enn cloud-to-cloud-modellene. Avvik i høyde er større ved bruk av targets, mens grunnrissavvik er større med cloud-to-cloud. Denne tendensen gjelder for alle cloud-to-cloud-registreringene, selv om størrelsesforskjellen varierer.

Forskjellen mellom ulike cloud-to-cloud-modeller innad er like stor som mellom cloud-to-cloud-registreringene generelt og targetregistreringen. Den tilsynelatende kvalitetsforskjellen mellom metodene er altså tilsvarende usikkerheten ved den enkelte metoden. Det viser at cloud-to-cloud kan gi sammenlignbar kvalitet som ved bruk av target, selv på et stort prosjekt med utfordrende geometri.

Stikkord:

Laserskanning
Registrering
Target
Cloud-to-cloud

Abstract

Current requirements for documentation and efficiency have made laser scanning a powerful and valuable tool for geometric data capturing. Additionally, technological advancements have made the scanner instrument and processing software ever more accurate and efficient. Cloud-to-cloud is a registration method that uses algorithms in the software to tie the point clouds together. This method does not require artificial targets to be used, which can prove vastly cost-effective. The doubt has been whether the method is equally accurate to the target-based method. In this paper the methods of target-based and target-free registration is compared, to evaluate the quality of target-free methods on a large scale indoor project with challenging geometry. Check points were applied as quality control for the scanning data. These targets were given coordinates by traversing through the site, based on a ground control network outside of Fjellhallen. The link traverse begins in a known point outside the entrance to Fjellhallen, goes through the area of interest, and ends in another known point outside of the entrance to the swimming pool. A total of six models are analysed, one target based and the others different variations of cloud-to-cloud. A selection of what scanning links to used when performing registering is required. The different cloud-to-cloud registrations are used to investigate effects of the different choices, and what choices serves to optimize this cloud-to-cloud method. Results show that target-based registration on average has 1-2 millimetre lower spatial deviations in the check points from the reference model, compared to the cloud-to-cloud methods. Height deviations are bigger in the target model, whereas deviations in the XY plane is bigger in the cloud-to-cloud models. This tendency is repeated in all models, but the magnitude varies. The variations within the cloud-to-cloud methods are equal to the overall difference between the target based and target free registration methods. The seeming difference in quality between the methods is therefore equal to the uncertainty of the cloud-to-cloud method itself. This indicates that cloud-to-cloud can provide results of comparable quality to that of target-based registration, even on a large scale project with challenging geometry.

Forord

Studiet går mot slutten og ender med denne bacheloroppgaven. Hele studiet samlet sett har vært særdeles lærerikt og har gjort oss godt forberedt til arbeidslivet, med tanke på praktiske og teoretiske oppgaver satt i sammenheng med relevante arbeidsoppgaver som kan speiles med praktiske oppgaver i arbeidslivet. Oppgaven er skrevet av Magnus Berstad og Stian Haugen for NTNU i Gjøvik.

Vi bestemte oss for å samarbeide på en bacheloroppgave høsten 2020. Det ble lagt frem flere interessante temaer å velge mellom, hvor vi til slutt endte opp med laserskanning av svømmehallen med garderober i Gjøvik Olympiske Fjellhall. Vi fikk tildelt Andras Ladai ved NTNU i Gjøvik som veileder, og ønsker å takke ham for alle innspill og hjelp i løpet av dette vårsemesteret. Etter forslag fra Morten Eggum ved NTNU i Gjøvik kom vi frem til en problemstilling i januar 2021, som ble justert litt mot oppgavens ende. Valget av oppgaven med laserskanning kom av at vi ikke hadde brukt laserskanningsutstyret i stor skala før, noe som begge gruppe-medlemmer ønsket å undersøke nærmere. Samarbeidet med NTNU, Fjellhallansvarlige og gruppe-medlemmene innad har vært uten problemer. Alt av utstyr og programvare har vært tilgjengelig for gruppen ved behov, selv om pandemien har herjet.

Vi ønsker å rette en takk til Veidekke ved Anders Rolseth for innspill med å sette oppgaven i en større sammenheng, med tanke på samfunnsnyttene av resultatene. Vi vil også takke Gjøvik Olympiske Fjellhall ved Adam Østmann for tilretteleggelse av praktisk gjennomføring av oppgaven, NTNU ved Morten Eggum for bistand med utstyr og gode innspill, NTNU ved Andras Ladai for meget god veiledning og NTNU ved Tormod Urke for gode faglige innspill.

Gjøvik, 20.05.2021



Magnus Berstad



Stian Haugen

Innholdsfortegnelse

Abstract	3
Forord	4
Innholdsfortegnelse	5
Figurliste	7
Tabelliste	7
Forkortelser og ordforklaringer	8
1 Introduksjon	9
1.1 Bakgrunn for oppgaven	9
1.2 Problemstilling	9
1.3 Oppgavens oppbygning	10
2 Teori	11
2.1 Utstyr	11
2.2 Grunnlagsnett	12
2.3 Polygondrag	14
2.4 Laserskanning	15
3 Grunnlagsnett	26
3.1 Metode	26
3.2 Resultat	30
3.3 Diskusjon	32
4 Polygondrag	34
4.1 Metode	34
4.2 Resultat	38
4.3 Diskusjon	39
5 Laserskanning	41
5.1 Metode	41
5.1.1 Feltarbeid	41
5.1.2 Dataprosessering	45
5.2 Resultat	50
5.2.1 Effekt av visual alignment	50
5.2.2 Effekt av overskytende koblinger	52

5.2.3	Effekt av kobling gjennom garderober.....	54
5.2.4	Overordnet sammenligning av modeller	55
5.2.5	Target versus targetfri registrering	59
5.2.6	Target versus targetfri registrering	61
5.2.7	Kvalitet på koblinger	65
5.3	Diskusjon	68
5.3.1	Drøfting av resultater	68
5.3.2	Drøfting av utfordringer	77
5.3.3	Praktisk betydning	79
6	Konklusjon	80
6.1	Anbefalinger	81
7	Litteraturliste	82
8	Vedlegg	85
8.1	Grunnlagsnett.....	85
8.1.1	Utjevningsrapporter fra Gemini Oppmåling	85
8.1.2	Grovfeilsøk fra Gemini Oppmåling	87
8.1.3	Globaltest fra Gemini Oppmåling	88
8.1.4	Indre pålitelighetstest fra Gemini Oppmåling	89
8.1.5	Kjikkvadratberegning	89
8.2	Polygondrag	90
8.2.1	Utjevningsrapporter fra Gemini Oppmåling	90
8.2.2	Grovfeilsøk fra Gemini Oppmåling	97
8.2.3	Kjikkvadratberegning	99
8.3	Laserskanning	101
8.3.1	Registreringsrapporter fra Leica Cyclone Register 360	101
8.3.2	Avvikstabell for hver registrering	112
8.3.3	Registreringenes romlige avvik i check points - graf.....	118

Figurliste

Figur 1: Illustrasjonsbilde, grunnlagsnett	26
Figur 2: Illustrasjonsbilde, måleforhold	27
Figur 3: Instrumentparametere, grunnlagsnett	30
Figur 4: Illustrasjonsbilde, tilsluttet polygondrag	34
Figur 5: Illustrasjonsbilde, tilsluttet polygondrag	36
Figur 6: Instrumentparametere, polygondrag	37
Figur 7: Konseptuell beskrivelse av sammenligningene med cloud-to-cloud-modeller.....	47
Figur 8: Romlige RMS-avvik for de ulike cloud-to-cloud-modellene.....	54
Figur 9: Punktdiagrammet under viser registreringenes grunnrissavvik i slutt punktet FM5... 58	58
Figur 10: Grunnrissavvik i check points for M1 og M2	60
Figur 11: Høydeavvik i check points for M1 og M2.....	60
Figur 12: 3D avvik i check points for M1 og M2	61
Figur 13: Grunnrissavvik i check points for registreringene M1 og M2, hvor FM5 er fristilt 63	63
Figur 14: Høydeavviket i check points for registreringene M1 og M2, hvor FM5 er fristilt.. 64	64
Figur 15: Romlig avvik i check points for registreringene M1 og M2, hvor FM5 er fristilt .. 64	64
Figur 16: Illustrasjonsbilde, plassering av check points ved utgang	72
Figur 17: Illustrasjonsbilde, garderobe koblet til skannedraget i stasjon 17 og 36.....	73
Figur 18: Illustrasjonsbilde, overlapp utgang	74
Figur 19: Illustrasjonsbilde, overlapp inngang.....	75
Figur 20: Til venstre: Papirtargetet T18, skannet fra stasjon nr.3. Avstand 48 meter. Til høyre: Spesialtargetet TR23, skannet fra stasjon nr. 43. Avstand 49 meter.....	76
Figur 21: Illustrasjonsbilde fra rapporten til M6.....	101

Tabelliste

Tabell 1: Sammenligning mellom ulike registreringer med visual alignment	51
Tabell 2: Sammenligning mellom cloud-to-cloud-modeller.....	53
Tabell 3: Overordnet sammenligning av registreringsmodeller.....	55
Tabell 4: Avvik mellom fri FM5 i punktsky og fastmerkekoordinatet som check point.....	57
Tabell 5: Sammenligning mellom M1 og M2.....	59
Tabell 6: Sammenligning mellom target og cloud-to-cloud	61
Tabell 7: Overlapp og avvik mellom koblinger for ulike deler av skannedraget.....	66
Tabell 8: Mer detaljert sammenligning av koblinger mellom M1 og M2.....	67

Forkortelser og ordforklaringer

Check point	Koordinatbestemte papirtargets som utgjøre referansemodellen og fungerer som kontroll for laserskannregistreringene.
Cloud-to-cloud	Registreringsmetode for laserskanning. Benytter gjenkjenning algoritmer i programvare for å sette sammen punktskyer, i stedet for targets. Blir derfor ofte referert til som "targetfri" registrering.
Georeferering	Metode for å gi observasjoner eller punktsky koordinater i et kjent geodetisk referansesystem.
Grunnlagsnett	Nett av fastmerker med kjente koordinater
Registrering	Sammensetting av punktskyer målt fra flere oppstillinger.
Subscan	Høyoppløst laserskann av individuelle target. Nødvendig ved targetbasert registrering.
Target-matching	Registreringsmetode for laserskanning. Subscannede targets brukes som sammensettingspunkter mellom punktskyer.
Tie-point	Felles identifiserbare punkt i flere punktskyer. Ved cloud-to-cloud brukes disse i stedet for target i sammensettingen.
Visual alignment	Manuell plassering av punktskyer relativt til hverandre. Utføres i registreringsprogramvare, f. eks. Leica Cyclone 360.
Target	Målskive, gjerne i form av svart og hvit blink på papirark eller spesiallagde typer fra utstørsproduzent.
Toleranse	Maksimalt tillatt avvik.
Tvang	Observasjoner stemmer ikke overens med koordinater mellom to eller flere punkt.

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn for oppgaven

I dagens samfunn er det ønskelig med mer digitalisering i alle sektorer, også når det kommer til bygg- og vedlikeholdsprosjekter. 3D-modeller fra laserskanning er geometrisk svært nøyaktige representasjoner av virkelige objekt, og kan brukes for å lage såkalte «digitale tvillinger». Eksempler på dette er blant annet BIM-modeller av bygg, tunneler, og annen konstruksjon der plassering, topologi og romlig informasjon er nyttig egenskapsdata. Tradisjonelt brukes måleskiver, «targets», til å sette sammen punktskyer fra ulike oppstillinger. I enkelte skannemiljø er det vist at også targetfrie metoder gir gode resultater. Men med dagens utstyr, er det fortsatt nødvendig å bruke targets på større, utfordrende prosjekter? Det er noe vi ønsker å undersøke i denne oppgaven. Flere analyser har sammenlignet targetbruk og cloud-to-cloud. Blant annet en tidligere bacheloroppgave her ved NTNU i Gjøvik (Johansson, G.H., et al, 2020). Denne konsentrerte seg om kostnadseffektivisering og tidsbesparelse ved laserskanning, og konkluderte med at cloud-to-cloud kvalitetsmessig ga tilsvarende resultater som targetbasert registrering. Case studiet ble utført på et avgrenset område i ett av byggene på campus. Et ønske med denne oppgava er å undersøke temaet nærmere, men i større skala og med ulike tilpasninger av cloud-to-cloud. Derfor falt valget på å laserskanne svømmehallen i Gjøvik Olympiske Fjellhall, inkludert garderobes. Det ble også skannet gjennom Fjellhalltunnelen og utgangen fra svømmehallen for å ha to uavhengige tilknytninger til grunnlagsnettets utenfor. Den totale lengden på skannedraget ble 312 meter. Formålet er å analysere nærmere hvilken forskjell det er på bruk av targetbasert registrering og cloud-to-cloud-basert registrering på et stort og sammensatt skanneprosjekt med utfordrende geometri.

1.2 Problemstilling

Problemstillingen vår er som følger: *Sammenligning av targetbasert registrering og ulike cloud-to-cloud-modeller med bakkebasert laserskanner. Case studie i Gjøvik Olympiske Fjellhall.*

Med denne problemstillingen ønsker vi å undersøke kvalitetsforskjellen mellom cloud-to-cloud-basert registrering og targetbasert registrering. I tillegg til dette ønsker vi å undersøke hvilken effekt forskjellige registreringsvalg ved cloud-to-cloud har på kvaliteten i sluttproduktet. De forskjellige registreringsmodellene sammenlignes med hverandre og med innmålt referansemødel.

I dette prosjektet har vi brukt bakkebasert laserskanner, hovedsakelig inne i Gjøvik Olympiske Fjellhall, bortsett fra første og siste oppstilling, hvor det ble skannet over fastmerker utendørs. En sammenligning av cloud-to-cloud og targetbasert registrering utendørs er dermed ikke del av denne oppgaven.

1.3 Oppgavens oppbygning

Neste kapittel tar vi for seg relevant teori for de forskjellige metodiske delene av oppgaven, henholdsvis grunnlagsnettet, polygondraget og laserskanningen. Kapittel 3 tar for seg grunnlagsnettet, kapittel 4 polygondraget og kapittel 5 laserskanningen. Ettersom oppgaven består av ulike deler av feltarbeid, hvor resultatet fra én del ga utgangspunkt for den neste, følger oppgavetekstens oppbygging den kronologiske rekkefølgen fra feltarbeidet. Først ble grunnlagsnettet opprettet, og ut fra dette ble det gått polygondrag. Og til slutt laserskanningen, hvor resultatene sammenlignes med de koordinatbestemte punktene i referansemødel, gitt ved polygondrag. Det ble ansett mest ryddig at innholdet i en rapport av denne størrelse og sammensetting følger denne kronologien.

Ettersom de to første landmålingsmetodene kun er ment som grunnlag, mens problemstillingen omhandler laserskanning, ligger tyngden i oppgaven i den sistnevnte delen. Delkapittel 5.1 forklarer metoden som var brukt ved datafangst og prosessering. 5.2 tar for seg resultatene fra de forskjellige registreringene. I delkapittelet 5.3 Diskusjon drøftes resultatet, hvilken effekt forskjellige metoder har hatt, en overordnet sammenligning mellom metodene, utfordringer underveis og hvilken praktisk betydning resultatene har, sett i en større sammenheng.

2 Teori

2.1 Utstyr

Tabell 1: Utstyrliste og datablad for MS60 (Leica Geosystems, 2020)

Instrument	Leica Multistasjon 60 (MS60)
Instrumenttype	Multistasjon
Avstand	1.5m ved måling til 10000m (prisme) 1.5m ved måling til 2000m (uansett overflate)
Avstandsnøyaktighet	Single (prisme) 1mm + 1.5ppm Single (uten prisme) 2mm + 2ppm
Vinkelnøyaktighet	0.3mgon horisontalt og vertikalt
Prisme, prismekonstant, sentreringsnøyaktighet	Leica GPR121, 0mm, 1mm
Annet utstyr	Leica GST120-9 (trefot), Leica GDF321 (tribrach), Leica GHM007 (målebånd), Leica GHT196 (holder for målebånd), GRT247 (adapter gnss), Leica GST4 «Stativstjerne»

Tabell 2: Utstyrliste og datablad for GS16 (Leica Geosystems, 2016)

Instrument	Leica Viva GS16
Instrumenttype	GNSS antenne
RTK	8mm + 1ppm (horisontalt) 15mm + 1ppm (vertikalt)
Nøyaktighet CPOS (Kartverket, 2020)	Grunnriss: 8mm - EUREF89 Høyde: 20mm - NN2000
GNSS systemer	Galileo, GPS, Glonass, Beidou

Tabell 3: Utstyrliste og datablad for P40 (Leica Geosystems, 2016)

Instrument	Leica ScanStation P40
Instrumenttype	Stasjonær laserskanner
Avstandsnøyaktighet	1.2mm + 10ppm
3D posisjonsnøyaktighet	3mm ved 50m, 6mm ved 100m
Vinkelnøyaktighet	8" horisontalt; 8" vertikalt
Targets	Leica HDS GZT21 (svart/hvit) 4.5 tommer, papirtargets 6 tommer

2.2 Grunnlagsnett

Grunnlagsnettet fungerer som et slags fundament for andre stikkingsoppgaver og gir en rød tråd når det kommer til nøyaktighet lokalt i prosjektet. Dette fundamentet kan lages lokalt koordinatsystem eller i et felles, kjent referansesystem.

I denne oppgaven er grunnlagsnettet basert på ekte koordinater, men laget med lokale koordinater for god overenstemmelse mellom fastmerkene. Ofte er et grunnlagsnett basert på ekte koordinater, men for å oppnå høy lokal nøyaktighet brukes satsmålinger mellom punktene i grunnlagsnettet. Ett punkt blir som regel brukt som et utgangspunkt for georeferering, som for eksempel ved hjelp av CPOS. CPOS er en sanntids-tjeneste fra kartverket, som har centimeters nøyaktighet. Den absolutte punktbestemmelsen i nettet er ikke nødvendigvis nøyaktig. Med absolutt punktbestemmelse menes plassering i forhold til et kjent geodetisk referansesystem (Skogseth, T. og Norberg, D., 2014). Den relative nøyaktigheten, som denne oppgaven bruker som utgangspunkt, forteller oss hvor godt punkter stemmer overens med hverandre (Skogseth, T. og Norberg, D., 2014).

Når grunnlagsnettet er godt bestemt er det lettere å påpeke avvik og bestemme nøyaktigheten til punktene eller gjenstandene som skal settes ut eller måles inn. Det er flere faktorer som spiller inn på nøyaktigheten til grunnlagsnettet. Viktigste av alt er å ha tilstrekkelig med overskytende observasjoner, dette kan bli oppnådd ved satsmålinger innad i grunnlagsnettet. Dette gjøres for å fjerne eventuelle avvik i grunnlagsnettet. «I beregningene av grunnlagsnett brukes alle observasjonene i en felles beregning. Beregningen skjer etter prinsippene i «minste kvadraters metode», som gir et resultat med lavest standardavvik (mest sannsynlig resultat)» (Skogseth og Norberg, 2014, s. 47). Ved utjevning av alle enkeltpunktene i grunnlagsnettet kan vi få oppgitt et standardavvik på enkeltpunktene og standardavvik på vektsenheten. Som en kontroll av standardavviket på vekt kan manuell beregning av kjikvadrat være informativt. Kjikvadrat er en statistisk beregningsmetode som forteller oss om målt verdi er innenfor en nedre og øvre tabellverdi ved de forskjellige signifikansnivåene. Signifikansnivåene som oftest brukes er 5%, 2,5% og 1%. Tester på grovfeil, indre- og ytre pålitelighet og globaltest, kontrollerer henholdsvis avvik som skiller seg ut i størrelse, hvor store gjenværende feil som skjuler seg i observasjonene, hvor stor innvirkning har de maksimale gjenværende feilene på punktdeformasjon og hvor stor tvang det er i nettet.

Hensikten med å bruke grunnlagsnett i denne oppgaven er for å videreføre lokale koordinater inn i fjellhallen via et polygondrag, og for tvangssentrering til skanning.

Vi har sett bort ifra bruk av standarder for denne oppgaven, grunnen til dette er at dataene for denne oppgaven kun tilgjengelig for NTNU, og skal ikke brukes av andre senere.

2.3 Polygondrag

Polygondrag brukes til å videreføre koordinater til en ønsket lokasjon. Eksempler på polygondrag er blinddrag, runddrag, tilsluttet polygondrag, eller også kaldt enkelt polygondrag. Disse ulike typene for polygondrag brukes i forskjellige sammenhenger og arbeidsoppgaver. Blinddrag starter i kjentpunkt, men ender uten tilknytning til kjentpunkt i andre enden. Runddrag starter og slutter i samme punkt. Tilsluttet polygondrag starter i et kjentpunkt og slutter i et annet kjentpunkt (Skogseth og Norberg, 2014). I denne oppgaven brukes tilsluttet polygondrag, hvor endene i polygondraget tvangssentreres over to ulike kjentpunkt fra grunnlagsnettet. Ved polygondrag kan en gjerne gjøre satsmålinger, for å få overskytende observasjoner, slik at avvik kan utelukkes i satsene. Det kan gi bedre bestemmelse på avstand- og vinkelmålinger, som er verdiene som måles i polygondrag. Ved start og slutt av det tilsluttede polygondraget er det også viktig med fjernsikt, dette styrker polygondraget ytterligere og bestemmer orienteringen. For å etablere punkt underveis i polygondraget blir det målt detaljpunkt hvis det ikke er mulig å måle fra punktet. I denne oppgaven ønsker vi å bruke koordinatbestemte targets, altså check points for å ha noe å kontrollere punktskyen opp mot.

2.4 Laserskanning

Bakgrunn, prinsipp og utviklingen

Laserskanning er en fjernmålingsteknikk som bruker emittert lys til reflektorløs elektronisk distansemåling. Laserstrålen sendes ut i kjent retning, og retursignalene brukes for å beregne avstand. På bakgrunn av kjent horisontal- og vertikalretning, samt avstand, kan punktkoordinat beregnes polart. Laserskannere i dag kan normalt gjøre flere hundre tusen slike målinger per sekund. Laserskanneren har vært i bruk siden slutten av 90-tallet, og har raskt blitt tatt i bruk i stadig større grad og på nye fagfelt (Wang et al., 2014).

Abbas et al. (2014:116) beskriver terrestrisk laserskanning (TLS) som en «kombinasjon av fotogrammetri og reflektorløs totalstasjon». Omfanget av datafangsten inkluderer alt innenfor synsfeltet («field of view»), slik som et bilde, mens selve måleteknologien, elektronisk distansemåling, er den samme som ved totalstasjon, og resultatet er av samme type, tredimensjonale punktkoordinater. I tillegg kan en kombinere fargefotografi med punktskyen, for å gi punktene en visuelt realistisk representasjon av objektene. (Porrás-Amores et al., 2019)

Hovedsakelig to utviklinger har bidratt til den store økningen i bruk av laserskanning, ifølge Holst og Kulmann (2016). Den første handler om metrologien, hvordan nyere skanneinstrumenter kombinerer økt effektivitet med økt nøyaktighet. Det er ikke uvanlig at laserskannere kan måle over én million punkt i sekundet og oppnå romlig punktbestemmelse med noen millimeters nøyaktighet. Den andre utviklingen som har skjedd er at prosesseringsverktøyene «har blitt mer brukervennlige og effektive, slik at selv store punktskyer kan analyseres og behandles uten å være spesialist på laserskanning». (Holst, C. & H. Kulmann, 2016:1)

Både forbedring av kapasiteten til instrumentet, med økende hastighet og nøyaktighet, og algoritmer i programvare, i tillegg til prisfall, har tilrettelagt for «storskala anvendelse i svært krevende sammenhenger, slik som tunneler, bruer, og bygningsarv.» (Wang et al., 2014:326) Med videre utvikling av laserskannteknologien er det ventet at denne trenden fortsetter, med mer nøyaktige og effektive instrumenter, lavere priser og større og bredere anvendelse. (Wang et al., 2014) Det forutsetter imidlertid tilsvarende utvikling for prosesseringsverktøyene og datamaskinene som skal håndtere stadig større mengder informasjon.

Fordeler og bruksområde

Dagens krav til dokumentasjon og effektivitet har gjort laserskanning til et viktig og svært nyttig verktøy på tvers av sektorer og fagfelt. I det bygde miljø brukes laserskanning aktivt for dokumentasjon av tilstand og kontroll av utført arbeid. Metoden kan også gi økonomiske besparelser i prosjekteringsfasen, ved mer nøyaktig estimering av volum og mengde, for bedre utnyttelse av ressurser.

Punktskyer danner grunnlag for en rekke sluttprodukt, avhengig av behov. Selve punktskyer er gjerne digitalt svært tung, og inneholder ofte unødvendig mange punkt på enkelte områder, i tillegg til støypunkt. Meshing og TIN-modeller bidrar til lettere digitale representasjoner enn punktskyer. Disse modellene danner flater mellom punkt, og gir dermed modellen topologiske tilknytninger.

Produkter fra laserskanning kan være viktig som beslutningsgrunnlag ved planlegging av endringer. Det tilfører «verdifulle informasjon» både for «urban planlegging, rekonstruksjon, overvåking, bevaring og restaurering». (Karagianni, 2017:219) Det gjør det også mulig for interessenter å inspisere bygningers tilstand uten å være på stedet. (Klimoski, 2006) Ny teknologi kan ta i bruk 3D-modeller fra laserskanning på nye, interaktive og avanserte måter. Teknologier som virtual reality (VR) og augmented reality (AR) tillater for eksempel virkelighetstro inspeksjon, både digitalt og på stedet. 3D-modellens potensial for visuell informasjonsformidling er en felles grunn til at mange fagfelt kan dra stor nytte av teknologien.

Konsepter som smarte byer og digitale tvillinger nevnes ofte i sammenheng med den bredere digitaliseringsprosessen. Bruk av sensorer muliggjør sanntidsoppdatering av informasjon. Gjerne har denne informasjonen gjerne også geografiske karakter. Det vil si at informasjonen er satt inn i en romlig kontekst.

Laserskanning er en effektiv måte å gjengi romlige egenskaper, plassering, på en svært detaljert og nøyaktig måte. Men i likhet med et fotografi, dokumenteres omstendighetene kun i datafangstøyeblikket. Mer effektiv teknologi og metoder muliggjør imidlertid hyppigere oppdateringsintervaller ved laserskanning. Det er nærliggende å tenke at innen overskuelig framtid vil automatisering av skanneprosessen føre til økt bruk av skanneroboter, som kan forhåndsprogrammeres til å følge en angitt rute. Teknologien finnes tross alt allerede.

I en videre anvendelse, vil 3D-modeller kunne brukes for å utvikle «avanserte simuleringmodeller». (Porras-Amores, 2019:3) I likhet med hvordan flybåren laserskanning danner nøyaktige terrengmodeller, som er et viktig grunnlag for simulering av flomscenarier og andre naturkatastrofer, er mulighet for simulering innen det bygde miljø viktig blant annet i et beredskapsøyemed.

Når det gjelder bruksområde i felt, egner laserskanning og andre fjernmålingsmetoder seg godt i prosjekter der området som skal kartlegges er utilgjengelig eller utrygt. Målingene kan foretas «på ethvert tidspunkt fra en sikker plassering uavhengig av lysforhold». (Wang et al., 2014:328) Siden den optiske sensoren registrerer retursignaler fra instrumentets emitterte laserstråle, behøves ikke annen lyskilde for å gjøre selve målingene.

Riktignok må en ta hensyn til måleforhold også når det laserskannes, og lysforholdene kan i enkelte tilfeller ha betydning. Eksempelvis dersom en ønsker punktsky med fargebilde. I enkelte tilfeller kan også sterkt sollys eller refleksjon ha innvirkning på sensoren. Både for sterk og for svak refleksjon kan føre til at punkt utelates. Da kan det oppstå «hull» i punktskyen. Ettersom det kun er punkter som blir gitt farge, vil ikke skannefotografiet være til hjelp for å dekke for dette. Nedbør og tåke er dessuten måleforhold en bør unngå ved laserskanning. Det gjelder for øvrig alt av forstyrrende partikler i lufta, også støv.

«Laserskanning, som alle optiske teknikker, er avhengig av interaksjon med overflaten som skal måles ved hjelp av lys.» (Re et al., 2011:276) I laserskanning er det fordelaktig at flater reflekterer lys på en spredt måte, gjerne kalt Lambertansk refleksjon. «Spekulære flater, spesielt polert metall, utgjør en utfordring ved at sensoren «mettes» eller at ikke tilstrekkelig med lys mottas i sensoren.» (Re et al., 2011:276)

Nøyaktighet og kvalitet

«Avvik kan oppstå gjennom hele laserskanningprosessen», fra ukorrigerte instrumentavvik, til måleavvik av ulike årsaker, til avvik introdusert ved etterprosessering. (Cox, 2015:17)

«Den resulterende punktskya er ustrukturert, det vil si at den ikke inneholder noe informasjon om topologisk korrekte forhold mellom punkt.» (Dorninger et al., 2013:104) Det er en samling individuelle observasjoner. Også med høy oppløsning, er det fortsatt separate punkter med «tomrom» mellom. «I praksis blir bare et lite antall punkter fra objektets overflate målt». (Tournas et al., 2010:2) Dette er en ulempe med laserskanning. Det er vanskelig å måle ett

bestemt punkt, fordi ingen punkt i punktskyen samsvarer helt med et fast bestemt punkt i virkeligheten, for eksempel et hjørne eller en kant. Med høy oppløsning kan en i hvert fall sikre at avstanden til slike punkt er kort.

Vanligvis inneholder punktskyen også en del støy og systematiske avvik (Dorninger et al., 2013). Det kan gjøre det vanskelig å gjengi objekter fra virkeligheten på en utvetydig og riktig måte. For å modellere flater fra punktskyen brukes gjerne minste kvadraters metode. (Tournas et al., 2010) Men om det er mye støy og avvik, kan dette utgjøre en forringende faktor for kvaliteten i modelleringa. «I noen tilfeller er det nødvendig å rense skannedataene før registrering», skriver Rajendra et al. (2014: 893).

I tillegg til støy, inneholder punktskyer gjerne store mengder unødvendige punkt. Ved å filtrere, kan en gjøre punktskyen mye lettere. En utfordring med støyfjerning og reduksjon i punkttetthet er likevel at det faktisk kan bidra til å introdusere avvik i sluttproduktet, hvis gjort upresist og de forkastede punktene er en nærmere representasjon av det målte objektet. (Cox, 2015)

Når en jobber med punktskyene i programvare eller analyserer resultatene, er det gjerne i form av kartesiske koordinater (x, y, z), men under selve målingene bruker instrumentet sfærisk koordinatsystem (r, φ, θ). Disse tre observasjonene er avstandsmåling, horisontalvinkel og vertikalvinkel. I tillegg er intensitet på returpulsen viktig egenskapsdata, eller «attribute». (Abbas et al, 2014)

Omregning til kartesiske koordinater gis ved trigonometri og formelen under, der theta er vertikalvinkel og phi er horisontalvinkel:

$$X = r \times \cos(\varphi) \times \cos(\theta)$$

$$Y = r \times \sin(\varphi) \times \cos(\theta)$$

$$Z = r \times \sin(\theta)$$

Abbas et al. (2014:116)

Nøyaktigheten disse tre observasjonene måles med er dermed de instrumentavhengige faktorene på kvaliteten. Laserskannere er tilpasset en viss avstandsrekkevidde. Felles for alle er at økende avstand gjerne gir lavere nøyaktighet. Det er det flere grunner til. «Laserskannerens oppløsning avtar normal med avstand på grunn av laserens

stråledivergens.» (Wang et al., 2014:327) Det betyr at strålediameteren øker proporsjonalt med avstand. Men selv om laserflekken er større, skal det i prinsippet fortsatt måles i senter. Problemer med fotavtrykk oppstår spesielt på grunn av skarp innfallsvinkel. (Wang et al., 2014) Den dårligere oppløsningen er resultat av at avstanden mellom punktene nødvendigvis blir større på lengre avstander.

Økende avstand fører også til større usikkerhet i avstand- og vinkelmålingene.

Målestokkavvikene oppgis gjerne i parts per million (ppm), eller millimeter avvik per kilometer avstand. Med Leica P40 er dette 10ppm for avstandsmåling, som tilsvarer 1mm avstandsavhengig avvik på 100 meter, i tillegg til konstantavviket på 1,2 mm. Som all annen time-of-flight-basert avstandsmåling, forutsettes det svært nøyaktige klokkesystem ettersom det er måling av tidsbruk som avgjør avstanden som registreres.

Wang et al. (2014) peker også på at tunnelgeometri, skannerposisjon, og innfallsvinkel har betydning for resultatet. «Tunneler, spesielt svært lange, utgjør en stor utfordring for landmålere på grunn av vanskeligheten med å oppnå tilfredsstillende geometri på skannedataene.» (Wang et al., 2014:326) Smal og lang geometri gir gjerne skarpe vinkler, og liten innfallsvinkel er forbundet med betydelige nøyaktighetstap (Cox, 2015).

Skannerposisjon er en av de viktigste vurderingene i måleopplegget, ettersom dette avgjør dekning og har stor påvirkning på kvalitet i sluttresultatet.

I laserskanning kan de enkelte skannene ha forskjellig nøyaktighet på grunn av ulike ytre faktorer, og nøyaktigheten kan svinge gjennom draget. Derfor kan en målbar nøyaktighet “bare avgjøres fra sluttproduktet”, selv om en, fra erfaringskunnskap, kan ha en forventning til nøyaktighet på forhånd og underveis (Cox, 2015:11-12).

Ulike typer laserskannere

Laserskannere klassifiseres gjerne etter metode for avstandsmåling, slik som pulsbaserte (time of flight), fasebaserte (phase shift), trianguleringsbaserte, og interferometribaserte. Ettersom det er førstnevnte som brukes i denne oppgava, går vi ikke nærmere inn på de andre konseptene. Men siden faseskanner er mye brukt i andre sammenhenger, kan det nevnes at metoden bruker en «modulert kontinuerlig laserbølge i stedet for laserpulser». (Tournas et al., 2010:3) Rekkevidden er mye mer begrenset enn for pulsbasert avstandsmåling. Sistnevnte er dermed den gjeldende metoden for de fleste geodesioppgaver. (Gikas, V., 2012)

En kan også skille mellom kinematiske laserskannere, i bevegelse, og statiske, stillestående, laserskannere. I kontrolljobber og prosjekter med høye krav til nøyaktighet er statiske bedre egnet. En laserskanners egnethet til et prosjekt avhenger for øvrig av karakteristikker som maksimal avstand, skannehastighet, romlig oppløsning, og oppgitt målekvalitet.

Prosessering: Registrering og georeferering

Hver stasjon i laserskanning måler data i et lokalt, toposentrisk koordinatsystem med origo i instrumentets elektro-optiske senter. (Gikas, V., 2012) Når flere oppstillinger blir brukt i laserskanning, er punktskyene i hvert sitt lokale koordinatsystem, uavhengige av hverandre. «For visualisering og videre prosessering, må alle skannedataene være orientert til samme felles koordinatsystem.» (Abbas et al., 2014:117) Denne sammensettingen kalles registrering.

Registreringsprosessen utføres ved å identifisere transformasjonsparameterne mellom par av punktskyer. Det forutsetter gjenkjenning av fellespunkter, gjerne kalt tie-points, i overlappende områder. Det er ulike måter å identifisere tie-points på, men de vanligste er å bruke måleskiver (targets) eller «cloud-to-cloud», som anvender algoritmer for automatisk gjenkjenning av fellespunkt. Denne metoden krever ikke bruk av targets, og kalles derfor ofte targetfri registrering. En kan også benytte en kombinasjon av disse.

«Naturlig objekter», som hjørner, kan brukes på samme måte som targets, men programvareleverandører anbefaler godkjente spesialtargets, slik som reflekterende sfærer eller svart-og-hvitt-målskiver, for å kunne registrere mer nøyaktig. (Cox, R., 2015)

Leverandørene har proprietære metoder i programvarene sine for gjenkjenning av targets. (Heritage, G. & A. Large, 2009) Det kan bety at det er kvalitetsforskjeller ved bruk av ulike targets.

Parameterne, eller frihetsgradene, som inngår i transformasjonen er translasjon i de tre retningene ΔX , ΔY , ΔZ , og rotasjon rundt de tre aksene ω , ϕ , κ (omega, phi, kappa). Dette angir forholdet mellom to punktskyers koordinatsystemer, ofte kalt «ScanWorlds». Det syvende parameteret i helmertransformasjonen, skalafaktor eller målestokkendring, kan neglisjeres da det er vist å være betydningsløst i registreringen. (Abbas, et al. 2014)

Kvaliteten i en registrering avhenger av antall og geometrisk fordeling av tie-points. Ved bruk av targets, er det nødvendig med minimum tre felles synbare targets i overlappende skannområder, men ekstra targets er forbundet med forbedret bestemmelse.

I noen tilfeller er det ikke gjennomførbart å sette opp targets. Dersom det i tillegg er mangel på naturlige punkt, kan en få problemer med å gjennomføre en nøyaktig registrering. (Nothegger & Dorninger, 2009)

Targetbasert registrering er en veletablert metode som «tilbyr høy grad av nøyaktighet og robusthet». (Cox, 2015:19) Men Cox legger til at det ikke alltid er praktisk å bruke targets. For eksempel der det forventes as-built dokumentasjon «fri for kunstige targets». «Å fjerne targets fra punktskyene kan være tidkrevende.» (Cox, 2015:19) Det er heller ikke alle steder det lar seg gjøre å plassere targets. Det kan også være kostbart å anskaffe, om en bruker spesialtargets fra instrumentleverandør.

Men også nøyaktighet er et argument for targetfri registrering, hevder Akca og Gruen (2007). «Targetbasert registreringsmetode kan ikke utnytte det fulle nøyaktighetspotensialet i dataene.» (Akca & Gruen, 2007:2). De påpeker at innmåling av targets introduserer avvik, som kan overgå de interne avvikene til skanneinstrumentet. De legger til at det er upraktisk med target dersom det skal skannes over lengre tid, ettersom metoden forutsetter at targetene er stabile.

Cloud-to-cloud utgjør et «effektiv og allsidig alternativ til targetbaserte teknikker», ettersom ressurskrevende feltarbeid erstattes av beregningsalgoritmer. Det fører til lavere kostnader, mindre tidsbruk og høyere nøyaktighet, ifølge Akca og Gruen (2007:2).

Cloud-to-cloud bruker alle punkt i det overlappende området til å sette sammen punktskyene. (Gikas, 2012) «Det gjeldende prinsippet for denne teknikken ligger i å minimere RMS-avviket for de gjenværende avstandene involvert for alle punktene innenfor det overlappende området.» (Gikas, 2012:11257) Gikas påpeker at denne metoden er sårbar for feil når det gjelder tunneler, på grunn av den langstrakte geometrien, og at en dermed må sørge for mye overlapp i slik sammenhenger.

Grafen i bildet under viser grad av automatisering i de ulike delene av arbeidsflyten med laserskanning. (Rajendra et al., 2014:894)

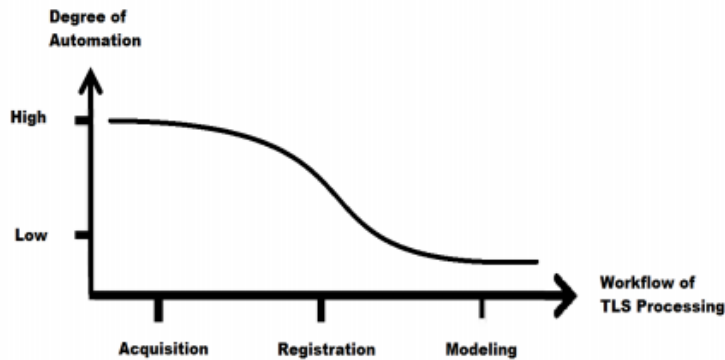


Figure 2.7: Shows degree of automation and TLS Workflow (A. Guren)

Grafen over viser at graden av automatisering har kommet lenger ved datafangsten enn etterprosesseringen, som fremdeles er arbeidsintensiv.

Automatisering betyr ikke at faglig kompetanse er overflødig. Som Rajendra et al. (2014:892) skriver, krever laserskanning mer enn å trykke på startknappen og vente ukritisk på resultatet. «Det krever dybdekunnskap om utstyret og de ulike prosessene». (2014:892)

Registreringsarbeidet har stor betydning for kvaliteten på sluttproduktet. Når det gjelder targetfri registrering, varierer resultatet avhengig av algoritme. Rajendra et al. (2014) viser at en kan oppnå bedre resultater ved å bruke tilpassede ICP-algoritmer.

ICP

Dybdekunnskap rundt algoritmene og hvordan de fungerer har ikke vært prioritert i denne oppgaven. Derfor vil temaet behandles noe overflatisk.

Den vanligste algoritmen for å utføre targetfri registrering er ICP (iterative closest point). Formålet er å definere forholdet mellom nabopunktskyer (Rajendra et al., 2014).

ICP-algoritmen går ut på at det søkes etter par av nærmeste punkter i to nabopunktskyer, og ut fra dette beregnes transformasjonsparameterne. Det forutsetter at nærmeste punktskyer har overlappende områder og samsvarende punkt. (Abbas et al., 2014: 117)

To punktskyer vil aldri ha eksakt samsvarende punkt. Derfor blir forholdet mellom punktene med kortest avstand brukt for å avgjøre de seks transformasjonsparameterne. Det vil si, skift og rotasjon. Som navnet tilsier, er dette en iterativ prosess. Den er fullført når summen av avstandenes kvadrater ikke lenger blir mindre (Lindenbergh et al., 2005).

Bruksområde for targetfri registrering

Bruk av registreringsmetode avhenger av jobben. Det er ikke bare krav til nøyaktighet å ta hensyn til, men også utfordringer in-situ. Yan Koch, en aktiv bruker på «Laser scanning forum» (LSF), oppfordrer til forsiktighet ved bruk av cloud-to-cloud i enkelte områder, spesielt der det er glatte, mørke eller våte overflater. Programvaren bruker alle punktene, dårlige så vel som gode, i registreringen. Ved bruk av targets unngår man uønskede punkt, skriver Koch (2016, 29. August). Koch legger til at de kun bruker cloud-to-cloud som et supplement til targets, og ikke som erstatning.

«Vi bruker bare c2c [cloud-to-cloud, red.anm.] i tillegg til targets i tilfelle vi trenger skann i områder der plassering av targets er for vanskelig. Men hovedruta er alltid gjort med targets.» (Koch, 2016, 29. August)

Ved laserskanning bør en alltid ha metoder for uavhengig kvalitetskontroll, uansett om en bruker target eller targetfri registrering, skriver Cox (2015). I feltarbeid betyr det at en bør gjøre «kontrollmålinger jevnt fordelt gjennom skanneområdet, ved bruk av uavhengige instrumenter». (Cox, 2015:11) Spesielt i ikke-lukkede skannedrag er det viktig med godt fordelte sjekkpunkt, for å forstå hvor unøyaktighet oppstår, slik at problematiske områder kan undersøkes eller forbedres. (Cox, 2015)

Cox spår at targetfri registrering omsider vil erstatte targetbasert som den dominerende metoden. «Teoretisk sett burde targetfri prosessering gi bedre sluttnøyaktighet på grunn av de mange millionene punktene som brukes i utjevningsprosessen, sammenlignet med det begrensede antallet punkt hentet ut ved targetbasert prosessering.» (2015:123)

I studien til Cox viser resultatene at targetfri registrering generelt gir dårligere nøyaktighet for den ferdige punktsky, med gjennomsnittlig noe høyere avvik i grunnriss og merkbart større avvik i høyde ved innmålte sjekkpunkt. Cox anbefaler derfor varsomhet ved bruk av targetfri registrering, «til det kan bevises gjennom omfattende testing at targetfrie metoder kan oppnå de nøyaktighetene som kreves ved laserskanning». (2015:123)

Cox viser til egnede områder der targetfri registrering fortsatt kan brukes:

- Illustrasjoner, virtuell turisme og lignende prosjekt med lave krav til nøyaktighet
- Innendørs skanning med mange identifiserbare objekter.
- Prosjekter med lukkede skannedrag.

- Prosjekter med mye overlapp
- Enetasjes skanneoppdrag

Georeferering

Modellen må gis koordinater i et felles koordinatsystem for at «den kan bli brukt i sammenheng med eksisterende data for det omkringliggende området». (Klimoski, 2006:3) Dette er georeferering.

Abbas et al. (2014:118-119) definerer georeferering som «en teknikk hvorved laserskannerens koordinatsystem er prosessert, slik at sluttresultatet er transformert til et ‘ground coordinate system’». Kort fortalt betyr det at punktskya settes inn i et ‘virkelighetens koordinatsystem’, et kjent geodetisk referansesystem.

USGS (United States Geological Survey), som kanskje kan sies å være USAs svar på NGU og Kartverket, forklarer georeferering som en måte å knytte et lokalt koordinatsystem til et kjent jordkoordinatsystem, slik at ethvert punkt gis et koordinat som samsvarer med plasseringa på jorda.

Georeferering kan gjøres på en rekke ulike måter. I felt kan det deles inn i indirekte og direkte georeferering. Indirekte georeferering handler om at punktskya gis ‘virkelige’ koordinater ved at stasjonen først beregner sin egen posisjon ved hjelp av synlige targets med kjente koordinater. Ved en ett-steps-tilnærming trenger en faktisk ingen overlapp mellom punktskyene, fordi de georefereres separat ved bruk av ulike targets. Denne typen georeferering gjør at de automatisk er i samme koordinatsystem, uten at skyene først må registreres sammen.

Ved direkte georeferering behøves ikke targets i det hele tatt, fordi orientering av stasjonene før måling gjør at skannedataene allerede er i et felles koordinatsystem. Det forutsetter imidlertid at stasjonens koordinat er kjent og at en kan bruke kjent baksikt til orientering. (Abbas et al., 2014:121)

Det er også mulig å georeferere punktskya i programvare i ettertid. Det ble gjort i denne oppgava. Mer utdypende informasjon står i metodekapittelet 5.1.

Atmosfæriske forhold

En bacheloroppgave fra 2017 undersøkte effekten av ulik atmosfærisk påvirkning. Målingene ble riktignok gjort med totalstasjon, men prinsippet bør være likt siden begge deler er elektronisk distansemåling. De konkluderer med at «det er temperatur som påvirker målinger med totalstasjon mest, og luftfuktighet som påvirker minst». (Fosse et al., 2017:2)

Avstandsmålingene påvirkes ved at lyshastigheten endres avhengig av de atmosfæriske forholdene. «Forplantningshastigheten til de elektromagnetiske bølgene som går gjennom atmosfæren varierer etter temperatur, lufttrykk og luftfuktighet på måletidspunktet». (Fosse et al., 2017:17) «Økende temperatur vil gi minkende avlest avstand på instrumentet, mens økende lufttrykk vil gi økende avlest avstand.» (Kartverket, 2009:8)

Dette er systematiske avvik som kan korrigeres automatisk ved å legge inn verdier for temperatur, lufttrykk og luftfuktighet i laserskanneren. (Fosse et al., 2017) Noen instrumenter har ikke med input for fuktighet, siden effekten er så ubetydelig. Beregningen baserer seg på en formel som ligger i instrumentet.

Korreksjonen oppgis i ppm, ettersom dette er målestokkfeil. Avstand vil dermed ha betydning for feilens størrelse. Men lengre sikt vil også øke sannsynligheten for varierende atmosfæriske forhold, som gjør det vanskeligere å sette en nøyaktig korreksjon.

Tid er også et aspekt. Desto lenger observasjonstid, desto større variasjoner. Temperatur er faktoren som endrer seg raskest, mens lufttrykk endrer seg mindre over tid. Lufttrykk endrer seg derimot gjerne ved at det avtar i økende høyde, ettersom «lufttrykket er vekten av Jordas atmosfære». Denne endringen er ca. 1 hektopascal (hPA) for hver åttende høydemeter, opplyser meteorolog Anders Sivle.

Om det måles over relativt kort tid, kan en i større grad bruke samme innstillinger uten at det blir upresist. På korte avstander er korreksjonen gjerne av liten betydning, men av hensyn til å oppnå best mulig nøyaktighet er det anbefalt å bruke parametere som tilsvarer forholdene på måletidspunktet. (Fosse et al., 2017)

3 Grunnlagsnett

Grunnlagsnettet ble etablert med god relativ bestemmelse, det vil si at fastmerkene er plassert med høy nøyaktighet i forhold til hverandre, uten at punktenes absolutte plassering nødvendigvis er veldig nøyaktig bestemt. Dette var viktig for å redusere usikkerhet i sluttresultatet. Med et dårlig bestemt nett, ville en ikke kunne attribuere avvik til laserskanningsmetoden. Ettersom laserskanningen baserer seg på FM3 og FM5, var det viktig at det faktiske forholdet mellom disse to punktene var nøyaktig bestemt.

3.1 Metode

Planlegging

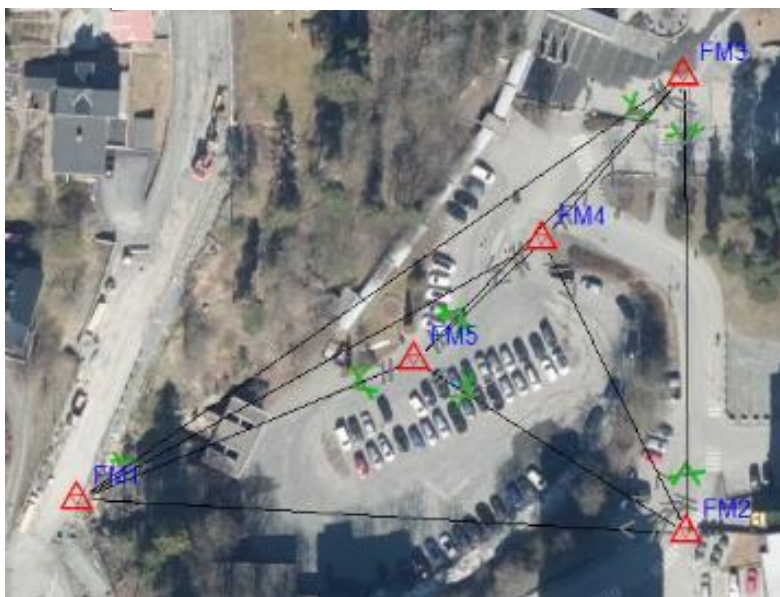
Gruppen gikk befarings på området utenfor Gjøvik olympiske fjellhall. Det var mange sikthindringer, så vi måtte passe på at vi kunne se alle de ønskede fastmerkene fra de forskjellige oppstillingene.

Feltarbeid

Grunnet manglende fastmerker i området ved fjellhallen, måtte fastmerker opprettes for å kunne georeferere polygondraget og skanningen. Utforming av grunnlagsnettet kan ses på bildet til høyre.

Dette ble gjort med GNSS-mottakeren Leica Viva GS16, ved hjelp av CPOS-tjenesten fra Kartverket og multistasjonen Leica MS60.

Figur 1: Illustrasjonsbilde, grunnlagsnett



Instrumentet ble akklimatisert, kalibrert og korrigert for atmosfæriske korreksjoner før bruk, og stativer ble strammet eller byttet hvis det ble oppdaget «slark» i disse.

For å sørge for god overbestemmelse i grunnlagsnettet, utførte vi satsmålinger mellom punktene med Leica Multistasjon 60 (MS60). Fastmerkene ble etablert i asfalten rundt Gjøvik olympiske fjellhall med asfaltspiker og oransje merkespray rundt asfaltspikeren slik at det var lettere å finne disse igjen. Utstyret ble kalibrert og akklimatisert før bruk, atmosfæriske korreksjoner ble hentet inn fra innkjøpt termometer med temperatur, trykk og luftfuktighetsmåler. Innkjøpt termometer (Marquant trådløs værstasjon, fra Jula) ble kontrollert opp mot Yr (nrk) og Storm (tv2). Måleforholdene varierte mellom opphold og til dels kraftig snøvær, noe bildet nedenfor vitner om.

Figur 2: Illustrasjonsbilde, måleforhold



GNSS

Ved bruk av satellitmottakeren Leica Viva GS16 ble utgangspunktet for grunnlagsnettet satt ved å utføre GNSS-observasjoner, tre ganger med 15 minutter tidsintervall mellom observasjoner (Kartverket, 2017). Dette ble gjort for å kunne estimere koordinater på

punktene vi ønsket å etablere. Disse GNSS-målingene ble midlet i programvaren før vi begynte med satsmålinger.

Satsmålinger

Dersom vi kun hadde brukt GNSS RTK enkeltpunktbestemmelse, uten statsmålinger mellom, ville vi ikke kunnet ha brukt dette som et like pålitelig utgangspunkt. Avvikene ved denne posisjoneringen er gjerne større enn ved laserskanning, og resultatene kunne dermed ikke bli brukt i lik grad for å vurdere registreringsmetodene opp mot hverandre.

Satsmålingene ble gjort ved å tvangssentrere med MS60 over GNSS-punktene. Det ble gjort fem helsatser fra hvert punkt (FM1, FM2, FM3, FM4 og FM5), slik at eventuelle grovfeil og “unøyaktige” satser kunne fjernes uten at det gikk utover kvaliteten og antall observasjoner som var nødvendig for å etablere punkt. Instrumenthøyden og siktehøyden ble målt med MS60 og kontrollert med kalibrert målebånd.

Dataprosessering

GNSS-observasjonene ble brukt som et utgangspunkt for georeferering. Med utgangspunkt mener vi at GNSS-observasjonene er supplementert med satsmålinger, hvor GNSS-observerte punkt har blitt flyttet på for å passe satsmålingene.

For å forhindre at det er tvang i nettet kan brukeren av dataene gjøre flere ting. En av disse løsningene er slik som vi har gjort, ved først å velge den lengste horisontale avstanden og bestemme retningen til grunnlagsnettet ut fra denne. Ved å sette en av disse punktene fri, slik at den kan «skli» på linja kan vi plassere punktet der den passer best med observasjonene. Når det er gjort, låses begge punktene (FM1 og FM3) og det gjøres en utjevning av nettet basert på orienteringen til den nye vektoren FM1-FM3 og koordinatet til det nye punktet FM3 og FM1 som ble brukt som utgangspunkt. FM1 ble brukt som utgangspunkt av to hovedgrunner. Den ene grunnen er at det er det høyeste punktet, uten risiko for flerveisinterferens fra nærliggende objekter eller hus, bygninger, høyder, og så videre. Den andre grunnen er at det lengste siktet i grunnlagsnettet er mellom FM1 og FM3.

Først etter fjerning av grovfeil og utjevning, kan vi kontrollere dette med en globaltest for å se etter tvang. Da gruppen hadde gjort utjevning, grovfeilsøk, indre pålitelighetstest og

globaltest, godkjente vi punktene til videre bruk i polygondrag og skanning. Neste delkapittel, 3.2, viser resultatet av de forskjellige testene og beregnet standardavvik på punktene i nettet.

For å kontrollere at punktene var innenfor de forskjellige signifikansnivåene, ble det gjennomført en kjikvadrattest. Denne testen har en øvre og nedre verdi som målt verdi skal være innenfor. Testen tar med følgende i beregningen; signifikansnivå, frihetsgrader, standardavvik på vekt og antatt standardavvik på vekt.

I programvaren Gemini Oppmåling valgte gruppen å ikke redusere satsene i grunnlagsnettet. Grunnen til dette var at vi fryktet at observasjoner som er gode, og som ikke slår ut som grovfeil, vil bli borte ved en reduksjon av satsene. Vi vet ikke hvordan type redusering (beregningsparametere) programvaren bruker til å redusere satsene, så derfor har vi valgt å ikke gjøre det. Dette gjelder for grunnlagsnettet og polygondraget. Programvaren som ble brukt er Gemini Oppmåling, versjon 5.1. Det er valgt å se bort ifra standarder ettersom vi jobber med et lokalt nett som ikke skal brukes av andre senere. Dette grunnlagsnettet ble laget for gruppens problemstilling, og skal ikke brukes til annet formål.

3.2 Resultat

Instrumentparameterene som ble brukt er de samme som står i databladet til Leica MS60 (Leica Geosystems, 2016). Sentreringen ble satt til 0.5mm for grunnriss og 0.8mm for høyde. Disse sentreringsparameterne mener vi er sannsynlige og ikke mulig å gjøre mer nøyaktig med tanke på «laserdottens» plassering på asfaltspikerens sentrum.

Figur 3: Instrumentparameterne, grunnlagsnett

Totalstasjon X

Nummer: Navn:

Standardavvik

	Konstantdel	Avstandsavh.del	Sentrering
Retningsmåling:	0.00030	0.00000	0.0005
Zenitavstand:	0.00030	0.00250	0.0008
Avstandsmåling:	0.0010	0.0015	0.0005

Addisjonskonstant: Referansetrykk (mmHg):

Målestokk (ppm): Referansetemp. (C):

Utjevningen er todelt for grunnriss og høyde, hvor grovfeil er fjernet før analyse av endelig utjevning. Standardavviket til hvert enkelt fastmerke er mindre eller lik 0.1mm i grunnriss for FM2 og 0.1mm i høyde for FM2, FM4 og FM5. På grunn av mange observasjoner blir beregnet standardavvik på enkeltpunkt lite. Ved bruk av satsreduksjon, etter fjerning av grovfeil, ble ikke antatt standardavvik på vekt større. Dette er noe som vi har stusset litt på, da det ofte blir det med en satsreduksjon.

Ved indre pålitelighetsanalyse av grunnriss blir det flagget en observasjon som kan ha grov feil, men etter nærmere analyse kom vi frem til at det ikke var grovfeil i observasjonen, da en annen observasjon er tilnærmet lik uten å bli flagget. Observasjon FM5 til FM2 er flagget, men observasjon FM5 til FM3 er ikke flagget, derfor så vi bort i fra denne. Ved analyse av høyde blir det ikke flagget noen antatte gjenværende grove feil.

Globaltesten ble gjort først i grunnriss og høyde hver for seg, deretter i 3D. Det var ingen forskjell ved å skille mellom globaltest i høyde og grunnriss, fra globaltest i 3D.

Globaltestresultatet vedlagt, er derfor i 3D. Globaltesten viser tvang på 1mm i høyde. Flere ting kan ha forårsaket dette, men det kommer vi tilbake til i neste delkapittel, 3.3 Diskusjon.

M0, altså antatt standardavvik på vektsenheten, i programvaren stemmer ikke overens med beregnet kjikvadrat/tabellverdi for nedre verdi i grunnriss. M0-verdien er rett og slett for lav til at den blir akseptert av kjikvadrattesten. Gruppen kan ikke gjøre instrumentparameterene bedre, da det blir usannsynlig bra og bedre enn hva instrumentspesifikasjonen for Leica MS60

tilsier (Leica Geosystems, 2016). Se figur 3 for brukte instrumentparametere for grunnlagsnettet.

Utjevning-, grovfeil-, indre pålitelighet-, globaltest- og kjikvadratsanalyse ligger vedlagt i kapittel 8. Vedlegg – 8.1 Grunnlagsnett.

3.3 Diskusjon

Gruppen mener den gode lokale nøyaktigheten i grunnlagsnettets skyldes grundighet når det kommer til utførelse av feltarbeid og at vi har brukt en metode, som er forklart under 3.1.2 Feltarbeid – Dataprosessering i Gemini Oppmåling, som gjør at vi kan få tilnærmet null i standardavvik på enkeltpunktene, altså 0,1mm standardavvik i grunnriss og høyde.

Instrumentparametre er viktig å sette riktig, fordi det bestemmer vektning og igjen kan flytte på punktet. Det er fulgt instrumentparameterene til Leica multistasjon 60 sitt datablad, utenom sentrering, som er brukerstyrt. Det kan ha oppstått sentreringsfeil, men siden disse er konstante vil de ikke være mulige å se eller oppdage. Satsmålingene kan ha lave interne avvik som er vanskelige å oppdage. Utfordringene vi hadde underveis var blant annet at noen av stativene stod utenfor og i området rundt fjellhallen, hvor det var mye fotgjengertrafikk i løpet av hele måletiden. Det var et tilfelle hvor en gruppe barneskoleelever flyttet på ett av stativene. Dette resulterte i at vi måtte gjøre observasjoner i grunnlagsnettets på nytt.

Tvungen i høyde som ble oppdaget i FM1 ved globaltesten kan skyldes flere ting, men mistanken er at det kan være avvik eller feil ved beregning av punktet FM3 på linja FM1 til FM3. Videre kan det nevnes at avviket er 1mm i høyde, så denne tvungen er ikke betydningsfullt for resten av beregningene. Det skal nevnes at selv om globaltesten ikke indikerer at det er grove feil i dataene, så kan det være det. Ved beregning av kjikvadrat ble det oppdaget at den antatte M_0 -verdien (standardavviket på vekt) ikke samsvarte med nedre tabellverdi for grunnrisset. Dette kan skyldes flere ting, som for eksempel brukerfeil eller programvaren som ble brukt. Gruppen hadde ikke verken tid eller kunnskap for å kontrollere om beregningsparameterne til Gemini Oppmåling var korrekte. Med tanke på satser og satsreduksjon vet vi at Gemini Oppmåling regner hver halv-sats som en stasjon, dette gjør at sentreringsparameterne må settes kunstig lavt for å øke antatt standardavvik på vektenheten.

Når det kommer til satsreduksjon, gjorde vi dette etter fjerning av grovfeil og fikk samme resultat som å ikke utføre satsreduksjon, men på grunn av at vi ikke vet konkret hva Gemini Oppmåling gjør ved en satsreduksjon valgte vi å se bort i fra dette. Vi kunne gjort satsreduksjon manuelt, men på grunn av arbeidsmengden dette hadde medført, så vi bort i fra dette også. Vi mener vektingsmodellen «beregnet standardavvik på vekt» til Gemini oppmåling ikke reflekterer realiteten, ettersom den virker kunstig lav, selv ved satsreduksjon.

Standardavviket på enkeltpunkt var tilnærmet likt null, og derfor burde antatt standardavvik på vekt vært nærmere 1.

Test av ytre pålitelighet er ikke gjort på grunn av manglende fastmerker. Ytre pålitelighetstest krever fire eller flere kjente fastmerker, vi hadde bare to som vi brukte som utgangspunkt til grunnlagsnettet, hvor FM1 ble satt som «kjent».

4 Polygondrag

Hensikten med det tilsluttede polygondraget er henholdsvis å etablere fastmerker i svømmehallen og halvveis inn til svømmehallen fra inn- og utgang.

4.1 Metode

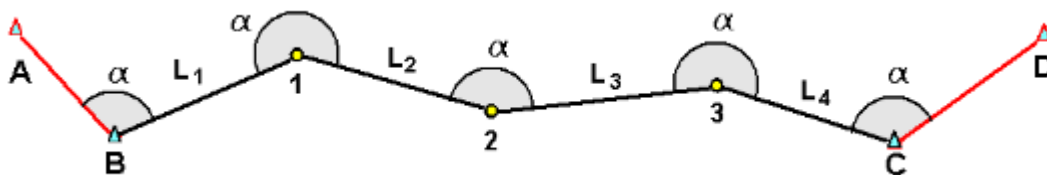
Planlegging

Etter analyser av grunnlagsnettet, hvor det var observert tvang på 1mm i FM1 ved globaltesten (se 3.2 Resultat eller vedlegg 8.1.3 Globaltest), valgte gruppen å se bort fra dette avviket ved start av polygondraget. Gruppen kom frem til at det var larest å starte i FM3, fremfor FM4 som var planlagt tidligere da FM3 hadde sikt direkte langt inn i Fjellhalltunnelen og vi kunne dermed starte polygondraget med en mindre oppstilling. Noe vi tenkte var lurt, ettersom flere oppstillinger påfører større risiko for å introdusere avvik.

Feltarbeid

Polygondraget ble utført for å etablere koordinatbestemte punkt inne i anlegget, som et sammenligningsgrunnlag å vurdere laserskanningen opp mot.

Figur 4: Illustrasjonsbilde, tilsluttet polygondrag



Gruppen utførte et tilsluttet polygondrag, som vist i illustrasjonen over. Grunnen til at vi utførte tilsluttet polygondrag og ikke fagverksdrag er at fagverksdrag ville tatt for lang tid og vi forventet, fra tidligere erfaring, at et tilsluttet polygondrag skulle være godt nok for vår analyse.

Ved oppstart av polygondraget ble instrumentet kalibrert, og atmosfæriske korreksjoner ble registrert både utenfor og inne i fjellhallen. Instrumentet ble kalibrert fem runder i begge kikkertstillinger. Vanligvis er det anbefalt med tre, men ut ifra faglige diskusjoner i sommerjobb med fagpersoner som jobber med Leica MS60 på daglig basis, viser det seg at fem runder i begge kikkertstillinger gir bedre resultat. Det er ikke nødvendig med fem observasjoner, men det fungerer som en sikkerhet mot menneskelige avvik.

Videre ble det vurdert at rotasjonshastigheten på multistasjonen var i overkant rask. Derfor ble den justert ned for å redusere sjansen for at rotasjonskraften påvirket observasjonene. Måleoppsettet gruppen brukte var som følger; A´B´A´´B´´, hvor A´ er første kikkertstilling og A´´ er andre kikkertstilling. Dette ga et oversiktlig oppsett med tanke på dataeksport i etterkant. Det førte også til like måleintervaller mellom punktene. I tillegg var det enkelt for brukeren å følge med på hvilken sats og observasjon som ble tatt.

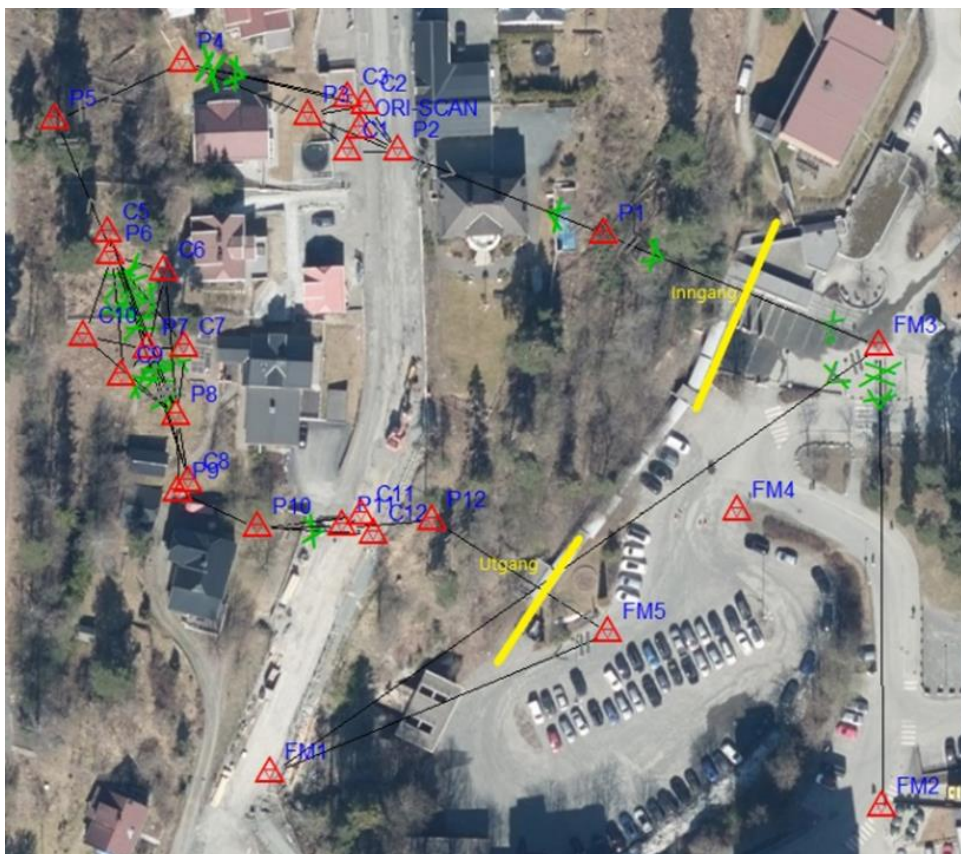
Som en sikring underveis ble det brukt seks stativer i tilfelle noe skulle gå galt. Grunnen til dette var ikke bare sikring, men også effektivitet i den forstand at et nytt framsikt alltid var ferdig vatret og klart til bruk ved forflytting i polygondraget. Ved bruk av tre stativer, ville ikke denne effektiviteten ha vært mulig, siden stativene til enhver tid er i bruk. Gruppen hadde tidligere observert at vi var nødt til å bruke forskjellige metoder for oppstilling underveis. Noen steder var det asfalt, slik som i hovedinngangen til fjellhallen, mens andre steder, som svømmehallen og gangen ut fra svømmehallen var det henholdsvis fliser og glatt linoleumsbelegg på gulvet. Gruppen valgte å bruke stativbeina på asfalten og i fugen mellom flisene, mens der hvor det var belegg brukte vi Leica GST4 «Stativstjerne», som gjorde det lettere å vatre instrumentet.

For å ta hensyn til atmosfæriske forhold ble det kjøpt inn et termometer som kunne vise temperatur, trykk og luftfuktighet. Vi akklimatiserte instrumentet ved inn og utgang av fjellhallen, noe som tok en del tid grunnet temperaturforskjellene. Vi fulgte produktdatabladet til MS60, hvor det står at instrumentet trenger to minutter per grad celsius endring (Leica Geosystems, 2016). På det meste ga det et måleopphold på 50 minutter, da temperaturen inne var 15 grader celsius og ute -10 grader. I figur 5 er et oversiktsbilde over inn- og utgang av fjellhallen, samt hvor det tilsluttede polygondraget er i forhold til fastmerkene utenfor.

Ved innmåling av check points i gangene til og fra svømmehallen, samt inne i svømmehallen, ble disse målt tre ganger fra hver oppstilling, og helst fra tre ulike stasjoner der det lot seg

gjøre. Målingene ble utført ved å sikte inn på ett check point, for så å snu og vri på instrumentet, for så å måle på nytt til samme check point i samme kikkertstilling. Dette ble repetert tre ganger for hvert punkt. Polygondragsoppstillingene ble godkjent i programvaren før importering av detaljpunkt, slik at detaljpunktene var uavhengige, og ville ikke påvirke polygondraget ved en utjevning. Det ble gjort en utjevning av detaljpunktene i programvaren, da det var tilstrekkelig med observasjoner til punktene. Check pointene var papirtargets som vi skulle bruke som kontroll til laserskanningen. Noen steder var det vanskelig geometri til detaljpunktene, som ble løst ved å plassere polygondragsoppstillingene så godt som det lot seg gjøre, uten at vinklene ble for krappe mot check pointene. Se figur 5 for en oversikt over det tilsluttede polygondraget. Se figur 6 for instrumentparameterene brukt i programvare.

Figur 5: Illustrasjonsbilde, tilsluttet polygondrag



Figur 6: Instrumentparametere, polygondrag

Totalstasjon ×

Nummer: Navn:

Standardavvik

	Konstantdel	Avstandsavh.del	Sentrering
Retningsmåling:	<input type="text" value="0.00030"/>	<input type="text" value="0.00000"/>	<input type="text" value="0.0003"/>
Zenitavstand:	<input type="text" value="0.00030"/>	<input type="text" value="0.00250"/>	<input type="text" value="0.0007"/>
Avstandsmåling:	<input type="text" value="0.0010"/>	<input type="text" value="0.0015"/>	<input type="text" value="0.0003"/>

Addisjonskonstant: Referansetrykk (mmHg):

Målestokk (ppm): Referansetemp. (C):

4.2 Resultat

Ved utjevning av det tilsluttede polygondraget har Punkt P4 til P9 samme 3D-standardavvik og er det høyeste standardavviket gjennom det tilsluttede polygondraget. De nevnte punktene har et 3D-standardavvik på 0.469mm, hvor grunnriss utgjør 0.360mm og høyde 0.300mm. For å få en indikasjon på nøyaktigheten på draget ble det gjennomført et blinddrag i programvaren, hvor FM5 ble fristilt. Da ble det totale standardavviket i FM5 2 mm i nord, 1.6 mm i øst og 0.6 mm i høyde. 8. Vedlegg – 8.2.1, viser mer detaljert utjevningsrapport for høyde og grunnriss.

I check points var det største standardavviket i C12, hvor nord-standardavviket gir høyest verdi på 1.6mm. Resterende check points varierer med et standardavvik på 0.1mm til 0.2mm i nord, 0.1mm til 0.3mm i øst og 0.1mm til 0.2mm i høyde ved utjevning av punktene.

Videre ble polygondraget kontrollert på samme måte som grunnlagsnett, gjennom kjikvadratberegning. Her opplevde vi at alle målte verdier var innenfor øvre verdi, men ikke for nedre verdi. Dette skyldes mest sannsynlig det samme som i grunnlagsnett, altså antallet overskytende observasjoner påvirker beregningsmodellen til Gemini Oppmåling. Det samme ser vi ved kjikvadratberegning, ved at antatt standardavvik på vekt for alle signifikansnivå er for lavt.

4.3 Diskusjon

Høyden, både for tilsluttet polygondrag og blinddrag, viser seg å være sub-millimeter, henholdsvis 0.3mm og 0.6mm. Dette mener gruppen viser grundighet ved gjennomførelse av polygondraget. Ved grundighet menes at en rekke hensyn ble tatt ved utførelse av feltarbeid.

Grunnen til at nord-standardavviket i C12 er på 1.6mm i nord er mest sannsynlig på grunn av dårlig vinkel fra multistasjonsoppstillingene til check point C12. I korridoren fra svømmehallen til utgangen var det trangt og vanskelig å få god vinkel på check points Dette kan være en medvirkende årsak til at punktet C12 får høyere standardavvik enn de resterende standardavvikene i de andre punktene, som for øvrig varierte mellom 0.1-0.2mm i nord. Målingene til check points kan ha lave interne avvik, hvor resultatene ligner på hverandre.

Etter samtale med Andras Ladai (veileder), bestemte vi oss for ikke å endre instrumentparameterne utover det som står i instrumentspesifikasjonene til Leica MS60. Dette medførte at kjøkvadrattest feilet ved nedre tabellverdi, med unntak av høyde, for polygondraget. Det er vanskelig å hevde at vi hadde en bedre sentreringsnøyaktighet i høyde på asfaltspikeren enn 0.7mm og bedre enn 0.3mm for grunnriss. Dette er fordi vi brukte laseren til multistasjonen for tvangssentrering, noe som ikke er like nøyaktig som ved bruk av trådkors. Grunnen til at vi valgte å bruke instrumentet og ikke trådkors til tvangssentrering er rett og slett fordi det var ønsket å begrense usikkerheten ved tvangssentreringen til ett instrument istedenfor å måtte jobbe med to eller flere usikkerheter knyttet til dette.

Med tanke på programvaren og beregningsparameterene til Gemini oppmåling, så mener vi det kanskje kan være noe som ikke stemmer med beregningsmodellen/kalkuleringsmodell til Gemini oppmåling når det kommer til antatt standardavvik på vektenheten. Antatt standardavvik på vektenheten er ikke kontrollert med andre programvarer. Når det kommer til sentreringsparameterne som er satt for grunnriss og høyde mener gruppen dette er innenfor hva vi kan forvente til laserstrålens nøyaktighet på multistasjonen. Sentreringsparameterne var satt til 0.3mm i grunnriss og 0.7mm i høyde. Asfaltspikeren har ett punkt i midten, som vi sentrerte over. Dette punktet har en radius på ca. 2.5mm, hvor laserstrålen traff meget nøyaktig, noe det var lett å kontrollere ettersom denne hadde omtrent samme radius. Ut ifra dette kan mener gruppen at det var fornuftig å sette sentreringsnøyaktigheten til 0.3mm i grunnriss da laserstrålens radius og asfaltspikerens radius traff hverandre innenfor nevnte

nøyaktighet. Ved høyde satte vi 0.7mm på grunn av usikkerhet knyttet opp mot nøyaktigheten til laseren. Vi brukte målebånd kalibrert til utstyret for å kontrollere høyden. Den avviket aldri mer enn 0.5 til 1mm da vi observerte dette. Gruppen valgte å stole mer på instrumentets laser enn det kalibrerte målebåndet, da dette målebåndet hadde litt «slark» og virket litt mer unøyaktig. Av erfaring fra tidligere jobb som tømrer har målebånd som regel kortere levetid enn en lasermåler og kan ha slark etter lengre tidsbruk.

5 Laserskanning

5.1 Metode

Dette delkapittelet består av to deler, feltarbeid og dataprosessering, og beskriver metodevalg og utførelse knyttet til laserskannarbeidet i dette prosjektet.

5.1.1 Feltarbeid

Innstillinger

Ved oppstart laserskanning, kan en velge blant ulike metoder for orientering, slik at skannedataene georefereres i felt. Hver stasjon har sitt eget koordinatsystem, så slik orientering må gjøres for hver oppstilling. Som nevnt i teorikapittelet, kan denne orienteringen gjøres på flere måter, både ved frioppstilling og sikt til tre fastmerker, eller ved tvangssentrering over kjentpunkt og med kjent baksikt. Det finnes også laserskannere med INS, en form for relativ posisjoneringsmekanisme, som gjør at stasjonen vet omtrentlig hvor langt og i hvilken retning den har blitt forflyttet fra én stasjon til den neste. Dette er muligens ikke svært nøyaktig, men kan gjøre registreringsjobben i ettertid raskere.

Siden orientering av hver stasjon ville vært en tidkrevende og tungvint øvelse i dette prosjektet, grunnet langstrakt geometri og for få koordinatbestemte targets, ble det ikke gjort. Vi begynte bare å skanne. Stasjonene er inntil videre dermed helt uavhengige av hverandre. Siden vi skulle vurdere registreringsmetodenes evne til selv å sette sammen punkttskyene, la vi ikke inn noen orientering i stasjonene. Registrering og georeferering ble derfor gjort i programvare i ettertid. Mer om det lenger ned.

Vi målte instrumenthøyde på laserskanneren kun når vi tvangssentrerte over FM3 og FM5. Ellers var instrumentet aldri sentrert over kjentpunkter gjennom skannedraget, og da ble det naturlig nok ikke lagt inn instrumenthøyder.

Targetbruk

Targetene vi brukte var i hovedsak papirark med målskive på. Vi brukte mal tilhørende laserskanneren i bruk, Leica P40. Disse papirtargetene hadde to ulike roller. 11 av dem ble brukt som check points, i det følgende gjerne referert til som C-targets. Dette er targets som er gitt NTM-koordinat fra polygondraget. Fem ble plassert i svømmehallen, tre i Fjellhalltunnelen og to i gangen ut fra svømmehallen. Dette for å ha et fordelt sammenligningsgrunnlag, for å kunne vurdere avvikene progressivt gjennom skannedraget.

Resten var tiltenkt bruk i den targetbaserte registreringen. Omtrent 60 slike T-targets ble satt opp, hvorav rundt 40 ble brukt til registrering. En del ble altså ikke brukt, enten ved ugunstig plassering som gjorde targetet ubrukelig eller ved bruk av Leicas spesialtargets i stedet. T-targets er ikke innmålt med koordinat, men ble brukt som tie-points, felles synbare punkt mellom punktskyer. Også disse er forsøkt jevnt fordelt, og med varierende høyde. Vi skannet også garderobene i svømmehallen, ettersom dette var del av avtalen med Gjøvik kommune. Det ble gjort med ren cloud-to-cloud, uten targets. Garderobene utgjør en avstikker fra, og ikke en del av, hoveddraget. Som nevnt i teorikapittelet, er det alltid anbefalt å ha targets som kontroll i hoveddraget.

Vi laserskannet over tre dager. I løpet av denne tiden ble vi kjent med at det fantes magnetiske spesialtargets vi kunne bruke, Leica GZT21. Disse kunne med enkelhet festes på metall der det passet, stå ut fra veggen og roteres. Disse egenskapene kom svært godt med i trange ganger med smal geometri, samt utendørs, hvor det var få egnede flater å sette opp papirtargets over lenger tid. Vi hadde, av denne grunn, ikke satt ut noen targets utendørs til å starte med. Dermed manglet targetkobling mellom det første fastmerket FM3 og inngangen av tunnelen.

Vi så nytten av Leicas spesialtargets i slutten av skannedraget, i koblingen mellom utgangen og fastmerket FM5, og bestemte oss for å gjøre det samme mellom FM3 og inngangen. Vi tok dermed oppstillingene i starten av skannedraget på nytt, i fastmerket FM3 og første oppstilling i tunnelen, nå med bruk av godt synlige spesialtargets. I tillegg til å gi mer gunstige vinkler til targetet, innbilte vi oss at de magnetiske Leica-targetene også ville gi bedre kontrast over lenger avstand, enn papirtarget.

Ved skanning utendørs, både i fastmerkene og stasjonene i døråpning, ble vi anbefalt å bruke maksimal måleavstand. Det gjorde at fjerntliggende objekter som bygninger ble tatt med.

Dette viste seg å bli viktig ved bruk av cloud-to-cloud, ettersom det ellers er få overlappende punkt utendørs, mellom stasjonene i fastmerket og døråpning. Fortsatt er dette de koblingene med lavest prosentandel overlapp, og programvara klarte ikke sette de sammen automatisk. Bygninger i bakgrunnen var sært nyttig ved manuell «visual alignment», når punktskyene registreres manuelt. Vi kunne med fordel ha brukt en ekstra oppstilling mellom for å gi mer overlapp.

Oppstillinger

Antall oppstillinger avhenger av en rekke hensyn, slik som størrelsesomfang, geometri, sikthindringer, nødvendig overlapp, og romlig oppløsning.

I planleggingen av oppdraget, brukte vi plantegninger og fysisk inspeksjon på området for å bestemme omtrentlige oppstillingsposisjoner og passende avstander mellom oppstillingene, samt undersøke mulige utfordringer. Dette inkluderer sikthindre og reflekterende objekter. I garderobene og trimrommet var det eksempelvis en del speil. Dette håndterte vi på to vis. Små speil ble tatt ned, mens de større ble tildekket før vi skannet.

Vi brukte fullskann. Det vil si at det skannes i alle retninger, slik at alt i skannerens synsfelt tas med, så lenge det er innenfor maksimal avstand. Vi brukte punkttettheten 6.3 mm på 10 meters avstand, som er middels høy oppløsning. Dette antok vi ville være mer enn høyt nok, samtidig som at det ikke ga oss uhåndterlig store datamengder eller ble for tidkrevende.

Oppløsning har stor innvirkning på tidsbruk både ved skanningen og etterprosessering. I et kost-nytteperspektiv er det dermed ikke formålstjenlig å bruke høyere punkttetthet enn nødvendig.

Porras-Amores et al. (2019) anbefaler å bruke lavere oppløsning, men flere oppstillinger for bedre resultater. Studien til Porras-Amores et al. gjelder digitalisering av undergrunnskonstruksjoner. Grunnen til at resultatene er interessante i denne sammenhengen er at skanning i undergrunnsmiljø, i likhet med tunnel, gang og svømmehall, eller innendørs for øvrig, gir store punktskyer. Dette kommer av at det gjerne er flater i alle retninger, og dermed flere punkter som måles, enn eksempelvis i åpne områder utendørs hvor kun punkt på bakken måles.

I fjellhalltunnelen brukte vi oppstillinger vi mente ville gi tilfredsstillende overlapp mellom punktskyene. Lindenbergh et al. (2005) påpeker at forventet antall punkt kan beregnes på

forhånd, for lettere å kunne optimalisere valg av oppstillinger, ved å gi tilstrekkelig dekning med så få oppstillinger som mulig. Vi gjorde ikke andre beregninger enn å regne ut omtrentlig avstand mellom stasjoner for å oppnå en viss minste punkttetthet. Så langt det lot seg gjøre, hadde vi oppstillinger i midten av tunnelen. Generelt sett er det å foretrekke, fordi det gir en jevn avvikfordeling i tverrsnitt. (Wang et al., 3014)

I utgangen i andre enden hadde vi mindre frihet i valg av oppstillinger grunnet smal gang og dårligere sikt. Her var oppstillingene i større grad styrt av hvor vi behøvde dekning. Svømmehallen er kjerna i oppgava. Det er her vi ønsket best dekning og lavest avvik. Her har vi dermed høyest konsentrasjon av oppstillinger og grad av overlapp. I tillegg til oppstillinger i døråpningene inn til svømmehallen, hadde vi fem oppstillinger i selve hallen.

Vi skannet uten fargebilde for å spare tid. Som Porras-Amores et al. (2019) skriver, er bruk av fargebilder ikke å anbefale dersom en har mange oppstillinger, ettersom skannetiden øker dramatisk. Det kan hjelpe i klassifiseringsarbeid ved å gjøre objekter mer gjenkjennelige, men dette er ikke særdeles nyttig i denne oppgava. Dermed ble det vurdert som unødvendig. Vi tok det likevel med i fastmerkene FM3 og FM5, samt stasjonen midt i svømmehallen, mest av illustrasjonshensyn.

Ved bruk av cloud-to-cloud er det anbefalt å gå et lukket skannedrag, det vil si å ha god overlapp mellom første og siste oppstilling. I vårt tilfelle ville det antagelig vært behov for flere ekstra oppstillinger mellom FM3 og FM5, ettersom overlappen mellom fastmerkene kun er ca. 4%. Dette var ikke så aktuelt for oss, ettersom vi tvangssentrerte over fastmerker og var interessert i å se på avvikene opp mot C-targets og FM5, når denne fristilles.

5.1.2 Dataprosessering

Manglende subscans

Ved etterprosessering i programvarene, Leica Cyclone Register 360 og Leica Cyclone, opplevde vi at enkelte subscan ikke ble importert, til tross for at targetene var blitt subscannet i felt og fantes i rådataene. Det skjedde først og fremst i Fjellhalltunnelen, mellom inngangen og Fjellhaven. Felles for de som manglet, var at kvaliteten på subscannet hadde vært dårligere enn vanlig. Etter utført subscanning, oppgis bemerkningen «ok» eller «dårlig». Ved flere tilfeller, og gjentatte forsøk, fikk vi oppgitt «dårlig» på subscan vi var avhengige av for å lage koblinger i en targetregistrering. Vi valgte derfor å lagre disse, og ikke forkaste dem. Men i programvaren lot de seg ikke importere.

Det er mange mulige årsaker til at kvaliteten på enkelte subscan var dårlig, men det virker gjerne å ha sammenheng med avstand. På store avstander opplevde vi at kontrasten mellom det svarte og hvite i targetet begynte å bli dårlig. Avstand svekker intensiteten på returpulsen. Resultatene i en nyere studie (Janßen et al., 2019) indikerer at Leicas spesialtargetets ville ha vært brukbare selv på 100 meter lange sikt. Bruk av disse, i stedet for papirtarget, kunne muligens ha redusert problemet med kontrast. Alle dårlige subscans er nemlig godt under 100 meter fra stasjonen, og skulle ha vært innenfor rekkevidde.

Mest av alt ser innfallsvinkel ut til å ha betydning. Dersom innfallsvinkelen er under 45 grader kan det forårsake betydelige nøyaktighetstap, ifølge Cox (2015). Tunnelens langstrakte geometri ga ofte skarpe vinkler til targets. Selv om kontrastene var svært gode og avstanden kort, virket det som at fasongen, den svakt ikke-sirkulære avbildningen av targets, gjorde de ugjenkjennelige for programvaren. Også bakgrunnsstøy kan ha forringet kvaliteten. Med gunstig, ortogonal skannevinkel og relativt kort avstand, ble ett av targetene i svært liten grad gjenkjennelig i subscannet. Dette kan ha skjedd på grunn av reflekterende, malt betongvegg rundt targetet.

Problemet ble tatt opp med Leica Support via e-post. De hadde ingen løsning og mente det kunne skyldes en «bug», feil. Vi sto derfor overfor et valg, enten å endre problemstilling eller forsøke å jobbe med de tilgjengelige dataene. Å utføre feltarbeid på nytt var i praksis ikke et gjennomførbart alternativ. Ønsket var å kunne besvare problemstillingen, hvor targetbasert registrering inngår. Vi måtte dermed lage koblinger der det ikke var nok subscan til å registrere punktskyene sammen.

Vi forsøkte først å pickpointe de manglende targetene. Det vil si å plukke ut et punkt i punktskyen så nært sentrum av targetet som mulig. Dette kan være en svært unøyaktig metode, spesielt på lang avstand. Vi ble derfor anbefalt heller å bruke cloud-to-cloud i disse koblingene, for ikke å introdusere nye og manuelle grovfeil. Med pick-pointing kunne vi ikke lenger ha sammenlignet metodene i like stor grad. Manglende subscans ga et mindre sammenligningsgrunnlag, men ved cloud-to-cloud korrumpes i hvert fall ikke kvaliteten gjennom unøyaktig pick-pointing. Forskjellene i sluttresultatet vil fortsatt være effekten av targetbruk, da koblingene med cloud-to-cloud vil være tilsvarende.

Registrering

Problemstillingen vår handler om å sammenligne registrering med og uten targets. Det er dermed to hovedtyper vi skiller mellom. Men det finnes mange alternativer ved registrering, spesielt på et så stort prosjekt som dette. Vi har derfor utført flere registreringer for å vurdere effekten av ulike valg. Dermed har vi i alt seks registreringer, én targetbasert og fem ved bruk av cloud-to-cloud. Disse registreringene blir i det videre gjerne referert til som «modeller».

Både prosjektets karakter og bevisste valg gjør at vi kun har én targetbasert modell, og ikke tilsvarende versjoner som med cloud-to-cloud. Targetbasert registrering krever minst tre felles synbare targets mellom oppstillinger. Med den langstrakte geometrien i dette prosjektet, var det svært få tilfeller der vi kunne danne flere koblinger mellom stasjoner, med unntak av svømmehallen. Derfor er det kun én targetmodell, med enkle, kronologiske koblinger. Enhver oppstilling er med andre ord kun koblet til oppstillingen før og den påfølgende.

Når det gjelder cloud-to-cloud har tre av modellene tilsvarende enkle koblinger. To av disse er utført på samme måte, for å sammenligne og undersøke effekten av den manuelle jobben i visual alignment. Disse er, i likhet med targetmodellen, uten garderobene. I tillegg gjorde vi en tilsvarende cloud-to-cloud-registrering, men der vi tok med garderobene. Denne modellen brukes for å undersøke hvilken effekt garderobene har, som ekstra koblinger. De siste to modellene har mange koblinger mellom stasjoner. Med kobling menes forholdet mellom to ScanWorlds, eller stasjoners punktskyer. I Cyclone 360 kan en velge hvilke koblinger en ønsker å bruke i registreringen. Kvaliteten på koblingene varierer, så mange koblinger er ikke ensbetydende med lavere avvik.

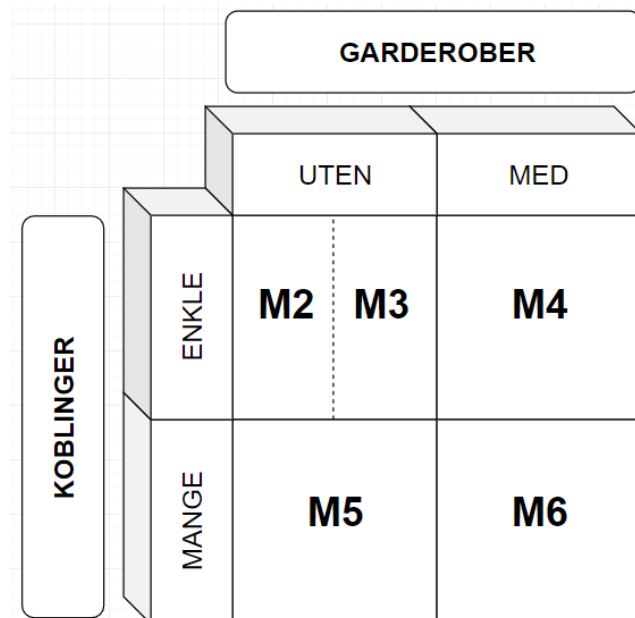
Alle koblingene med en viss kvalitet ble inkludert. Valg av denne terskelen kan ha stor påvirkning på sluttresultatet. Koblingens avvik og grad av overlapp kan begge brukes til en

slik filtrering. Vi kunne ikke være for kresne når det gjaldt overlapp, ettersom de mest nødvendige koblingene, der det ikke fantes alternative koblinger, gjerne også var der overlappen var dårligst. Vi valgte derfor å bruke alle koblinger med avvik på 7mm eller lavere, uten å sette krav til overlapp. I Fjellhalltunnelen og utgangen åpnet det for å kunne bruke enkelte ekstra koblinger. Den største forskjellen er i svømmehallen, der koblingene ligner en “komplett graf”, ved at det er lenke fra alle stasjoner til alle stasjoner. Det gir seks koblinger fra hver stasjon.

De samme koblingene er brukt i begge modellene med mange ekstra koblinger, M5 og M6. Men én er med garderobene og den andre uten, i likhet med over. Denne gangen for å se hvilken effekt det har på avvikene dersom en bruker så mange gode koblinger som mulig.

For å vurdere effekten av garderobes og ekstra koblinger, er det fordelaktig at vi har mer enn ett sammenligningspar. I én sammenligning kan resultatet peke en vei, og i en annen kan resultatet være motsatt. Den nyansen vil ikke synliggjøres med kun ett sammenligningspar. Da er det enkelt å dra forhastede slutninger basert på et for tynt sammenligningsgrunnlag. Figuren under er ment for å vise hva de ulike cloud-to-cloud-modellene er, og hva de hjelper å analysere.

Figur 7: Konseptuell beskrivelse av sammenligningene med cloud-to-cloud-modeller



Georeferering

Georefereringen ble gjort likt for alle modellene fra registrering. Punktsky og fastmerkekoordinatene kobles sammen, for å gi hele punktsky NTM-koordinater. Tekstfil med koordinatene til FM3 og FM5 importeres til programvaren, og brukes sammen med den registrerte punktsky i en ny «registrering». Her må koordinatfila settes som «Home ScanWorld» for at sluttproduktet får NTM-koordinater. FM3 og FM5 brukes som «constraints», eller låste punkt. Ved georeferering trenger en minst to punkt. Programvaren godkjenner ikke kun ett punkt som «constraint», ettersom det ikke vil gi informasjon om orientering, og det vil være flere ukjente enn kjente faktorer.

For at fastmerkene skal kunne brukes som constraints og knutepunkt, må de finnes i både koordinatfila og punktsky med samme ID-navn. I punktsky er fastmerket plassert i det elektro-optiske senteret til laserskanneren. I koordinatfila må dermed instrumenthøyde legges til punktets høyde, for å få riktig z-verdi.

En stund opplevde vi problemer ved at hele punktsky var plassert omtrent 10 centimeter for høyt. Dette kom til syne ved å sammenligne med referansemodellen, koordinatbestemte check points. Etter omfattende feilsøking, og ved hjelp av veileder, fant vi ut at forklaringen var tosidig. Veileder gjorde oss oppmerksom på at målebåndet vi brukte for å måle instrumenthøyde på laserskanneren var ulikt tilsvarende målebånd som brukes til totalstasjon. Vi hadde brukt skannermålebåndet, men lagt til høydeforskjellen mellom skanner og totalstasjon. Den høydeforskjellen måtte derfor trekkes fra igjen. Dette reduserte høydeproblemet, men det gjensto fortsatt en høydefeil. Forklaringen på den fant vi ved å undersøke instrumenthøyden som var lagt inn på instrumentet. Instrumenthøyden vi hele tiden hadde brukt i programvaren var fra første oppstilling i FM3, mens skannedataene var fra andre oppstilling i samme punkt. Når vi brukte riktig instrumenthøyde, tilhørende andre besøket i FM3, forsvant høydeproblematikken. Da var høydeavvikene i check points bare noen millimeter.

Vi utførte to typer georeferering for hver modell. Én med lås i begge fastmerker, og én der FM5 fristilles. Antagelsen var at førstnevnte vil gi høyest avvik på midten av skannedraget, lengst fra fastmerkene, og at sistnevnte ville gi økende avvik gjennom skannedraget. Vi var dermed interessert i å sammenligne laserskanningens beregnede koordinat for FM5, med fastmerkets etablerte koordinat.

For å kunne fristille FM5, samtidig som programvaren krever to «constraints», forsøkte vi å vekte FM5 minimalt. Tanken var at den da kun ville brukes til orientering, og ikke ha noen tyngde i utjevningen. Vi la merke til at FM5 fortsatt påvirket utjevningen. Løsningen ble å gi FM5 det koordinatet det ville ha hatt dersom det var polart bestemt fra FM3. Vi brukte den kjente retningsvinkelen mellom fastmerkene og avstand i den constraint-frie punktskyen, til å regne ut nytt koordinat for FM5, med utgangspunkt i FM3. Når vi georefererte med det nye koordinatet, hadde ikke FM5 lenger en forstyrrende effekt i utjevningen, men fungerte som om den var fristilt.

5.2 Resultat

I flere av tabellene i denne rapporten vil en finne tall for RMS-avvik i tillegg til gjennomsnittsverdier. RMS, eller «Root mean square», kalles gjerne kvadratisk gjennomsnitt på norsk. Tallet er roten av det gjennomsnittlige avvikskvadratet, derav det engelske navnet. RMS regnes ut ved formelen under (Kartverket, 2015:56):

$$\text{Root Mean Square} = \sqrt{\frac{\sum ()^2}{n}}$$

Innenfor geovitenskapen er RMS-avvik det mest brukte statistiske målet. Gjennomsnittsavvik og standardavvik gir i tillegg et mer helhetlig bilde, da førstnevnte er et mål på nøyaktighet og det siste på presisjon. (Cuartero et al., 2010)

RMS kvadrerer avvikene, som er gunstig om en både har positive og negative fortegn i avviksfordelingen. RMS-avviket påvirkes både av gjennomsnittsavvik og standardavvik, og dermed kan målinger som har samme gjennomsnitt ha ulike RMS-avvik, dersom spredningen i datasettet er ulik. Det er en nyttig egenskap i denne analysen, for å kunne se på variasjon i avviksstørrelse i tillegg til aritmetisk middelværdi. Som tabellene i dette resultatkapittelet viser, er RMS-tallet gjerne ganske likt gjennomsnittet. Men i vårt tilfelle, der flere modeller har samme gjennomsnittsavvik, er RMS-avvikene gjerne noe mer informative og ulike, fordi modellene har ulike standardavvik.

5.2.1 Effekt av visual alignment

Sammenligning mellom to registreringer med samme metode - M2 og M3

Programvaren Leica Cyclone Register 360 får i mange tilfeller ikke til å sette sammen punktskyene automatisk ved import av skannedataene, på grunn av utilstrekkelig overlapp eller ikke nok felles identifiserbare «tie-points». Det gjør at punktskyene må settes sammen manuelt, ved bruk av verktøyet «visual alignment».

To registreringer, M2 og M3, er utført på likt vis, for å vurdere virkningen den manuelle innsatsen har på sluttresultatet. Ettersom programvaren bruker algoritmer til å sette sammen

punktskyene, er det vanskelig å vite nøyaktig hvordan det gjøres og i hvilken grad registreringen avhenger av svært presis manuell plassering i visual alignment. I begge registreringene ble det forsøkt å sette sammen punktskyene så godt som mulig.

Før godkjenning av enhver sammenkobling, oppgis det et avvik. Det gir en indikasjon på om en bør forsøke å sette sammen skyene mer presist. Gjerne var dette om lag én millimeter. Om det var særlig høyere enn det, kunne det hjelpe å forsøke på nytt. Om en derimot bare genererer avvikstallet på nytt, uten faktisk å ha gjort noen endring, blir det gjerne gitt et annet, men svært lignende, avvik. Det indikerer at det er en stokastisk prosess, ettersom denne datatilpasningen med minste kvadraters metode bruker sannsynlighet for å beregne best mulige forhold mellom to punktskyer. Da kan likt utgangspunkt returnere ulike resultat.

Tabell 1: Sammenligning mellom ulike registreringer med visual alignment

Sammenligning: Samme metode, ulike registreringer ved visual alignment							
FM3 og FM5 låst							
Referansepunkt	M2			M3			Referansepunkt
	Grunnriss	H	3D	3D	H	Grunnriss	
C1	0.012	0.002	0.012	0.010	0.003	0.010	C1
C2	0.011	0.003	0.011	0.009	0.003	0.009	C2
C3	0.011	0.002	0.011	0.009	0.003	0.009	C3
C5	0.010	0.003	0.011	0.009	0.003	0.008	C5
C6	0.008	0.002	0.009	0.007	0.002	0.006	C6
C7	0.007	0.003	0.007	0.006	0.003	0.005	C7
C8	0.003	0.004	0.005	0.004	0.004	0.002	C8
C9	0.003	0.004	0.005	0.004	0.004	0.001	C9
C10	0.005	0.003	0.006	0.004	0.003	0.003	C10
C11	0.002	0.001	0.003	0.004	0.002	0.004	C11
C12	0.002	0.001	0.002	0.005	0.001	0.004	C12
FM3	0.004	0.001	0.004	0.003	0.001	0.003	FM3
FM5	0.004	0.001	0.004	0.003	0.001	0.003	FM5
Gjennomsnitt (m)	0.006	0.002	0.007	0.006	0.002	0.005	Gjennomsnitt (m)
RMS (m)	0.007	0.003	0.008	0.006	0.003	0.006	RMS (m)

Tabellen over viser at de samme tendensene går igjen i begge modeller, at de første C-targetene har størst avvik, før de blir lavere. Romlige avvik er i gjennomsnittlig én millimeter lavere i M3 enn M2. Tilsvarende RMS-differanse er to millimeter. Dette fordi det er større spredning mellom avvikene i M2 enn M3.

Som en kan se, ble også fastmerkene flyttet på ved utjevningen i Cyclone. Det er uheldig, ettersom poenget med å bruke fastmerker som constraint er at de skal låses og dermed ikke flytte på seg. De skal være holdepunkter resten av punktskyen tilpasses. Til tross for grundig undersøkelse, lyktes det ikke å finne noen måte å låse fastmerkene slik at de ikke forflyttet seg ved georefereringen.

Ettersom avvik også ble fordelt på fastmerkene, ville disse være skjult og ikke komme til uttrykk om vi bare sammenlignet check points. Løsningen er derfor at gjennomsnittsavvik og RMS-avvik inkluderer både check points og fastmerkeavvik i utregninger. På den måten blir alle avvikene tatt med i beregningen.

5.2.2 Effekt av overskytende koblinger

Sammenligning mellom enkle og mange koblinger

Tabellen lenger ned sammenligner ulike cloud-to-cloud-modeller, der to har enkle, kronologiske koblinger mellom stasjonene i skannedraget, og to andre bruker alle koblinger av en viss kvalitet, beskrevet i metoddelen. M3 er ikke med i denne sammenligningen, siden den metodisk er lik M2.

M2 og M4 ble laget med enkle koblinger, og M5 og M6 med mange koblinger mellom stasjonene. De førstnevnte kan minne om tilsluttede polygondrag, ettersom det kun er enkle koblinger mellom påfølgende stasjoner, mens sistnevnte kan minne om fagverksdrag, ved bruk av ekstra lenker til andre oppstillinger.

M2 og M5, som er modeller uten garderobedelen, har gjennomsnittlig romlig avvik på henholdsvis 7 og 6 millimeter. I dette tilfellet er avviket dermed noe lavere i snitt ved bruk av mange koblinger. Som i forrige sammenligning, er RMS-forskjellen noe større på grunn av avviksfordelingen. Avviket i fastmerkene er de samme, på 4 millimeter romlig. Modellen med mange koblinger, M5, har lavere avvik i alle C-targets bortsett fra i C11 og C12, i enden av draget.

M4 og M6, som begge tar med koblinger gjennom garderobene, har det samme romlige avviket i gjennomsnitt, på 6 millimeter. Tilsvarende RMS-avvik er én millimeter større i M6, med mange koblinger, fordi modellen har de største enkeltavvikene, noe kvadreringsmetoden

RMS er sensitiv for. Avvikene i fastmerkene er én millimeter lavere i modellen med enkeltkoblinger, M4.

Tabell 2: Sammenligning mellom cloud-to-cloud-modeller

Sammenligning mellom cloud-to-cloud-modeller								
FM3 og FM5 låst								
Enkle koblinger								
Referansepunkt	M2 (u/garderobes)			M4 (m/garderobes)			Referansepunkt	
	Grunnriss	H	3D	3D	H	Grunnriss		
C1	0.012	0.002	0.012	0.008	0.001	0.008	C1	
C2	0.011	0.003	0.011	0.007	0.002	0.007	C2	
C3	0.011	0.002	0.011	0.007	0.001	0.007	C3	
C5	0.010	0.003	0.011	0.007	0.002	0.006	C5	
C6	0.008	0.002	0.009	0.008	0.001	0.007	C6	
C7	0.007	0.003	0.007	0.006	0.002	0.006	C7	
C8	0.003	0.004	0.005	0.006	0.002	0.005	C8	
C9	0.003	0.004	0.005	0.005	0.003	0.005	C9	
C10	0.005	0.003	0.006	0.004	0.002	0.004	C10	
C11	0.002	0.001	0.003	0.008	0.001	0.008	C11	
C12	0.002	0.001	0.002	0.008	0.000	0.008	C12	
FM3	0.004	0.001	0.004	0.003	0.001	0.003	FM3	
FM5	0.004	0.001	0.004	0.003	0.001	0.003	FM5	
Gjennomsnitt	0.006	0.002	0.007	0.006	0.001	0.006	Gjennomsnitt	
RMS	0.007	0.003	0.008	0.006	0.002	0.006	RMS	
Mange koblinger								
Referansepunkt	M5 (u/garderobes)			M6 (m/garderobes)			Referansepunkt	
	Grunnriss	H	3D	3D	H	Grunnriss		
C1	0.009	0.003	0.010	0.010	0.003	0.010	C1	
C2	0.008	0.003	0.008	0.010	0.003	0.009	C2	
C3	0.008	0.003	0.008	0.009	0.003	0.009	C3	
C5	0.007	0.004	0.008	0.010	0.004	0.009	C5	
C6	0.005	0.003	0.006	0.006	0.003	0.006	C6	
C7	0.003	0.003	0.005	0.005	0.003	0.004	C7	
C8	0.001	0.004	0.004	0.004	0.004	0.002	C8	
C9	0.000	0.004	0.004	0.005	0.004	0.003	C9	
C10	0.002	0.003	0.003	0.005	0.003	0.004	C10	
C11	0.004	0.002	0.004	0.004	0.002	0.003	C11	
C12	0.004	0.001	0.005	0.004	0.001	0.004	C12	
FM3	0.004	0.001	0.004	0.004	0.001	0.004	FM3	
FM5	0.004	0.001	0.004	0.004	0.001	0.004	FM5	
Gjennomsnitt	0.005	0.002	0.006	0.006	0.002	0.005	Gjennomsnitt	
RMS	0.005	0.003	0.006	0.007	0.003	0.006	RMS	

5.2.3 Effekt av kobling gjennom garderober

Sammenligning med og uten koblinger gjennom garderoberne

Den samme tabellen over viser også forskjell på modeller med og uten garderober. M2 og M4 består begge av enkle koblinger, men henholdsvis uten og med garderober. Gjennomsnittlig romlig avvik er én millimeter mindre i registreringen med garderober. Som tidligere, er RMS-differansen det dobbelte, to mm større i M2 enn i M4. For sistnevnte modell er avvikene i fastmerkene tre mm, én millimeter lavere enn M2.

M5 og M6, med mange ekstra koblinger, er svært like i både størrelser og fordeling av de enkelte avvikene. Gjennomsnittet er dermed likt, mens RMS-avviket i modellen med garderober er én millimeter større.

Figur 8: Romlige RMS-avvik for de ulike cloud-to-cloud-modellene

		GARDEROBER	
		UTEN	MED
KOBLINGER	3D ENKLE	M2 8 mm	M4 6 mm
	MANGE	M5 6 mm	M6 7 mm

«Metodematrisa» over er ment som en oppsummering av de tre undersøkelsene, for å illustrere effekten av de ulike cloud-to-cloud-valgene. Figuren viser hvordan de ulike analysene henger sammen, med resultater for romlige RMS-avvik oppgitt i millimeter. Etersom fire av fem modeller har samme gjennomsnittlig 3D-avvik på 6 mm, og M2 har 7 millimeter, er det tydelig at forskjellene er små. Ulikhetene mellom modellene kommer tydeligere til uttrykk ved bruk av RMS, selv om fortsatt lite skiller.

Den største forskjellen er, kanskje noe overraskende, mellom de to modellene registrert på lik måte, M2 og M3. Her er det romlige RMS-avviket henholdsvis 8 og 6 mm. Det gjør at bruk

av mange koblinger, i M5, gir to millimeter lavere avvik enn M2, med enkle koblinger. Men sammenlignet med M3, utgjør ikke ekstra koblinger noen forskjell. Mellom M4 og M6, blir avviket derimot én millimeter større når mange koblinger brukes.

Avviket blir to millimeter lavere ved bruk av garderobes, i M4, enn i M2. Men om en sammenligner M3 og M4, utgjør ikke garderobene noen forskjell. I modellene med mange koblinger, blir avviket faktisk én millimeter høyere ved å ta med garderobene.

5.2.4 Overordnet sammenligning av modeller

Fokus i denne oppgaven er å vurdere kvaliteten ved cloud-to-cloud-registrering sammenlignet med den en oppnår ved targetregistrering. Før vi går videre til en grundigere sammenligning av én target- og én targetfri registrering, kan det være nyttig å se targetregistreringen M1 i sammenheng med alle cloud-to-cloud-modellene, M2 til M6.

Tabellen under viser grunnriss-, høyde og romlige avvik i de seks modellene, når det er lås i begge fastmerker. Den viser at targetregistreringen i gjennomsnitt gir 1-2 millimeter lavere romlige avvik enn resten. Selv om denne differansen ikke er særlig stor, er avvikene av ganske ulik karakter. I grunnriss har M1 tydelig lavere avvik, med kun 2 mm i gjennomsnitt, sammenlignet med 5-6 millimeter i de andre. I høyde derimot er det motsatt. Her er avvikene i cloud-to-cloud-modellene 1-2 millimeter i gjennomsnitt, mens den er 5 millimeter i M1.

Tabellen viser også hvor de største avvikene er å finne i de ulike modellene. Det største enkeltavviket er C1-targetet i M2, på 12 millimeter. Felles for alle er at check points i starten av skannedraget har størst avvik, spesielt nevnte C1.

Tabell 3: Overordnet sammenligning av registreringsmodeller.

Gjennomsnittlige avvik i referansepunkt - lås i FM3 og FM5						
Modell	Gjennomsnittlig avvik			Største 3D-avvik		
	Grunnriss	Høyde	3D	Størrelse (mm)	Punkt-ID	
M1	0.002	0.005	0.005	0.008	C1, C2, C3	
M2	0.006	0.002	0.007	0.012	C1	
M3	0.005	0.002	0.006	0.010	C1	
M4	0.006	0.001	0.006	0.008	C1, C6, C11, C12	
M5	0.005	0.002	0.006	0.010	C1	
M6	0.005	0.002	0.006	0.010	C1, C2, C3	

Som i andre tabeller med lås i begge fastmerker, medregnes fastmerkeavvikene i utregningen av gjennomsnitt, slik at alle avvik i modellene tas med. Ideelt sett skulle de vært låst uten noen forflytning og avvik, slik at kun avvikene i C-targets ville blitt analysert.

Forventet kvalitet

Det er ingen standard måte for å regne ut et forventet akkumulert avvik gjennom et skannedrag, ettersom det i svært stor grad avhenger av ytre faktorer, og ikke bare instrumentets målekvalitet. Det er med andre ord ikke nok å kjenne til dragets lengde og antall oppstillinger, for å gi et generisk og presist anslag på total usikkerhet. Spesielt de skannede objektene er en betydningsfull ytre faktor, som varierer avhengig av skannemiljøet. Det er likevel ønskelig å ha et visst anslag å sammenligne oppnådd kvalitet med. For å få det, tar vi først hensyn til skannedragets totale lengde og antall oppstillinger, for å regne ut gjennomsnittlig lengde per oppstilling. Skannedraget er i overkant av 312 meter, og består av 22 stasjoner. Det gir gjennomsnittlig lengde på omtrent 14 meter. Vi ønsker med dette å finne en slags forventet kvalitet for én enkelt stasjon.

Det er ulike tilnærminger for hvordan et slikt anslag kan gjøres. Instrumentspesifikasjonen oppgir at 3D-posisjoneringsnøyaktigheten er 3 mm på 50 meter sikt, og 6 mm på 100 meter sikt. Dette antyder en lineær måte å regne på, men kan være problematisk på korte sikt, ettersom det ikke tar hensyn til instrumentets konstantavvik på avstandsmåling. Avvikene er dermed kun avstandsavhengig. Det er med andre ord ingen nedre grense for hvor lave avvik en kan oppnå med kort nok sikt, selv om dette i virkeligheten ikke er tilfelle.

Med gjennomsnittlig avstand på 14 meter og denne måten å regne på blir 3D-posisjoneringsnøyaktigheten 0.84 mm. Det er mindre enn instrumentets konstantavvik på avstand alene, på 1.2 mm, og er dermed overoptimistisk. På korte sikt gir avstandsusikkerheten større utslag enn vinkelusikkerheten, dette på grunn av det nevnte konstantleddet. Vinkelusikkerheten er kun målestokkavvik, og gir svært lite utslag på så kort avstand. Men nøyaktigheten på omtrent 40 ppm gjør at vinkelusikkerheten gir større utslag enn avstandsnøyaktigheten når sikt er ca. 40 meter og lenger. Det enkleste for oss er derfor å neglisjere vinkelusikkerhet og kun bruke usikkerhet i avstandsmåling, selv om også dette kan være overoptimistisk.

Avstandsavviket er summen av konstantleddet, 1.2 mm, og målestokkavviket 10 ppm. På 14 meter gir det 1.34 mm. Vi bruker dette tallet som 3D-usikkerhet for én enkelt stasjon, og feilforplantningsloven for å regne ut akkumulerte avvik i skannedraget gjennom iterasjon. Det vil si at resultatet av én utregning brukes som «input» i den neste. På denne måten legges usikkerheten i første stasjon sammen med usikkerheten i neste, og så videre. Den totale usikkerheten er kvadratroten av summen av hver enkelt usikkerhet kvadrert. Med 22 stasjoner er dette tallet 6.3 mm i enden av draget.

Oversiktstabellen under viser at samtlige cloud-to-cloud-registreringer har betydelig større avvik i slutten av skannedraget enn det «forventede» avviket. Det romlige avviket i FM5 varierer med 13 til 17 millimeter, hovedsakelig som resultat av store grunnrissavvik med cloud-to-cloud. Den targetbaserte registreringen derimot avviker fra fastmerkekoordinatet med bare 4 mm. I høyde er alle modellene nokså like i FM5, med avvik på 2-4 millimeter.

Tabell 4: Avvik mellom fri FM5 i punktsky og fastmerkekoordinatet som check point

Avvik i slutt punktet FM5			
Differanse mellom beregnet FM5 og fastmerkekoordinatet			
Modell	Grunnriss	Høyde	3D
M1	0.003	0.003	0.004
M2	0.016	0.004	0.017
M3	0.012	0.003	0.013
M4	0.013	0.002	0.014
M5	0.015	0.002	0.016
M6	0.015	0.002	0.016

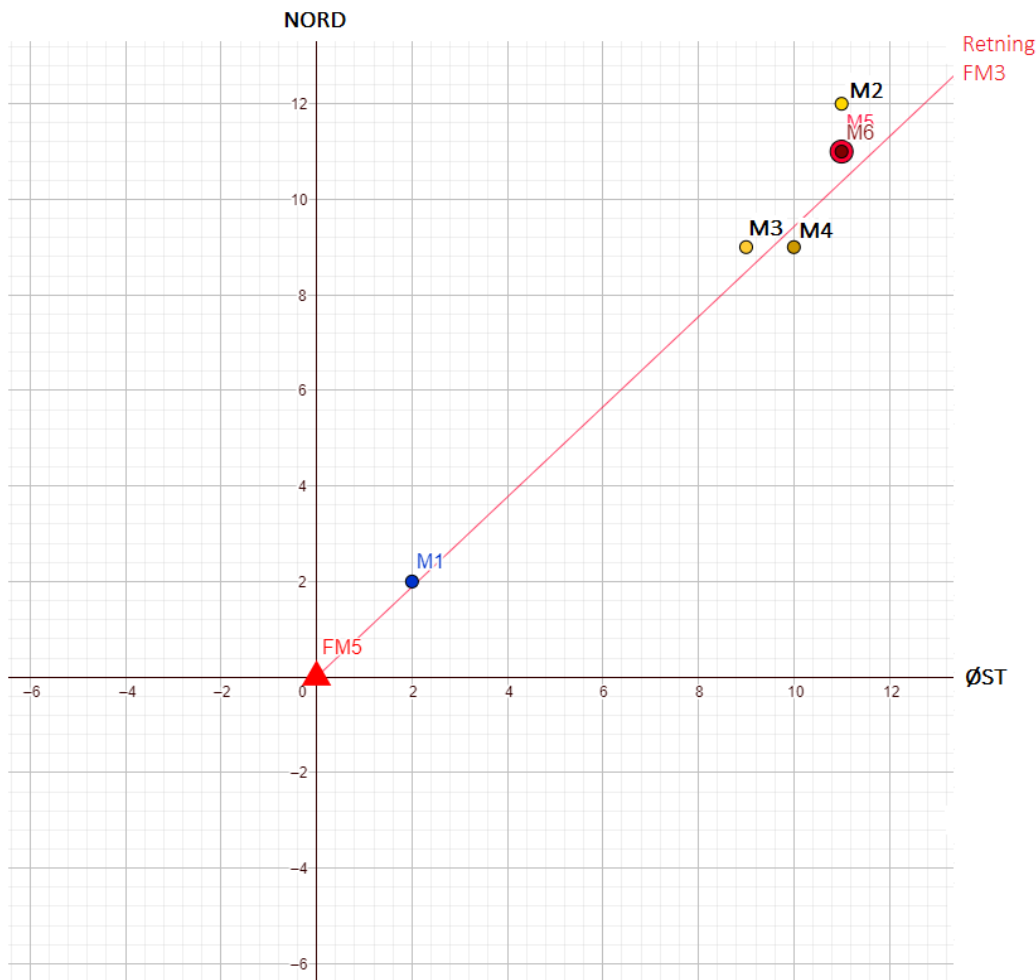
Punktdiagrammet under viser modellenes beregnede FM5-koordinat i grunnriss sammenlignet med sann verdi, i origo. X-aksen er øst, y-aksen nord og verdiene er oppgitt i millimeter. Alle modellene beregner FM5-punktet lenger nordøst enn fastmerkekoordinatet i grunnlagsnettet. I tillegg til retning, har cloud-to-cloud-modellene innad ganske lignende størrelse på avvikene, og danner derfor en slags klynge. Litt omtrentlig sagt er avvikene rundt 10 millimeter i nord- og øst-retning. Targetregistreringen M1 har til sammenligning kun 2mm avvik i nord- og øst-retning.

Den røde linja i grafen indikerer retningen mot fastmerket FM3, som er utgangspunktet i skannedraget og beregningen av fristilt FM5. I fristillingen av punktet, låses FM3, mens orientering settes mot FM5. Da skal de beregnede punktene havne på denne linja.

Grunnrissavviket i den beregnede FM5 er dermed basert på horisontalavstanden mellom

fastmerkene i de enkelte constraint-frie punktskyene. Som figuren viser, avviker alle modellenes FM5-koordinater noe fra denne linja. Det skyldes antagelig avrunding, da det ikke benyttes verdier under millimeter i analysen av skannedataene.

Figur 9: Punktdiagrammet under viser registreringenes grunnrissavvik i sluttpunktet FM5.



I utregning av feilforplantning er det gitt at usikkerhet alltid stiger, men i virkeligheten betyr ikke det nødvendigvis at avvikene øker proporsjonalt eller forutsigbart. Dette fordi varierende retning og størrelse på avvik gjør at de kan utligne hverandre, så vel som å akkumulere. Om en av modellene eksempelvis hadde hatt 0 mm avvik i endepunktet, ville ikke det bety at datasettet er avviksfritt. I laserskanning kan avvik svinge gjennom et skannedrag, slik at en ikke alltid finner det største avviket i det siste punktet. Om vi ikke hadde brukt check points underveis, men bare fastmerker i begge ender, ville det dermed ha vært feil å konkludere med at avvikene inne i svømmehallen er mindre enn i sluttpunktet. For cloud-to-cloud-registreringene er riktignok det største avviket i enden av draget, i FM5. Det er ikke tilfellet med den targetbaserte M1. Mer om det kommer i de neste delkapitlene.

5.2.5 Target versus targetfri registrering

Sammenligning mellom M1 og M2 - lås i begge fastmerker

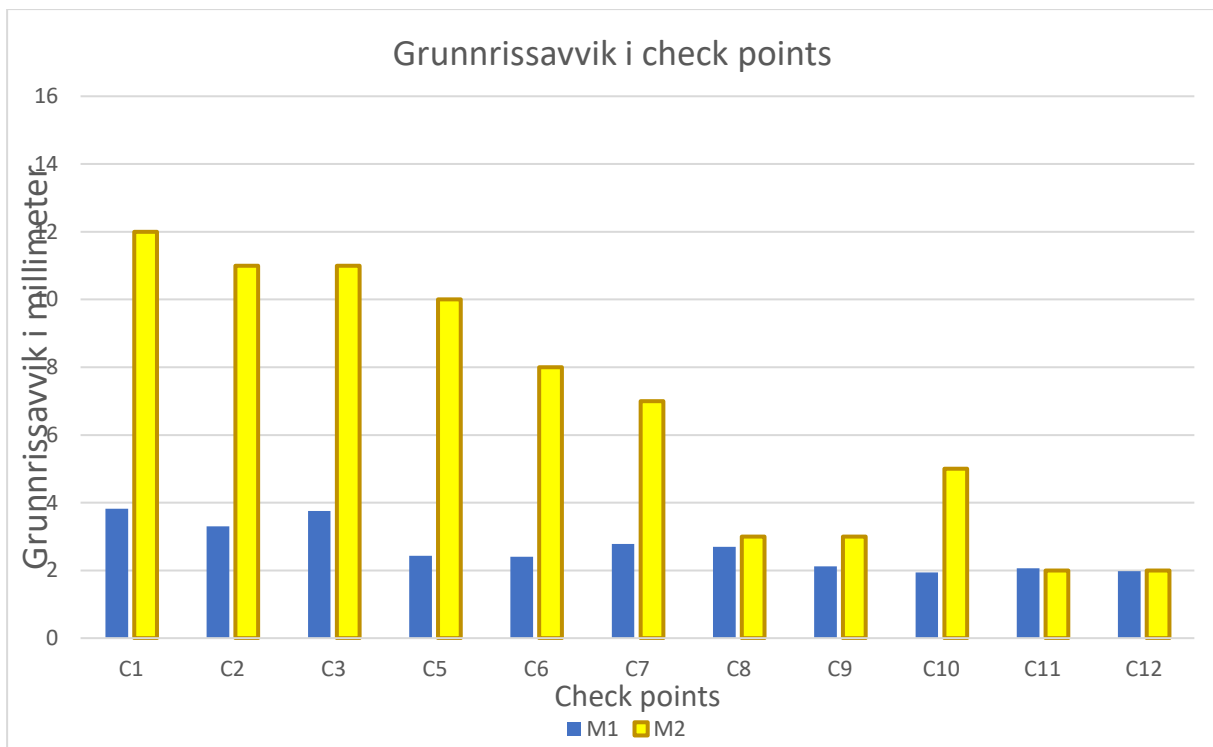
Tabell 5: Sammenligning mellom M1 og M2

Sammenligning: Target og cloud-to-cloud FM3 og FM5 låst							
Referansepunkt	M1 (Target)			M2 (Cloud-to-cloud)			Referansepunkt
	Grunnriss	Høyde	3D	3D	Høyde	Grunnriss	
C1	0.004	0.007	0.008	0.012	0.002	0.012	C1
C2	0.003	0.008	0.008	0.011	0.003	0.011	C2
C3	0.004	0.007	0.008	0.011	0.002	0.011	C3
C5	0.002	0.005	0.006	0.011	0.003	0.010	C5
C6	0.002	0.005	0.005	0.009	0.002	0.008	C6
C7	0.003	0.005	0.006	0.007	0.003	0.007	C7
C8	0.003	0.005	0.006	0.005	0.004	0.003	C8
C9	0.002	0.005	0.006	0.005	0.004	0.003	C9
C10	0.002	0.005	0.005	0.006	0.003	0.005	C10
C11	0.002	0.004	0.004	0.003	0.001	0.002	C11
C12	0.002	0.003	0.004	0.002	0.001	0.002	C12
FM3	0.001	-0.001	0.001	0.004	0.001	0.004	FM3
FM5	0.001	0.001	0.001	0.004	0.001	0.004	FM5
Gjennomsnitt (m)	0.002	0.005	0.005	0.007	0.002	0.006	Gjennomsnitt (m)
RMS (m)	0.003	0.005	0.006	0.008	0.003	0.007	RMS (m)

I denne sammenligningen bruker vi targetregistreringen M1 og cloud-to-cloud-registreringen M2, ettersom de bruker de samme enkle, kronologiske koblingene uten å ta med garderober. Tabellen over viser at M1 i gjennomsnitt har to millimeter lavere romlig avvik enn M2. Cloud-to-cloud-modellen flytter mer på fastmerkene, enn den targetbaserte, med henholdsvis fire og én millimeter romlig. Det at M2 fordeler mer avvik på fastmerkene, kan gjøre at avvikene i check points er lavere enn de skulle ha vært, og får modellene til å ligne mer enn de ellers ville ha gjort.

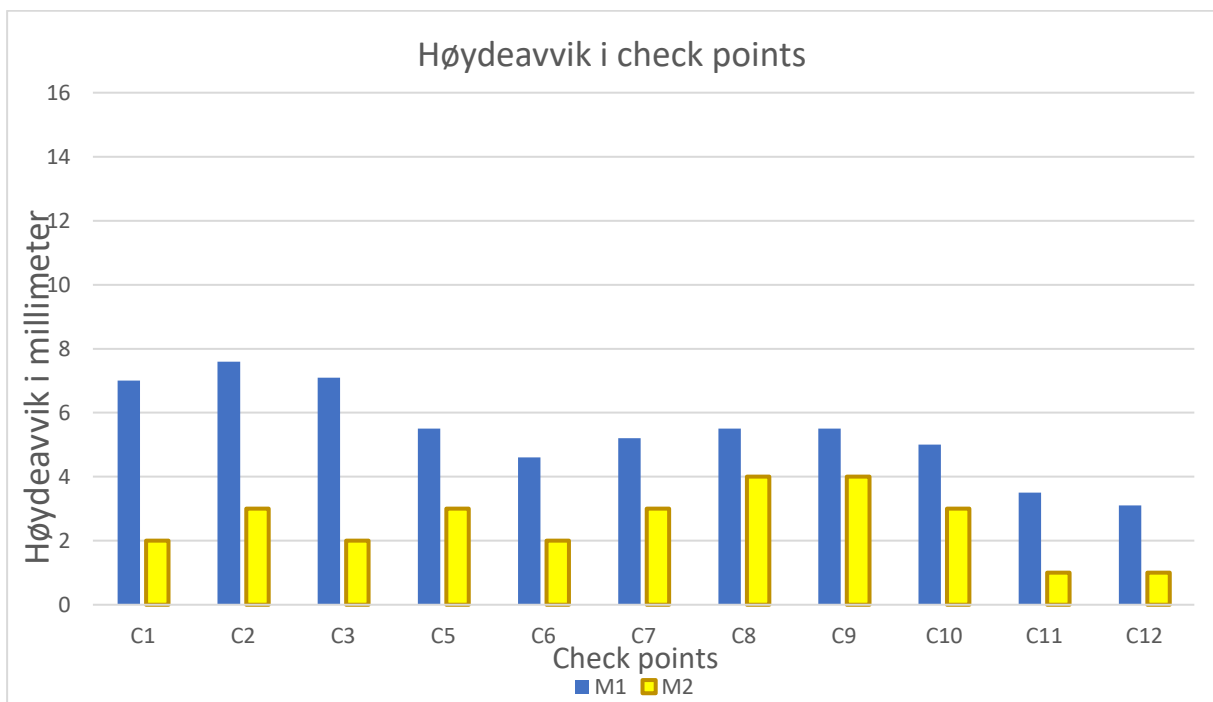
Grafene nedenfor bruker grunnriss-, høyde- og 3D-avvik fra tabellen over, til å fremstille på en mer visuell måte hvordan de to registreringene avviker fra referansemodellen i check points. Fullstendige grafer med alle seks registreringene kan finnes i vedlegg.

Figur 10: Grunnrissavvik i check points for M1 og M2



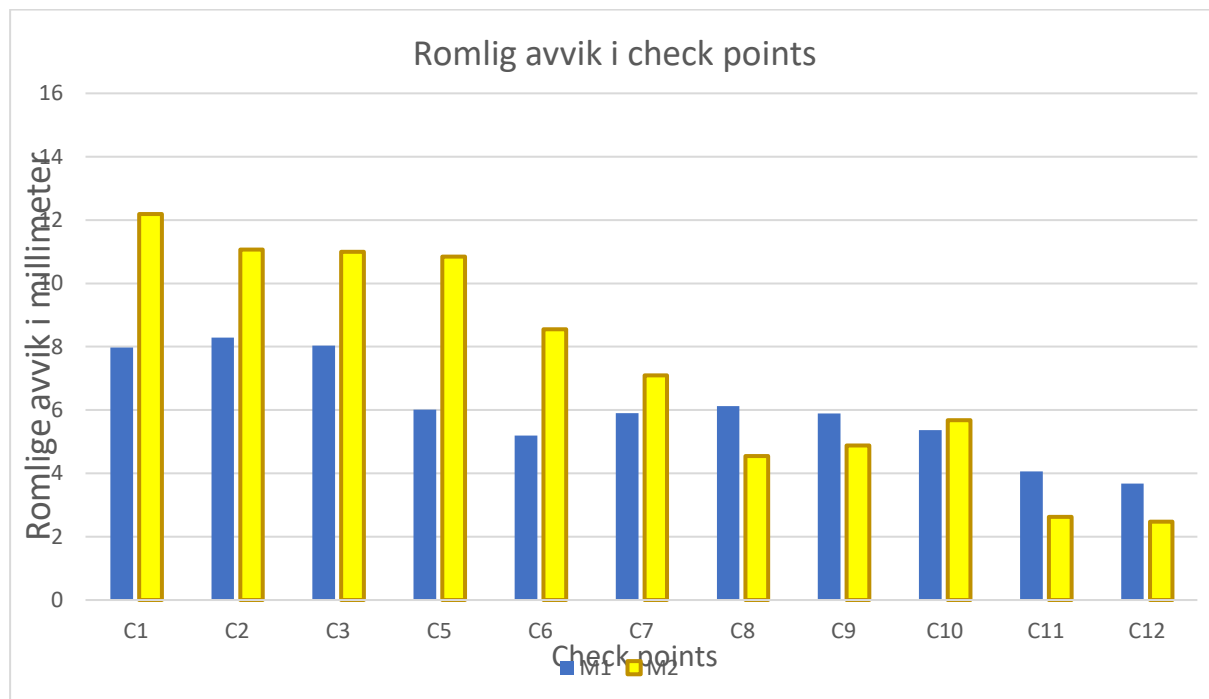
Med låste fastmerker i begge ender, er det tydelig at de store grunnrissavvikene til M2 hovedsakelig fordeles til de første C-targetene. I motsatt ende, i C11 og C12, er grunnrissavviket likt i begge modellene. M1 har jevnt lave grunnrissavvik i alle C-targets.

Figur 11: Høydeavvik i check points for M1 og M2



I høyde er tendensen snudd. Her avviker ingen høydeverdier i M2 med mer enn 4 mm, samtidig som at knapt noen høydeavvik i M1 er såpass lave.

Figur 12: 3D avvik i check points for M1 og M2



Ettersom differansen mellom modellene er større i grunnriss enn i høyde, er det resulterende romlige avviket stort sett større i M2 enn M1. Avvikene i M1 er jevnere, mens M2 har de største og de minste avvikene.

5.2.6 Target versus targetfri registrering

Sammenligning mellom M1 og M2 - Avvikene gjennom draget og i beregnet FM5

Tabellen og grafene under, i likhet med de i forrige seksjon, viser differanse mellom koordinatverdier i de respektive punktskyene og referansemodellen. Men i dette tilfellet er FM5 fristilt. Poenget med å analysere dette er for å se hvordan avvikene i check points utvikler seg progressivt gjennom draget. Det beregnede slutt punktet kan i tillegg ses opp mot fastmerkekoordinatet fra grunnlagsnettet. Uten kontroll, ville dette beregnede FM5-punktet være enden av et «blinddrag», hvor vi ikke hadde kjent til det endelige avviket.

Tabell 6: Sammenligning mellom target og cloud-to-cloud

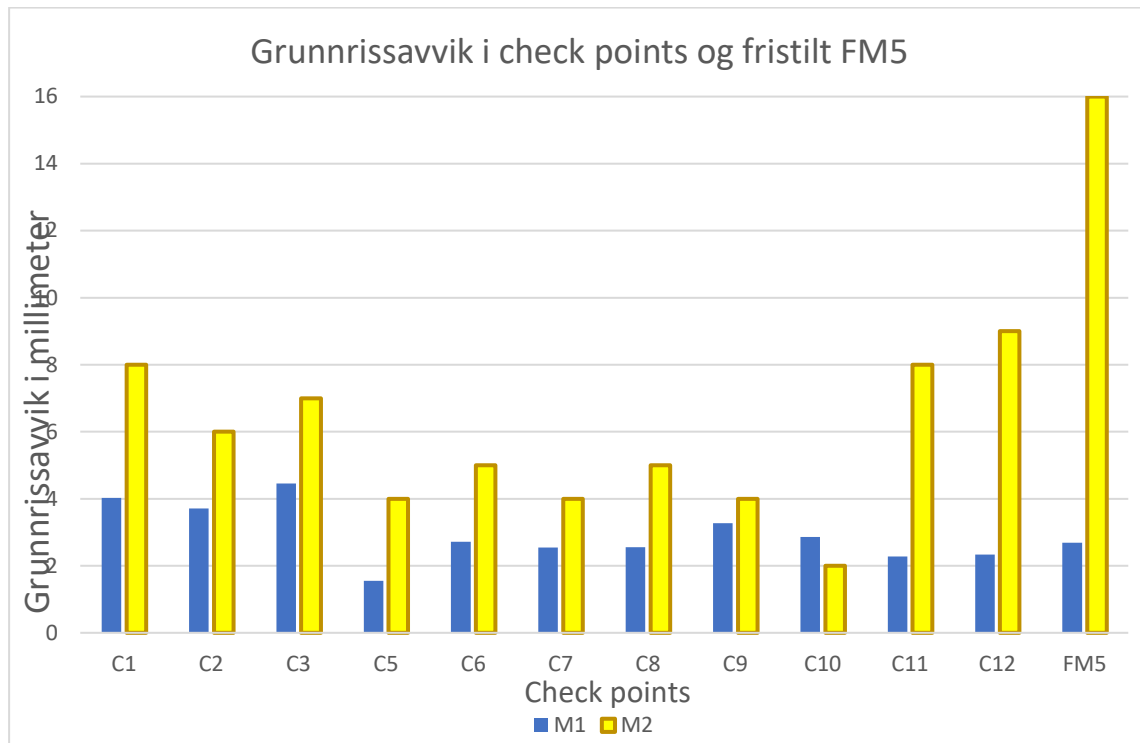
Sammenligning: Target og cloud-to-cloud

FM3 låst - FM5 fristilt							
Referansepunkt	M1 (Target)			M2 (Cloud-to-cloud)			Referansepunkt
	Grunnriss	Høyde	3D	3D	Høyde	Grunnriss	
C1	0.004	0.008	0.009	0.009	0.004	0.008	C1
C2	0.004	0.009	0.010	0.008	0.005	0.006	C2
C3	0.004	0.009	0.010	0.008	0.004	0.007	C3
C5	0.002	0.007	0.007	0.007	0.005	0.004	C5
C6	0.003	0.006	0.007	0.007	0.004	0.005	C6
C7	0.003	0.007	0.007	0.006	0.005	0.004	C7
C8	0.003	0.007	0.007	0.007	0.005	0.005	C8
C9	0.003	0.007	0.008	0.007	0.006	0.004	C9
C10	0.003	0.006	0.007	0.005	0.005	0.002	C10
C11	0.002	0.005	0.005	0.009	0.004	0.008	C11
C12	0.002	0.005	0.005	0.009	0.003	0.009	C12
FM3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	FM3
FM5	0.003	0.003	0.004	0.017	0.004	0.016	FM5
Gjennomsnitt (m)	0.003	0.006	0.007	0.008	0.004	0.006	Gjennomsnitt (m)
RMS (m)	0.003	0.007	0.007	0.008	0.004	0.007	RMS (m)

Tabellen over er ganske ulik den forrige, ved at cloud-to-cloud nå gjør det like bra eller bedre i de tre C-targetene i Fjellhalltunnelen og i de fem i svømmehallen, C5 til C10. Cloud-to-cloud-registreringen får en «knekk» før C11 og C12, før avviket hopper enda mer før FM5.

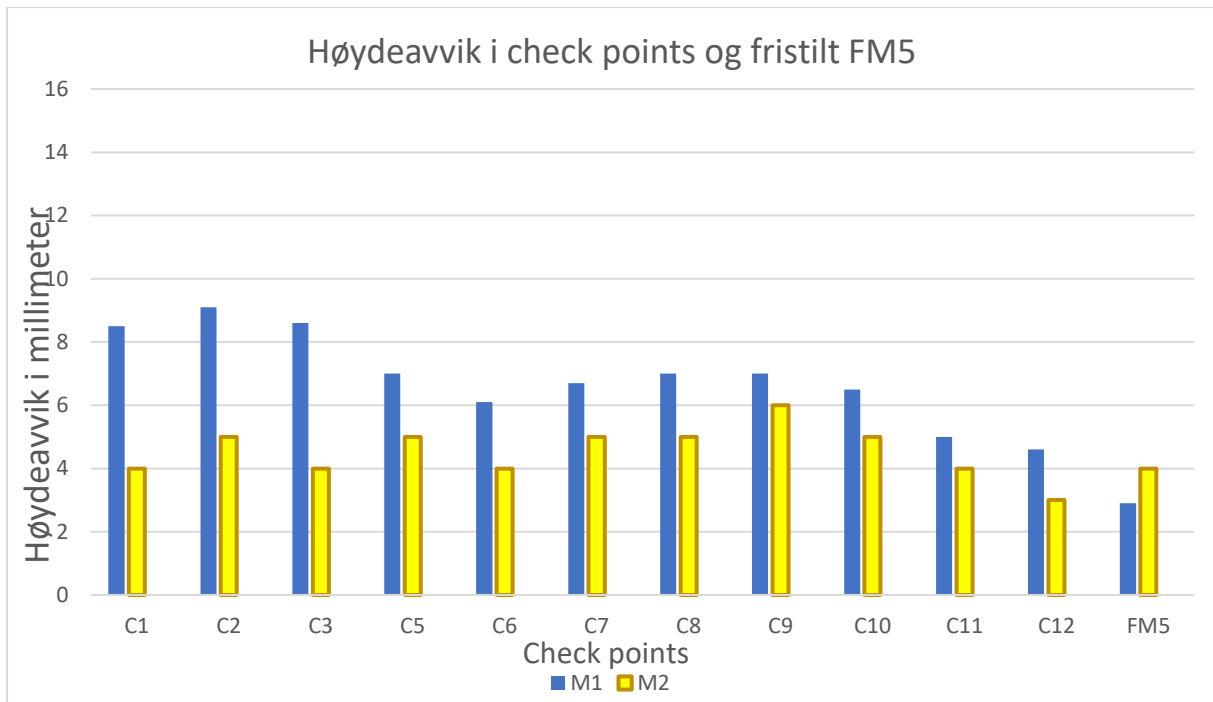
Ved bruk av cloud-to-cloud, er avviket i endepunktet flere ganger større enn ved bruk av targets.

Figur 13: Grunnrissavvik i check points for registreringene M1 og M2, hvor FM5 er fristilt



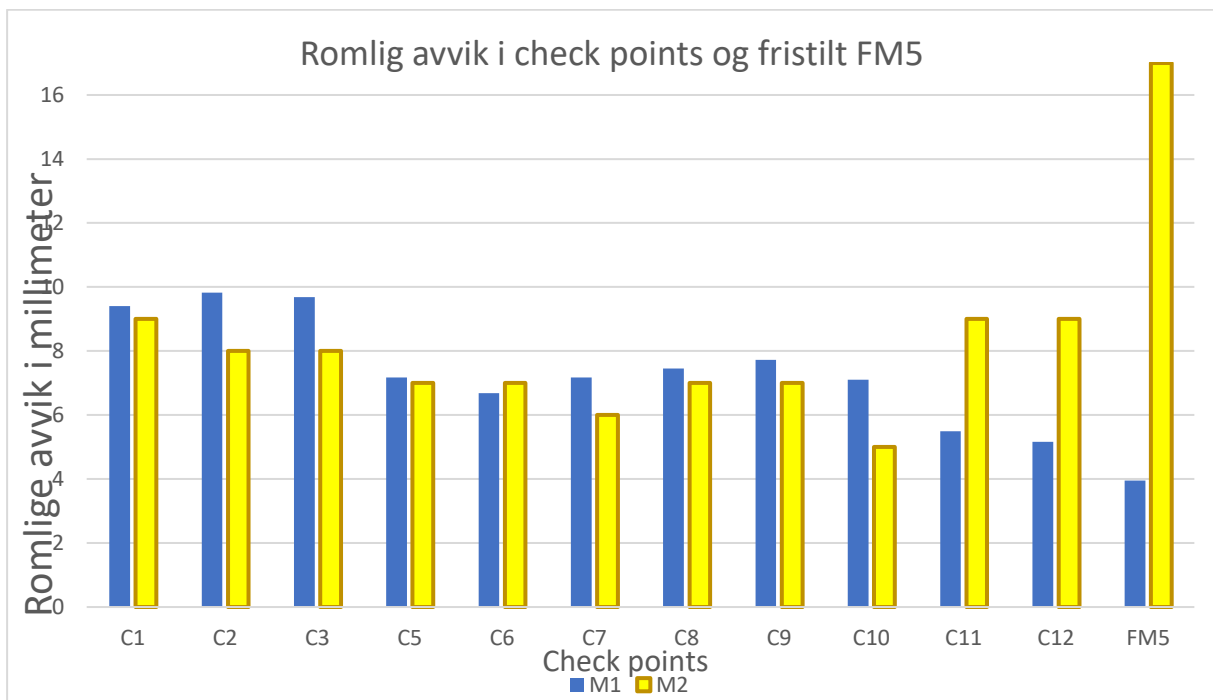
Som grafen over viser, er grunnrissavviket i M2 ganske konsekvent større enn i M1. I slutten, mellom svømmehallen og utgangen, får cloud-to-cloud-modellen betydelig større avvik. Den targetbaserte modellen har jevnt lave avvik hele veien.

Figur 14: Høydeavviket i check points for registreringene M1 og M2, hvor FM5 er fristilt



Høydeavvikene i grafen over viser at cloud-to-cloud gjør det jevnt over bedre enn targetbasert registrering. I FM5 bytter disse plass, men det er trolig på grunn av dårlig cloud-to-cloud-kobling mellom de siste oppstillingene.

Figur 15: Romlig avvik i check points for registreringene M1 og M2, hvor FM5 er fristilt



Cloud-to-cloud-registreringen har bedre eller jevn gode romlige avvik i Fjellhalltunnelen og svømmehallen, sammenlignet med targetregistreringen. Den tydelige økningen som skjer i cloud-to-cloud-modellen før C11 og C12, i utgangen, er i hovedsak resultat av grunnrissavvikene over. Dette resultatet er ganske likt i alle registreringene med cloud-to-cloud, som en kan se i den fullstendige tabellen i vedlegg.

Ved targetregistrering er avvikene i slutten av det frie skannedraget lavere, men den samme tendensen er ellers lik, at avvikene i svømmehallen er lavere enn i starten. Det er altså ingen tydelig virkning av at avstand fører til økende avvik utover i skannedraget, annet enn at større avvik med cloud-to-cloud oppstår i siste del.

5.2.7 Kvalitet på koblinger

For å forstå hvorfor avvikene endrer seg slik de gjør gjennom skannedraget, er det nyttig å kunne analysere koblingene som brukes i registreringene.

Kvalitet på koblinger indikeres i Leica Cyclone Register 360 med fargekoding, som kan tilpasses ved egendefinerte terskler. En kan sette krav til prosentandel overlapp mellom punktskyer så vel som koblingens angitte avvik i meter. Når det gjelder cloud-to-cloud-koblinger, er det litt uvisst hvordan dette avvikstallet beregnes. Men ved targetregistrering, angis en nøyaktighet for hvert target i koblingen. I utgangspunktet er det heller et mål på presisjon, ettersom avvikstallet er avstanden mellom targetsenteret målt fra den ene stasjonen og targetsenteret målt fra den andre, en differanse mellom to målinger, og ikke avvik fra et sant punkt.

Koblingens totale targetavvik er gjennomsnittsavviket på targetene som brukes mellom stasjonene. Antagelig kan dette tallet være noe misvisende. Bruk av tre targets, som er minimalt antall for registrering, med lave avvik, vil indikere bedre kvalitet enn ved bruk av dobbelt så mange med noe høyere avvik. Det er nærliggende å tro at et høyere antall targets kan forbedre registreringen, til tross for høyere gjennomsnittsavvik.

Tabell 7: Overlapp og avvik mellom koblinger for ulike deler av skannedraget

Gjennomsnittlig overlapp og avvik for koblingene innenfor ulike deler av skannedraget						
	M1		M2		M3	
Hoveddraget:	Overlapp %	Target-Error mm	Overlapp %	C2C-Error mm	Overlapp %	C2C-Error mm
Første del	57	4	55	4	55	4
Svømmehall	72	2	69	3	70	2
Siste del	41	3	39	5	42	5
Totalt	57	3	55	4	56	4
	M4		M5		M6	
Hoveddraget:	Overlapp %	C2C-Error mm	Overlapp %	C2C-Error mm	Overlapp %	C2C-Error mm
Første del	53	4	54	4	55	4
Svømmehall	68	3	68	3	69	2
Siste del	40	5	40	6	39	6
Totalt	54	4	54	4	55	4
Garderobene:	44	3			43	3
Ekstra koblinger:			48	4	50	4

Tabellen over viser overlapp og avvik i millimeter for de ulike modellene i analysen. Skannedraget er delt inn i delene «første del», «svømmehall», og «siste del», ettersom de har ulike karakteristikk og avvik, mye på grunn av ytre faktorer som geometri og skannede overflater. Første del inkluderer Fjellhalltunnelen, fra FM3 utenfor inngangen og fram til svømmehallen. Siste del strekker seg fra svømmehallen, gjennom trimrommet, utgangen og til FM5. De siste tre modellene har med tilleggsinformasjon om kvaliteten på de ekstra delene som brukes. Dette holdes adskilt fra gjennomsnittstallet i «Totalt», for å kunne sammenligne med hoveddraget. Med forkortelsen «C2C-error», menes cloud-to-cloud-avvik.

Alle registreringene har lavest avvik i svømmehallen og like avvik i første del, mens registreringene med cloud-to-cloud har høyere avvik i siste del. En kan også registrere at modellene med mange ekstra koblinger i hoveddraget, M5 og M6, har samme avvik på de ekstra koblingene som på de grunnleggende koblingene. I tillegg er det verdt å merke at koblingene gjennom garderobene, i M4 og M6, har lavere avvik enn i hoveddraget. Dette til tross for at gjennomsnittlig overlapp i garderobene er markant dårligere. Overlappen i garderobene er lik den i siste del, mens avvikene i garderobene er et par millimeter lavere i gjennomsnitt. Det er altså ikke et bestemt forhold mellom overlapp og angitt kvalitet. Dette kommer av at en rekke ytre faktorer i skannemiljøet har betydning for resultatet.

Ved dypere analyse av M1 og M2, kan vi se at én kobling i hver av disse skiller seg spesielt ut. For M1 er det mellom stasjon 43 og 2, i starten av draget. Her oppgis targetavviket 10mm. For M2 er den dårligste koblingen helt i slutten av draget, mellom stasjon 38 i utgangsdøra og

fastmerkeoppstillingen i FM5. Avviket er 13 millimeter, som er tre ganger høyere enn gjennomsnittet. Også koblingen til fastmerket i andre enden skiller seg negativt ut, hvor overlappen kun er 18%. Det samme gjør det mellom stasjonene 33 og 34, i døra inn til svømmehallen og i trimrommet.

Tabell 8: Mer detaljert sammenligning av koblinger mellom M1 og M2

Kobling		M1		M2		
		Targetbasert		Cloud-to-cloud		
Fra	Til	Overlapp %	Target-Error mm	Overlapp %	C2C-Error mm	
Første del	FM3	43	18	4	18	6
	43	2	56	10	60	5
	2	3	73	4	64	4
	3	4	80	1	80	4
	4	6	75	2	62	3
	6	8	49	2	61	3
	8	9	64	4	58	4
	9	11	73	4	65	4
	11	12	28	4	27	4
Gjennomsnitt		57.3	3.9	55.0	4.1	
Svømmehall	12	13	55	1	51	2
	13	14	77	1	69	2
	14	15	78	2	73	2
	15	16	72	1	71	3
	16	17	85	2	80	2
	17	33	67	3	72	4
Gjennomsnitt		72.3	1.7	69.3	2.5	
Siste del	33	34	38	2	38	7
	34	35	53	4	52	4
	35	36	37	1	36	3
	36	37	31	2	31	2
	37	38	45	3	42	3
	38	41	40	3	37	13
Gjennomsnitt		40.7	2.5	39.3	5.3	
Totalt						
Gjennomsnitt		57	3	55	4	

Koblingene i M1 markert i grått er ikke gjort med targetregistrering, men med cloud-to-cloud, ettersom det her ikke var nok felles targets på grunn av manglende subscan. Begge modellene over er altså utført med samme metode i disse fem koblingene, og har naturlig nok ganske lignende resultater her. Alle koblingene i M1, inkludert disse, er tatt med i utregningen av gjennomsnitt, og ikke bare de utført ved bruk av target.

5.3 Diskusjon

5.3.1 Drøfting av resultater

Effekt av cloud-to-cloud-metode: Visual alignment

Ved bruk av verktøyet visual alignment, hjelper vi programvaren litt på vei med å plassere punkttskyene så godt som mulig i forhold til hverandre før registrering. Ettersom modellene utført på tilsvarende måte, M2 og M3, får ulike resultater, tyder det på at den manuelle innsatsen har effekt på sluttresultatet. Forskjellen på disse to modellene er faktisk større enn mellom ulike typer cloud-to-cloud-registreringer. Det er motsatt av hva som var ventet, og antyder at visual alignment har større effekt enn både ekstra koblinger og garderober.

I tillegg til den manuelle faktoren, er det antagelig også et element av tilfeldigheter i hvorfor M2 og M3 ikke gir samme resultat. Om en utfører ny optimalisering av en kobling, uten å ha endret på punktskyenes plassering, fås gjerne noe ulike kvalitetsmål.

Dersom det er høy grad av overlapp eller mange tie-points mellom punkttskyene, kan programvaren ofte registrere cloud-to-cloud automatisk. Hvordan denne automatiske registreringen gjør det opp mot manuell registrering i visual alignment er ikke utforsket i denne oppgava, men kunne vært interessant å se nærmere på. Visual alignment er tidkrevende arbeid, og det ville antagelig vært mer effektivt å skanne med flere oppstillinger, hvis resultatet hadde vært et datasett programvaren automatisk ville klare å sette sammen. Som nevnt i teori, finnes det også noen laserskannere med INS, som gjør grovregistrering mer automatisert.

Effekt av cloud-to-cloud-metode: Mange koblinger

I resultatene framgår det ingen åpenbar effekt av å ta med ekstra koblinger, sammenlignet med kun å bruke enkle. Om en ser på kvaliteten i koblingene er det gjennomsnittlige avviket for de ekstra koblingene tilsvarende det i hoveddraget, og det er dermed ikke unaturlig at de ekstra koblingen virker å ha begrenset innflytelse.

Valg av kvalitetsterskel for hvilke koblinger som tas med har antagelig påvirkning på sluttresultatet. I dette tilfellet ville kanskje kvaliteten på modellene med ekstra koblinger ha vært bedre med et strengere utvalg. Vi tillot koblinger med avvik opptil syv millimeter, som er tre millimeter mer enn gjennomsnittet i hoveddraget. Flere av de ekstra koblingene som ble brukt har avvik på fem, seks og syv millimeter. Disse kunne nok med fordel ha blitt utelatt.

Alternativt kunne det blitt brukt tilpasset vektning i Cyclone, hvor hver enkelt kobling fungerer som en constraint. Automatisk innstilling for alle constraints er å ha vekt lik 1, som er maksimal vektning. Antageligvis ville individuelle vektilpasninger her ha kunnet hatt en positiv effekt på sluttresultatet.

En utfordring med mange koblinger er at det er vanskeligere å holde kontroll på ulike avvik og hvordan de påvirker resten av utjevninga. En kan også anta at en registrering med mange koblinger muligens er mer rigid, og at enkle koblinger gjør registreringen mer elastisk og bedre tilpasset låste fastmerker.

Effekt av cloud-to-cloud-metode: Garderober

Det er ingen entydig effekt av å bruke laserskanningen av garderobene som en forsterkende kobling i registrering. Dette til tross for at gjennomsnittlig avvik på garderobekoblingene er én millimeter lavere enn i resten av draget.

For modellene med enkle koblinger, er forskjellen to millimeter lavere RMS-avvik ved bruk av garderober, om en bruker M2. Mens det ikke er noen forskjell om en bruker M3. For modellene med mange koblinger blir RMS-avviket én millimeter større når garderobene er inkludert.

Modellene M5 og M6 er svært like både når det gjelder størrelse og retning på de ulike avvikene i denne analysen. De mange felles koblingene gjør antagelig modellene likere, slik at garderobedelen har mindre effekt, siden den utgjør relativt mindre del av datasettene.

Overordnet sammenligning av modeller

Sammenligning av de seks modellene, viser at det er relativt små forskjeller, med kun 1-2 millimeter forskjell i romlige avvik. Dette avviket materialiserer seg likevel ganske ulikt mellom registreringsmetodene når det gjelder grunnriss- og høydeavvik, der de cloud-to-cloud-baserte er svært like innad, mens den targetbaserte skiller seg ut. Grunnrissavvikene er

den største forskjellen, hvor targetregistreringen jevnt over har markant mindre avvik, mens høydeavvikene er større.

C-targetavvikene i grunnriss har nokså lik retning for alle cloud-to-cloud-modellene, mens både retning og størrelse er annerledes med targetmodellen. Felles for alle er at høydeavvikene er positive, alle høydene i punktskyta er dermed litt for høye, sammenlignet med referansemodellen.

Om en ser på romlig kvalitet, gjør ingen av de fem cloud-to-cloud-registreringene det like bra som targetregistreringen. Men forskjellene er så små at differansen mellom de targetfrie modellene er like stor som mellom targetbasert og targetfri. I dette tilfellet er resultatene derfor kvalitetsmessig sammenlignbare.

Analyse av M1 og M2 – Target-matching versus cloud-to-cloud

I gjennomsnitt er de romlige avvikene i check points én millimeter lavere for targetregistreringen. M1 har også langt jevnere avvik mellom de ulike C-targetene. Cloud-to-cloud har både de høyeste og laveste 3D-avvikene i de enkelte check points.

Om en også inkluderer avvikene i fastmerkene, blir gjennomsnittsforskjellen mellom modellene to millimeter romlig. Det at cloud-to-cloud skjuler større avvik i fastmerkene, gjør at tendensene i check points antagelig er svekket. Forskjellen i check points ville nok ha vært enda større om fastmerkene ikke ble forflyttet som del av utjevningsprosessen i programvaren.

Når FM5 fristilles, kan en analysere hvordan avvikene progressivt endrer seg i størrelse gjennom skannedraget. Det er nyttig for å evaluere hvor mulige feil introduseres.

Fra utgangspunktet i FM3, gjennom Fjellhalltunnelen og i svømmehallen, gjør cloud-to-cloud det like bra, om ikke bedre, enn targetmodellen. Men videre øker brått avvikene med cloud-to-cloud. Det samme skjer ikke i M1.

Ofte kan det være en utfordring å peke på én enkelt årsak til endring i avvik. Spesielt når det er flere stasjoner og nokså langt mellom C-targetene som har store avviksforskjeller. De tydelig større avvikene oppstår i C11 og C12, i utgangen.

Gangen fra svømmehallen og ut til FM5 er langstrakt og smal. Det gir ugunstig geometri og overlapp mellom stasjonene. Et åpenbart tiltak kunne ha vært å bruke flere og tettere oppstillinger mot slutten av draget.

Siden det skjer en stor endring mellom svømmehallen og C-targets midtveis i utgangen, kan det tyde på at én eller flere svake koblinger påfører resten av C11, C12 og det beregnede endepunktet i FM5 tydelig større avvik.

Men kvaliteten som oppgis på koblingene i selve gangen er 2 og 3 millimeter, noe som er under gjennomsnittet for resten av prosjektet. Én kobling som skiller seg negativt ut er mellom stasjon 33 og 34. Dette er henholdsvis i døra inn til svømmehallen og midt i trimrommet. Her oppgis avvikstallet 7 millimeter. Overlappen på 38% er blant de lavere i prosjektet, og betydelig under gjennomsnittet på 55%.

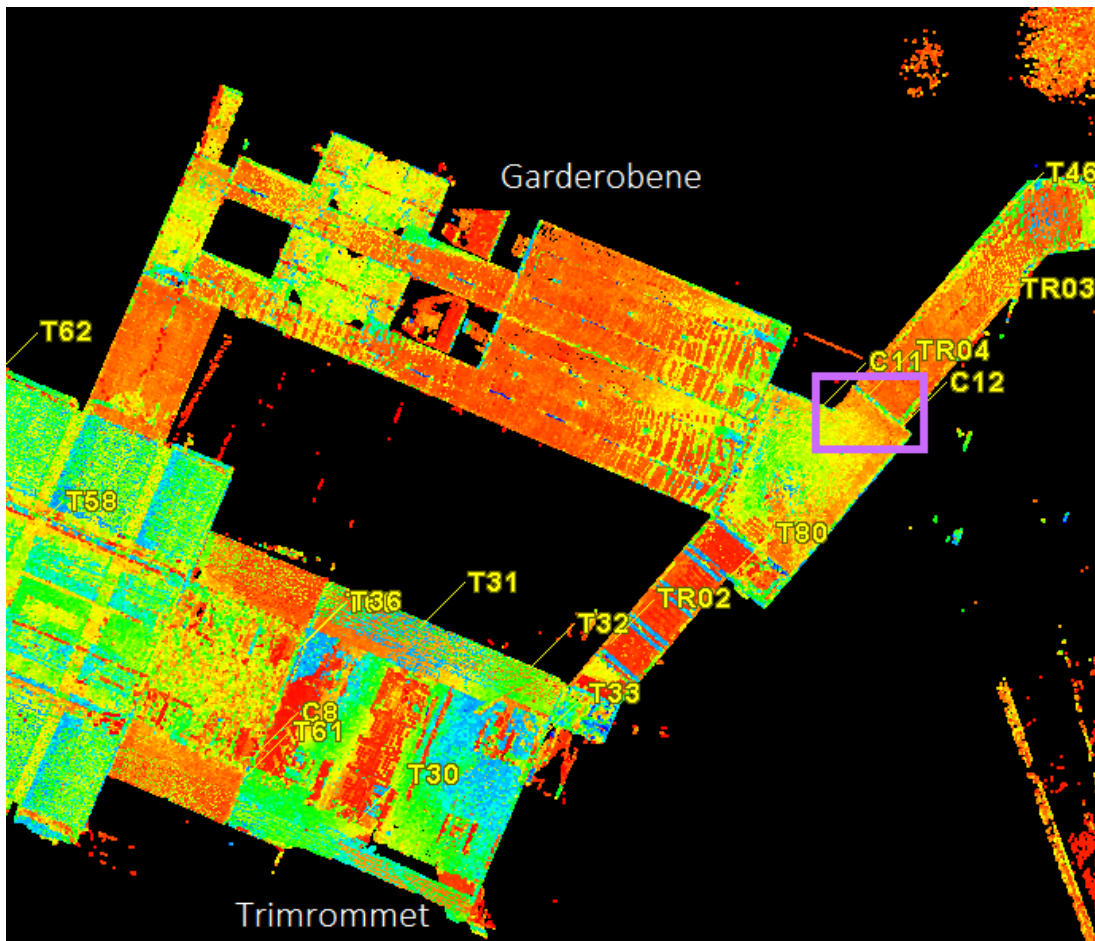
Likevel er det flere andre koblinger med lavere overlapp og bedre avvikstall. En mulig årsak kan i dette tilfelle være mangel på gode tiepoints. Trimrommet har flere store speil som måtte tildekkes før skanning. Til dette formålet ble det benyttet svarte søppelsekker. Disse dekker store overlappende deler mellom skannene. I punktskyene er de markert helt røde, som vil si at refleksjonen er svak. Antagelig utgjør de et noe ustabil sammensettingsgrunnlag.

En fordel med dette prosjektets natur er at garderobene ga en alternativ vei mellom utgangen og svømmehallen. Den ønsket vi å utnytte som forsterkning og som sammenligningsgrunnlag. Hvis avviket i trimrommet hadde betydning for sluttresultatet, kunne en anta at å inkorporere garderobene, som har lavere avvikstall, ville gi en positiv effekt. Det danner ekstra koblinger rundt det potensielt problematiske området.

Det ser imidlertid ikke ut til å være tilfelle, da modellene med garderober har samme økningen i avvik mellom check points i svømmehallen og i utgangen. Dette kan ses i den fullstendige grafen i vedlegg.

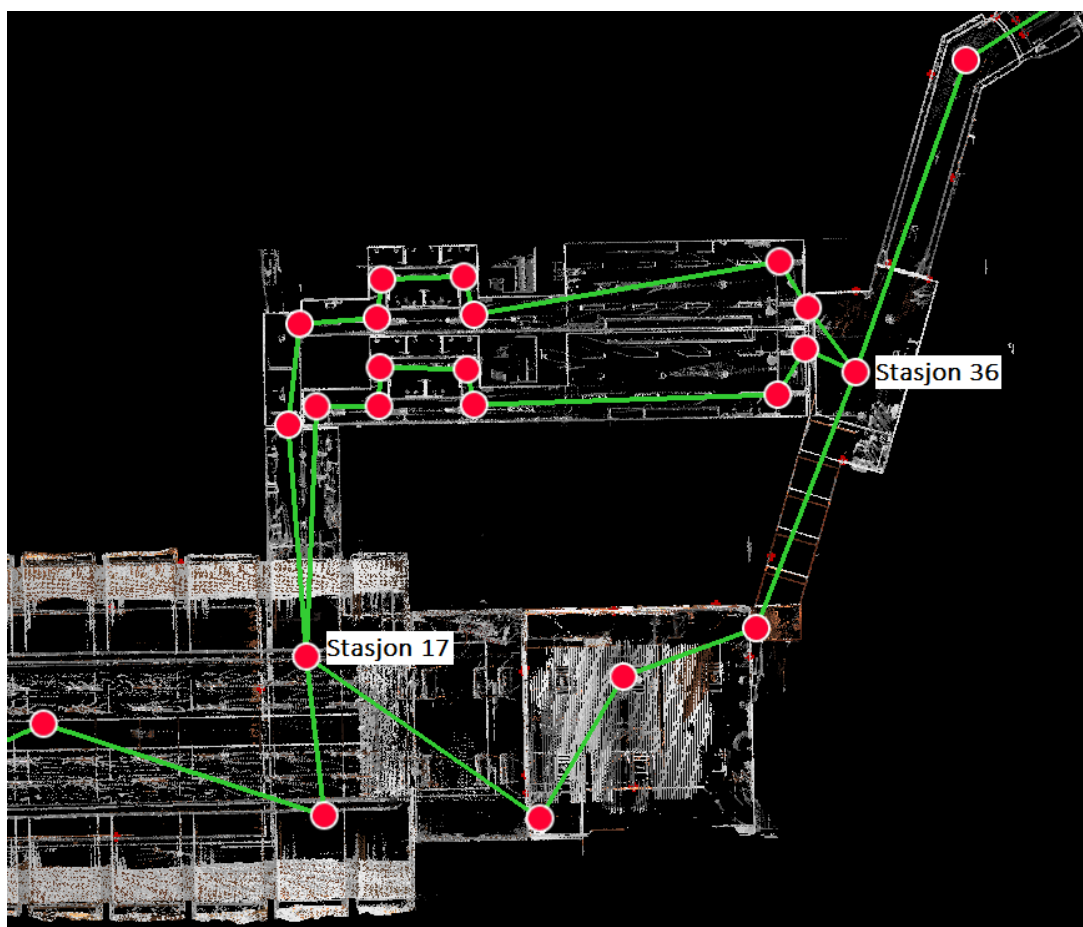
Oversiktskartene under viser hvordan garderobene danner alternative ruter mellom svømmehallen og utgangen. Plasseringen av C11 og C12 er markert i det lilla vinduet.

Figur 16: Illustrasjonsbilde, plassering av check points ved utgang



Bildet under viser at garderobene, slik det er registrert i Cyclone 360, gir to uavhengige ekstra koblinger mellom stasjon 36 i utgangen og stasjon 17 i svømmehallen.

Figur 17: Illustrasjonsbilde, garderobe koblet til skannedraget i stasjon 17 og 36

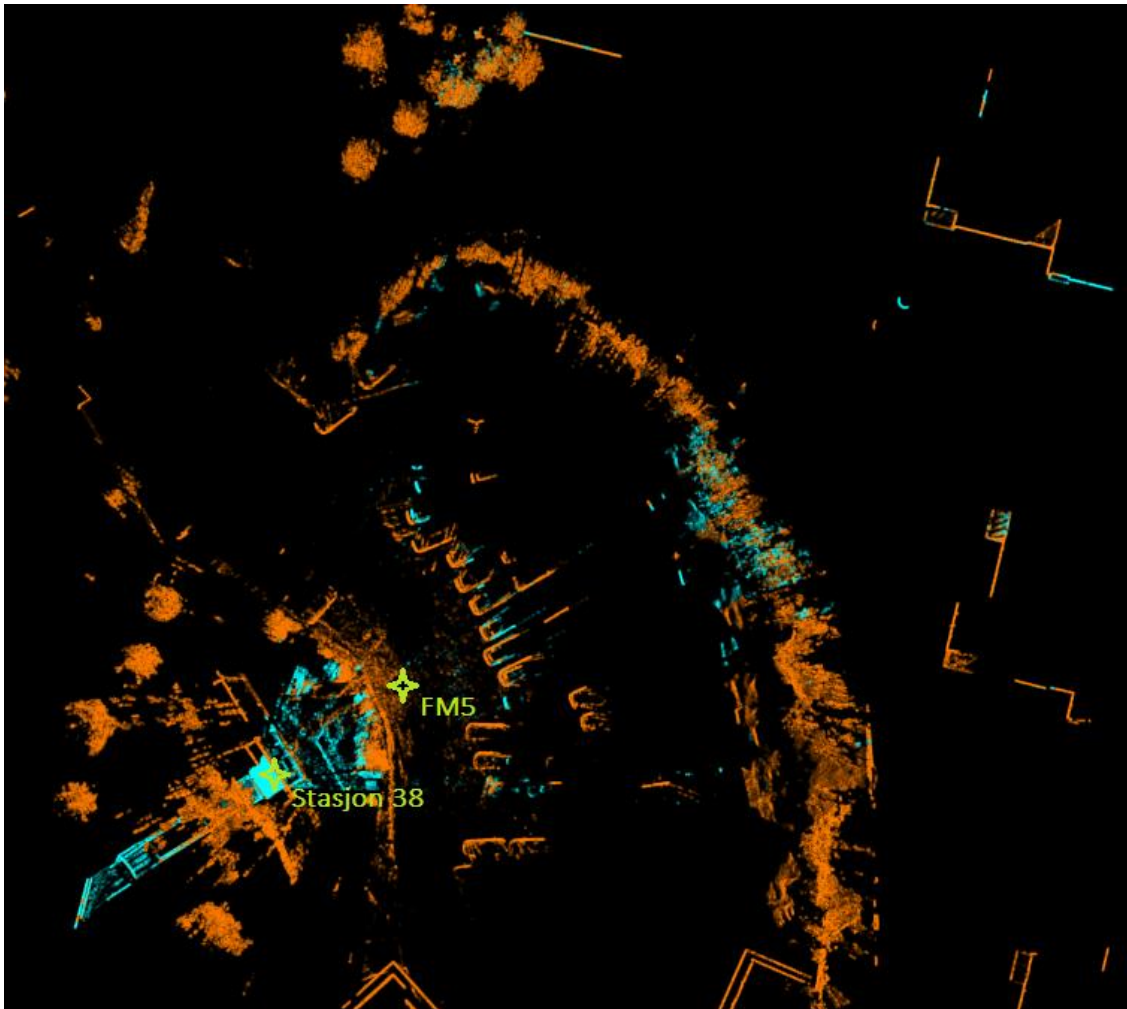


Den svakeste koblingen med cloud-to-cloud er koblingen mellom utgangsdøra og fastmerket FM5, med avvik på 13 millimeter. Det var ventet at koblingene utendørs kunne være problematiske. Utfordringen er gjerne at overlappen blir lav, og i tilfellet med FM5 mistenkes det at støy i punktskyene kan ha bidratt til redusert kvalitet.

Riktignok identifiseres mange tie-points i det overlappende området, til og med flere enn i enkelte koblinger innendørs. Men antall tie-points er ikke et kvalitetsmål i seg selv. Cloud-to-cloud-registrering skiller ikke mellom gode og dårlige punkt. Derfor blir både støy og ustabile flater tatt med i beregningen.

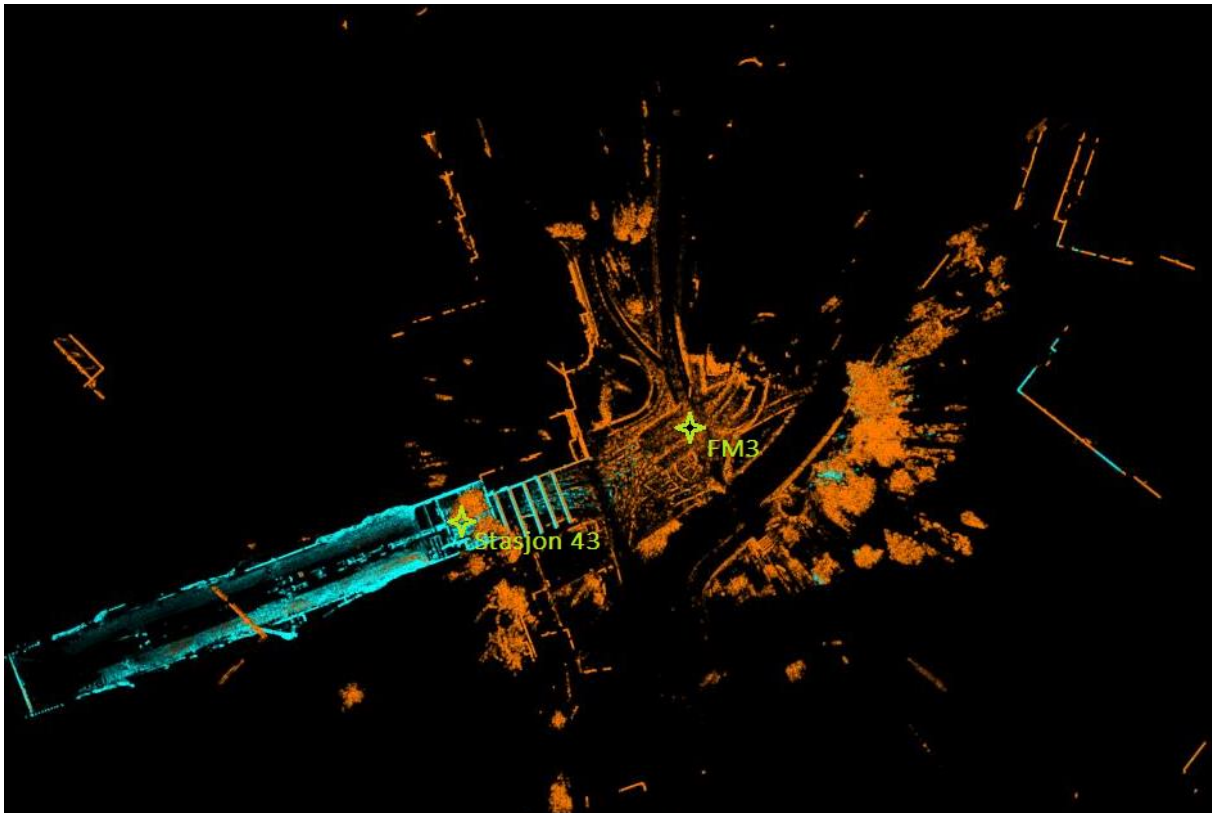
Potensielle støykilder i punktskyene inkluderer biler som utgjør en del av de overlappende områdene, som en kan se på parkeringsplassen i senter av bildet under. Også snødekt bakke, trær og busker er ugunstige overflater som ble brukt som tie-points. Det er få stabile, harde flater som brukes. Men øverst og til høyre i bildet, kan en se at omkringliggende bygg kunne brukes i registreringen. Blått viser punkt skannet fra stasjon 48, og oransje fra FM5.

Figur 18: Illustrasjonsbilde, overlapp utgang



Lenken mellom FM3 og inngangen til Fjellhallen har kun 18% overlapp, og var dermed den antatt svakeste koblingen i prosjektet. Avviket med cloud-to-cloud er her 6 millimeter, som er betydelig lavere enn ved fastmerket i andre enden, men fortsatt et par millimeter høyere enn gjennomsnittet. Det er mulig at større grad av harde, stabile flater ble brukt til å gi denne koblingen en bedre registrering. Tunnelens bredde og høyde lot stasjonen i FM3 skanne større områder innendørs. Bildet under viser laserskannet fra FM3 i oransje og fra stasjon 43 i blått.

Figur 19: Illustrasjonsbilde, overlapp inngang



Targetbasert registrering gjør det bedre ved fastmerkene både i inngang og utgang. Denne metoden er i mindre grad sårbar for dårlig overlapp, så lenge nok felles targets er godt synlig i begge ScanWorlds. Støy og dårlige fellespunkt er heller ikke et problem, da bare targetene brukes i registreringen. Targetavviket på lenken ut til FM3 og til FM5 er henholdsvis fire millimeter og to millimeter. Dette er nokså gjennomsnittlige størrelser for targetmetoden.

M1 har derimot ett stort avvik på 10 millimeter mellom stasjon 43 og 2. Forbindelsen her er targetene T6, T8 og T13, papirtargetet med respektive avvik 7, 11 og 11 mm. Det virker ikke å være åpenbare grunner til at kvaliteten her er dårligere enn ellers. Avstanden er relativt kort og vinkelen mot targetene i stor grad ortogonal.

Men det er verdt å bemerke at skanningen fra stasjon 43 ble utført to dager etter skanningen fra stasjon 2. Dette fordi oppstilling i fastmerket og i døråpningen ble utført på nytt etter fullført skannedrag. Det ble gjort for å kunne benytte magnettargetets i registreringen da det var få egnede plasseringer av papirtargets.

Som nevnt i teoridelen, er det en ulempe å bruke targets når det skannes over lenger tid, ettersom metoden krever at targets står stabilt. (Akca & Gruen, 2007). Det virker usannsynlig

at papirtargetene skal ha flyttet nevneverdig på seg, men samtidig er det påfallende at det er nettopp denne koblingen som har et avvik mer enn tre ganger større enn gjennomsnittet for modellen.

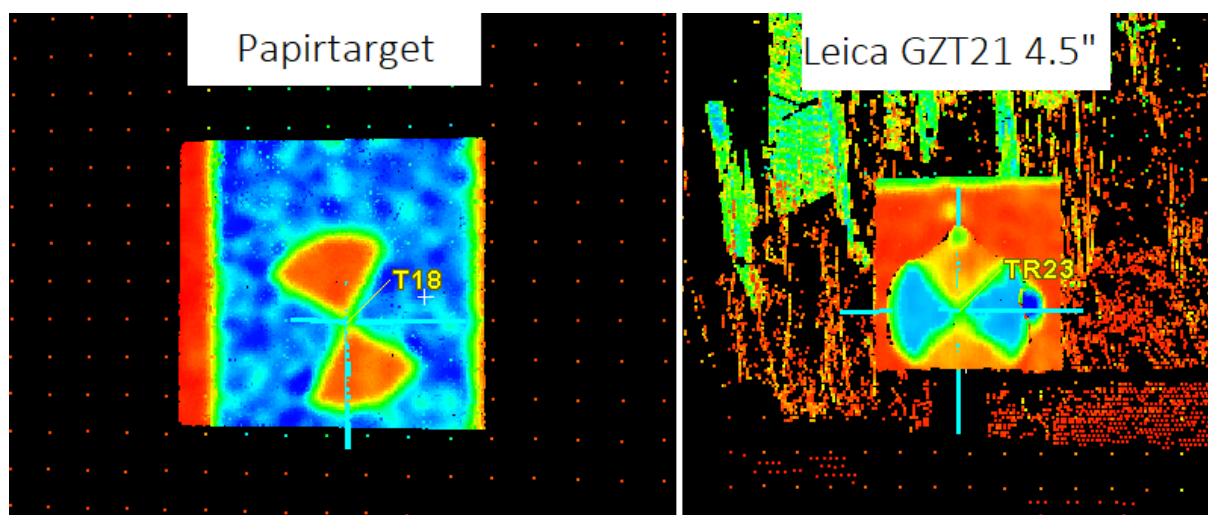
Targetkontrast

I dette prosjektet ble to ulike typer targets benyttet. Kvalitetsforskjellen på disse er dermed relevant problematikk for å forstå resultatene bedre, selv om en grundigere sammenligning av targettypene ikke er en del av denne oppgava.

Produktspesifikasjonen opplyser at “target acquisition” gir 3D-posisjoneringsnøyaktighet med standardavvik på 2mm på 50m avstand, med forbehold om at spesialtargetet «Leica HDS 4.5" B&W» brukes. Det er uvisst i hvilken grad samme kvalitet kan forventes med papirtargetet.

Datagrunnlaget indikerer ingen tydelig forskjell mellom programvarens evne til å finne sentrum i spesialtargetet og papirtargetet. Spesialtargetene i vårt prosjekt har stort sett like avvik som papirtargetet. Det var ventet at spesialtargetene ville fungere bedre over lange avstander, ved å gi tydeligere kontrast på intensitet. Det ser likevel ikke ut til at Leica-targetet ga bedre kontrast over lik avstand på omtrent 50 meter, der begge targetene var festet på bakgrunn med lignende refleksjon og skannet med gunstig, ortogonal vinkel.

Figur 20: Til venstre: Papirtargetet T18, skannet fra stasjon nr.3. Avstand 48 meter. Til høyre: Spesialtargetet TR23, skannet fra stasjon nr. 43. Avstand 49 meter.



Bildene over viser henholdsvis papirtargetet og spesialtargetet. I disse fargesatte punktskyene, betyr blått høy intensitet på returpulsen, og rødt lav intensitet. Targetets svarte deler skal gi lav intensitet, og hvit høy. Kontrastene i papirtargetet virker å gi tydeligere og jevnere kontrast enn spesialtargetet i dette ene, sammenlignbare tilfellet. Det gjør det enklere å finne senter.

Det er ikke et mål i denne oppgava å dra noen generelle slutninger om hvordan ulike targets gjør det, men det var ønskelig å undersøke hvorvidt bruk av papirtargets kan ha redusert kvalitet i targetregistreringen. Resultatene fra denne datafangsten viser ingen åpenbare forskjeller, hverken på avvikstall eller kontrast.

5.3.2 Drøfting av utfordringer

Overlapp

Prosjektets langstrakte geometri var en kjent utfordring ved planlegging av skannedraget. Det ble forsøkt å bruke oppstillinger som ville gi tilstrekkelig med overlapp mellom ScanWorlds. Cloud-to-cloud-metoden er spesielt avhengig av nok overlapp og tie-points som sammensettingsgrunnlag ved registrering.

Inne i anlegget var overlappen generelt uproblematisk, selv om den trange utgangen fra svømmehallen ga lavere overlapp enn planlagt. Utfordringen var i hovedsak mellom døråpningene og fastmerkene utendørs.

Laserskannerens rekkevidde ble endret til maksimal avstand for å ta med felles fjerntliggende objekter, som bygninger. Antallet fellespunkt i disse situasjonene er likevel svært lavt, sammenlignet med gjennomsnittet mellom stasjoner inne i anlegget.

For å redusere risikoen for støykilder ved skanningen utendørs, ville det være fordelaktig om verken biler eller snø utgjorde fellespunkt i registreringen. I praksis er det ikke gjennomførbar å rense dette vekk fra skannedataene, ettersom det utgjør en betydelig del av sammensettingsgrunnlaget.

Oppstillinger utendørs

Vi kunne med fordel ha brukt en ekstra oppstilling mellom fastmerkene og døråpningene. Det ville ha gitt flere tie-points på harde, stabile flater innendørs.

Når det gjelder FM3, kunne fastmerket alternativt ha blitt etablert nærmere inngangen. Ved å plassere fastmerket nærmere inngangen, ville mer av veggflaten på bygget kunne bli brukt som overlapp, samtidig som at avstanden mellom stasjonene ville være kortere. En ville dessuten komme lenger unna den svært trafikkerte stia forbi skulpturen "Gripping".

Det er verdt å poengtere at nærhet til denne skulpturens reflekterende overflate, med tanke på flerveisinterferens, ikke skal ha vært et problem. Ved etablering av fastmerket, ble FM3 beregnet fra satsmålinger til bedre bestemte GNSS-punkt, og ikke fra egne GNSS-målinger.

Til tross for fordelene med en annen plassering av FM3, var dette et alternativ med store begrensninger. Satsmålingene forutsatte sikt mellom fastmerkene i grunnlagsnettet, og de mange sikthindringene i området åpnet for få alternative plasseringer.

Targetbruk

Target-matching behøver ikke stor grad av overlapp, så lenge nok felles targets er godt synlig i begge ScanWorlds. Den smale geometrien i tunnelen og gangene ga gjerne skarp vinkel til targets, og problemer med gode subscan. Derfor var avstand mellom oppstillingene også relevant problematikk med hensyn til targetregistrering.

Som tidligere nevnt, lot flere subscan seg ikke importere til programvaren, antageligvis på grunn av for dårlig kvalitet. I de fleste tilfeller var den dårlige kvaliteten konsekvens av både lang avstand og dårlig kontrast i targetet, men først og fremst på grunn av skarp innfallsvinkel. Det er tydelig når en analyserer hvilke targets som uteble.

Det var utfordrende å finne egnede flater til papirtargets, ettersom dette gjerne ga uheldige innfallsvinkler. Ved å benytte Leicas roterbare magnetargets, ble det mye enklere å få gode, ortogonale vinkler i forhold til stasjonen. Disse ville ha blitt benyttet i mye større grad om arbeidet skulle gjøres på nytt.

Constraint-låsing

En utfordring med registreringene i Cyclone var at fastmerkene, selv som constraint, ble flyttet på i utjevningen. Dette gjaldt alle registreringene, både ved targetmetoden og cloud-to-cloud. Men i sistnevnte ble større avvik fordelt på fastmerkene.

Det kan ha svekket tendensene i avvikene mot de innmålte check points-koordinatene. Avvikene i check points ble antagelig mindre enn de ellers ville ha vært og kunstig lave i sammenligning med den targetbaserte modellen. Løsningen ble å inkludere fastmerkeavvikene i utregning av gjennomsnitt og RMS-feil, slik at metodene kunne sammenlignes.

I en youtube-video (Woodage, 2018) som viser hvordan en georefererer i Leica Cyclone, kan det se ut som det samme skjer. Ved georeferering, når signalpunkt i skya og tilhørende kontrollkoordinater registreres sammen, blir hvert av disse constraint-punktene gitt en «error vector». Dette er et avvik i x, y og z, som samsvarer med forflyttingen av punktet etter utjevningen. Det er nærliggende å tenke at det finnes en måte å forhindre denne forflyttingen, men det er det ikke funnet en løsning på i arbeidet med denne oppgava.

5.3.3 Praktisk betydning

I praksis gir targetbasert- og cloud-to-cloud-basert registrering omtrent tilsvarende kvalitet. Det var også konklusjonen til den tidligere bacheloroppgaven som er nevnt i introduksjonen. Med tanke på samfunnsnyttien av oppgaven, har gruppen vært i kontakt med Veidekke ved Anders Rolseth. Vi kom frem til at vår analyse egner seg best til rehabilitering av infrastruktur, slik som tunneler, vannkraftverk og bygninger. Ifølge Rolseth er ikke analysen så relevant for konstruksjon, for eksempel av nye tunneler. Disse blir etablert med fastmerker underveis som også brukes til laserskanning.

Laserskanning, som en effektiv metode for geografisk datafangst, kan gi nytte og merverdi på en rekke forskjellige områder. I FNs bærekraftsmål, punkt 9.4, står det følgende; «Innen 2030 oppgradere infrastruktur og omstille næringslivet til å bli mer bærekraftig, med mer effektiv bruk av ressurser og mer utstrakt bruk av rene og miljøvennlige teknologiformer og industriprosesser, der alle land gjør en innsats etter egen evne og kapasitet». Oppgaven kan være med på å effektivisere bruk av ressurser, med tanke på tidsbesparelse og arbeidskraft ved tilrettelegging av targetbasert laserskanning og registrering. Samtidig er laserskanning godt egnet for masse- og volumberegning, noe som også bidrar til mer effektiv bruk av ressurser.

6 Konklusjon

Analyse av resultatene oppnådd i dette prosjektet indikerer at registrering ved bruk av ren cloud-to-cloud gir sammenlignbare resultater som ved bruk av ren target-matching.

De romlige avvikene er i gjennomsnitt svært like i begge metoder, men fordelingen av avvik og generelle tendenser er ulikt. Targetregistreringen har noe lavere avvik i gjennomsnitt og jevnere avviksstørrelse i alle check points. Cloud-to-cloud-modellene har mer varierende størrelser på avvikene. De ulike cloud-to-cloud-modellene viser generelt den samme tendensen, men også her er det variasjoner i fordeling og størrelser på avvik.

I alle check points har targetregistreringen større høydeavvik, mens cloud-to-cloud-modellene har større og mer varierende grunnrissavvik.

Forskjellige cloud-to-cloud-modeller ble utført for å undersøke effekten av ulike registreringsvalg, for bedre å forstå hvordan metoden best kan utnyttes. Det var ingen tydelig eller utvetydig effekt av å inkludere verken ekstra koblinger i hoveddraget eller garderobene. Det er derimot forskjell mellom de to registreringene med samme metode. Dette indikerer effekt av den manuelle jobben som gjøres i visual alignment når programvaren ikke klarer å sette sammen punktskyene automatisk. Forskjellen mellom de to registreringene med samme metode er like stor som mellom cloud-to-cloud-registreringene generelt og targetregistreringen, dersom en sammenligner romlige avvik.

En risiko i analysen av resultatene er å bli fristet til å dra konklusjoner ut fra mønstre vi ser, og mønstre vi ser etter. Forventingen var at targetmetoden ville vise tydelig bedre resultater på et prosjekt av denne størrelsen. Selv om registreringen ved bruk av target virker å gjøre det noe bedre enn targetfri, må det kunne anses som marginalt. Cloud-to-cloud-metodene avviker samtidig like mye fra hverandre, som fra targetmetoden. Dette gjør at en ikke kan attribuere avviksforskjeller til begrensninger i cloud-to-cloud-metodens potensiale. Til det er marginene for små, usikkerheten for stor og innvirkende faktorer for mange.

6.1 Anbefalinger

Denne oppgaven har vist at cloud-to-cloud-metoden kan gi sammenlignbare resultater som ved bruk av targets på prosjekter av denne størrelsen, med visse forbehold. Cloud-to-cloud-metoden er mer sårbar for dårlig overlapp, støy og andre utfordringer i skannemiljøet. Dette må det tas nødvendig hensyn til for å optimalisere bruken av metoden.

Resultatene viser noe større høydeavvik ved targetregistrering, men betydelig større grunnrissavvik ved cloud-to-cloud-registreringene. Videre analyse kan undersøke hvorvidt denne tendensen er å finne i andre prosjekter.

Som nevnt i teori, anbefales det alltid å ha uavhengig kontroll når en bruker cloud-to-cloud (Cox, 2015). Check points muliggjorde undersøkelse av hvor avvik oppsto i dette prosjektet, og indikerte at området mellom svømmehallen og utgangen var problematisk ved cloud-to-cloud-registrering.

Konklusjonene som trekkes her er på grunnlag av resultatene som oppnås i denne case studien, og er ikke nødvendigvis overførbare til prosjekter av annen karakter. Det åpner for at lignende analyser kan gjøres for å understreke eller kontrastere funnene i denne undersøkelsen. Flere analyser kan gi et mer helhetlig bilde av hvordan cloud-to-cloud presterer kvalitetsmessig i ulike skannemiljø.

I denne analysen ble det ikke gjort noen større evaluering av hvorvidt Leicas spesialtargets på generell basis ga bedre resultater enn papirtargets. Selv om det finnes noe forskning på temaet, kan videre undersøkelse gi nyttig innsikt om hvilken kvalitetsforskjell som er forbundet med ulike targets. Av praktiske hensyn alene, vil det være anbefalt å bruke spesialtargetet på lignende prosjekt med smal geometri, ettersom de lettere ga gunstig skannevinkel.

7 Litteraturliste

Abbas, M., Lau, C., Setan, H., Majid, Z., Chong, A., Aspuri, A., Idris, K., Ariff, M. (2014) Terrestrial Laser Scanners Pre-Processing: Registration and Georeferencing, *Jurnal Teknologi*, 71 (4). pp. 115-122. ISSN 0127-9696. Tilgjengelig fra: https://www.researchgate.net/publication/270565814_Terrestrial_Laser_Scanners_Pre-Processing_Registration_and_Georeferencing/link/54ad246d0cf2213c5fe14c22/download (Hentet: 17. januar 2021)

Akca, D. & Gruen, A. (2007) Generalized least squares multiple 3D surface matching, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 36 (3/ W52): 1–7. Tilgjengelig fra: http://www2.isikun.edu.tr/personel/akca/devrim/2007FI_Akca_2007.pdf (Hentet: 5. februar 2021)

Cox, R. (2015) *Real-world comparisons between target-based and targetless point-cloud registration in FARO Scene, Trimble RealWorks and Autodesk Recap*. Bacheloroppgave, University of Southern Queensland. Tilgjengelig fra: https://eprints.usq.edu.au/29195/1/Cox_R_Zhang.pdf (Hentet fra: 5. februar 2021)

Dorninger, P., Nothegger, C. og Rasztoivits, S. (2013) Efficient 3D Documentation of Neptune Fountain in the Park of Schönbrunn Palace at Millimeter Scale, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume II-5/W1. 103-108. 10.5194/isprsannals-II-5-W1-103-2013. Tilgjengelig fra: https://www.researchgate.net/publication/276020169 EFFICIENT_3D_DOCUMENTATION_OF_NEPTUNE_FOUNTAIN_IN_THE_PARK_OF_SCHONBRUNN_PALACE_AT_MILLIMETER_SCALE (Hentet: 1. mars 2021)

Fosse, M., Bognøy, M., Flesland, O.J., og Kvalvåg Kolstad, M. (2017) *Atmosfærisk påvirkning på observasjoner ved bruk av Leica TS15 totalstasjon*. Bacheloroppgave, Høgskulen på Vestlandet. Tilgjengelig fra: https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmllui/bitstream/handle/11250/2451225/Bacheloroppgave_2017_Bognoy_Fosse_Flesland_Kolstad.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Hentet: 17. januar 2021)

Gikas V. (2012) Three-dimensional laser scanning for geometry documentation and construction management of highway tunnels during excavation. *Sensors* (Basel, Switzerland), 12(8), 11249–11270. Tilgjengelig fra: <https://doi.org/10.3390/s120811249> (Hentet: 14. Februar 2021)

Heritage, G.L. og Large, A.R.G. (2009) *Laser scanning for the environmental sciences*, Chichester, West Sussex: Blackwell Pub.

Holst, C., H. Kuhlmann (2016) *Challenges and present fields of action at laser scanner based deformation analyses*. Institute of Geodesy and Geoinformation, University of Bonn.

Tilgjengelig fra:

https://fig.net/resources/proceedings/2016/2016_03_jisd_m_pdf/reviewed/JISDM_2016_submission_25.pdf (Hentet: 10. februar 2021)

Janßen, J., Medic, T., Kuhlmann, H., Holst, C. (2019) Decreasing the Uncertainty of the Target Center Estimation at Terrestrial Laser Scanning by Choosing the Best Algorithm and by Improving the Target Design. *Remote Sens.*, 11, 845. Tilgjengelig fra:

<https://doi.org/10.3390/rs11070845> (Hentet: 6. Februar 2021)

Johansson, G.H., Møllerhagen, L. og Bjerkgården, S.L. (2020) *Analyse av ulike arbeidsmetoder ved innendørs laserskanning, men hensyn til nøyaktighet knyttet opp mot tids og kostnadsbesparelse*. Bacheloroppgave, NTNU Gjøvik. Tilgjengelig fra:

<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2672408> (Hentet: 10.01.2020)

Karagianni, A. (2017) Terrestrial Laser Scanning in Building Documentation, *Civil Engineering and Architecture* 5(6): 215-221, 2017. Tilgjengelig fra:

<https://www.hrpub.org/download/20171030/CEA3-14810173.pdf> (Hentet: 7. februar 2021)

Klimoski, S. (2006) *Using 3D Terrestrial Laser Scanning to Model the Interior of an Abandoned Theater for Renovation Purposes*. Saint Mary's University of Minnesota Central Services Press. Winona, MN. Tilgjengelig fra:

<http://www.gis.smumn.edu/GradProjects/KlimoskiS.pdf> (Hentet: 4. februar 2021)

Leica Geosystems (2016), *Leica MS60/TS60 User Manual, version 2.0*. Tilgjengelig fra:

http://www.naic.edu/~phil/hardware/theodolites/ms60_ts60_usersManual_leica.pdf (Hentet: 05.03.2021)

Lindenbergh, R., Pfeifer, N. og Rabbani, T. (2005) *Accuracy analysis of the Leica HDS3000 and feasibility of tunnel deformation monitoring*. Tilgjengelig fra:

<https://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/3-W19/papers/024.pdf> (Hentet: 6. februar 2021)

Kartverket (2020) *Få veiledning om CPOS*. Tilgjengelig fra: <https://www.kartverket.no/til-lands/posisjon/hva-er-cpos> (Hentet: 01.05.2021)

Kartverket (2015) *Geodatakvalitet*. Tilgjengelig fra:

<https://www.kartverket.no/globalassets/geodataarbeid/standardisering/standarder/standarder-geografisk-informasjon/geodatakvalitet-1.0-standarder-geografisk-informasjon.pdf> (Hentet: 10. mai 2021)

Kartverket (2009) *Grunnlagsnett*. Tilgjengelig fra:

<https://www.kartverket.no/globalassets/geodataarbeid/standardisering/standarder/standarder-geografisk-informasjon/grunnlagsnett-1.1-standarder-geografisk-informasjon.pdf> (Hentet: 05.04.2021)

Kartverket (2017) *Posisjonstjenester i sanntid*. Tilgjengelig fra:

<https://www.kartverket.no/globalassets/geodataarbeid/standardisering/standarder/standarder-geografisk-informasjon/posisjonstjenester-i-sanntid.pdf>

[geografisk-informasjon/posisjonstjenester-i-sanntid-2.0-standarder-geografisk-informasjon.pdf](#) (Hentet: 01.05.2021)

Koch, Y. [yankoch]. (2016, 29. August). *Target vs Targetless*. Laser Scanning Forum. Tilgjengelig fra: <https://www.laserscanningforum.com/forum/viewtopic.php?t=10823> (Hentet: 15. april 2021)

Nothegger, C. og Dorninger, P. (2009) *3D Filtering of High-Resolution Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Documentation*. Tilgjengelig fra: https://www.dgpf.de/pfg/2009/pfg2009_1_Nothegger.pdf (Hentet: 12. februar 2021)

Porras-Amores, C., Mazarrón, F.R., Cañas, I. og Sáez, P.V. (2019) Terrestrial laser scanning digitalization in underground constructions. *Journal of Cultural Heritage*. 38. 10.1016/j.culher.2019.01.007. Tilgjengelig fra: https://www.researchgate.net/publication/330809274_Terrestrial_laser_scanning_digitalization_in_underground_constructions (Hentet: 2. februar 2021)

Rajendra, Y.D., Mehrotra, S.C., Kale, K.V., Manza, R.R., Dhumal, R.K., Nagne, A.D. og Vibhute, A.D. (2014) Evaluation of Partially Overlapping 3D Point Cloud's Registration by Using ICP Variant and CloudCompare, *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol XL-8, 891-897. Tilgjengelig fra: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-8/891/2014/isprsarchives-XL-8-891-2014.pdf> (Hentet: 5. mars 2021)

Re, C., Robson, S., Roncella, R. og Hess, M. (2011) *Metric accuracy evaluation of dense matching algorithms in archeological applications*. Tilgjengelig fra: <https://pdfs.semanticscholar.org/56dd/183306f9f400c3522e71241ad4e6354c068b.pdf> (Hentet: 6. mars 2021)

Sivle, A. (2010) Hvordan beregnes lufttrykket?, yr.no. Tilgjengelig fra: https://www.yr.no/artikkel/hvordan-beregnes-lufttrykket_-1.7150434 (Hentet: 15. mars 2021)

Skogseth, T. og Norberg, D. (2014) *Grunnleggende landmåling*. Gyldendal.

Tournas, E., Tsakiri, M. & I. Efessiou (2010) *The use of Terrestrial Laser Scanning in the renovation of historic buildings*. Tilgjengelig fra: http://library.tee.gr/digital/m2616/m2616_tournas.pdf (Hentet: 20. januar 2021)

Wang, W., Zhao, W., Huang, L., Vimarlund, V. og Wang, Z. (2014) Applications of terrestrial laser scanning for tunnels: a review, *Journal of Traffic and Transportation Engineering* (English Ed.), Vol. 1, No. 5, 325–337, 2014. Tilgjengelig fra: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:935920/FULLTEXT01.pdf> (Hentet: 25. januar 2021)

Woodage, J. (2018) *Georeferencing GPS control with Leica Cyclone*. Tilgjengelig fra: <https://www.youtube.com/watch?v=qoJg6mXOPgg> (Hentet: 14. april 2021)

8 Vedlegg

For mer utfyllende informasjon om rapporter fra Gemini Oppmåling og Leica Cyclone Register 360 kan e-post sendes til stih@stud.ntnu.no eller mkbersta@stud.ntnu.no. Rådataene er gjerne store filer, så dersom dette ønskes må dataoverføring avtales via e-post.

8.1 Grunnlagsnett

8.1.1 Utjevningsrapporter fra Gemini Oppmåling

Grunnriss

Gemini | Oppmåling

Utjevning

Prosjekt:

Koordinatsystem: EUREF89 NTM Sone 10

/ NN 2000 høyder

14.04.2021

Kjente punkt

PunktID	Tema	N-koord.	Ø-koord.	Høyde	GeoideH	Status	Delt status
FM1		1 311 102,081	109 961,612	178,492	38,620	K	XYZ
FM3		1 311 179,808	110 072,381	149,031	38,611	K	XYZ

Beregnete punkt

PunktID	Tema	N-koord. Std. N	Ø-koord. Std. Ø	Høyde Std. H	Status a	fi b
FM2		1 311 095,862 0.0001	110 072,911 0.0001	157,332	U 0.0001	39,1 0.0001
FM4		1 311 149,701 0.0000	110 046,605 0.0000	150,653	U 0.0001	48,4 0.0000
FM5		1 311 127,527 0.0000	110 023,100 0.0000	151,136	U 0.0001	63,9 0.0000

Sammendrag utjevning

Antall kjente punkt:	2	Antall stasjoner (konv. obs.):	50
Antall ukjente punkt:	3	Antall hor.retninger:	188
		Antall vertikalvinkler:	0
		Antall avstander:	200
Antall ukjente:	6	Antall satellittvektorer:	0
Antall obs:	388	Antall punktobservasjoner:	0
		Antall nivellementobs:	0
Sum PVV:	58.2628612694816326		
Beregnet standardavvik på vektsent:	0.4182864		
Antatt standardavvik på vektsenhete:	1.0000000		
Antall overskytende målinger:	333		
K-tall (ant. overbest. / ant. obs.):	0.8582		

Høyde

Gemini | Oppmåling

Utjevning

Prosjekt:

Koordinatsystem: EUREF89 NTM Sone 10

/ NN 2000 høyder

14.04.2021

Kjente punkt

PunktID	Tema	N-koord.	Ø-koord.	Høyde	GeoideH	Status	Delt status
FM1		1 311 102,081	109 961,612	178,492	38,620	K	XYZ
FM3		1 311 179,808	110 072,381	149,031	38,611	K	XYZ

Ctrl+N

Beregnete punkt

PunktID	Tema	N-koord. Std. N	Ø-koord. Std. Ø	Høyde Std. H	Status a	fi b
FM2		1 311 095,862	110 072,911	157,332 0.0001	U	
FM4		1 311 149,701	110 046,605	150,653 0.0001	U	
FM5		1 311 127,527	110 023,100	151,136 0.0001	U	

Sammendrag utjevning

Antall kjente punkt:	2	Antall stasjoner (konv. obs.):	50
Antall ukjente punkt:	3	Antall hor.retninger:	0
		Antall vertikalvinkler:	180
		Antall avstander:	0
Antall ukjente:	3	Antall satellittvektorer:	0
Antall obs:	180	Antall punktobservasjoner:	0
		Antall nivellementobs:	0
Sum PVV:		196.6944088318408888	
Beregnet standardavvik på vektsent		1.0541669	
Antatt standardavvik på vektsenhete		1.0000000	
Antall overskytende målinger:		177	
K-tall (ant. overbest. / ant. obs.):		0.9833	

8.1.2 Grovfeilsøk fra Gemini Oppmåling

Grunnriss

Grovfeil, sammendrag

Antall overskytende målinger:	333
Student T-verdi:	3.32
Testnivå:	0.0010

Høyde

Grovfeil, sammendrag

Antall overskytende målinger:	196
Student T-verdi:	3.34
Testnivå:	0.0010

8.1.3 Globaltest fra Gemini Oppmåling

Gemini | Oppmåling

Globaltest

Prosjekt: E:\NTNU 2021\BGE0390\Grunnlagsnett\NY\Grunnlagsnett.gmi
 Koordinatsystem: EUREF89 NTM Sone 10 / NN 2000 høyder

23.04.2021

Globaltest, fristilling av punkt

Beregning basert på fritt nett			
Antall overskytende obs:	527	Middelfeil	0.4322882
Antall ukjente:	10	Summe pvv	98.4821140
Beregning basert på tvangsutjevning			
Antall overskytende obs:	537	Middelfeil	0.5142482
Antall ukjente:	0	Summe pvv	142.0102841
Beregnet verdi	Testverdi	Aksjon	Punkt
23.29	2.36		
2.54	2.67	etter fristilling av punkt	FM1
-9.02	3.36	etter fristilling av punkt	FM3
2.54	2.67	etter låsing av punkt	FM3
23.29	2.36	etter låsing av punkt	FM1
2.54	2.67	etter fristilling av punkt	FM1
Sammendrag for globaltest		Antall målestokksgrupper:	0
Globaltest er OK		Antall rotasjonsgrupper:	0
Testnivå:	0..01	Antall loddavviksgrupper:	0

Globaltest, test av endringer

dX	dY	dXY	Grense	dZ	Grense	Action	Punkt
0.001	0.000	0.001	0.000	-0.001	0.000	behold fristilt	FM1
Sammendrag							
Test av endringer er OK						Testverdi:	0.01

8.1.4 Indre pålitelighetstest fra Gemini Oppmåling

Grunnriss

Indre pålitelighet, sammendrag

Antall overbestemmelser: 333 Student T-verdi: 1,967
Middelfeil på vektsenhet: 0,4264164 Test nivå: 0,050

Høyde

Indre pålitelighet, sammendrag

Antall overbestemmelser: 196 Student T-verdi: 1,972
Middelfeil på vektsenhet: 1,0078529 Test nivå: 0,050

8.1.5 Kjikkvadratberegning

Grunnlagsnett					
Høyde					
Signifikansnivå	Frihetsgrader	Beregnet stdv. på vekt	Antatt stdv.	Målt verdi	Tabellverdi (øvre)
5%	177	1.0542	1	196.6944	209.0424
2.50%	177	1.0542	1	196.6944	215.7328
1%	177	1.0542	1	196.6944	223.6865
Signifikansnivå	Frihetsgrader	Beregnet stdv. på vekt	Antatt stdv.	Målt verdi	Tabellverdi (nedre)
5%	177	1.0542	1	196.6944	147.2303
2.50%	177	1.0542	1	196.6944	142.0527
1%	177	1.0542	1	196.6944	136.1899
Grunnriss					
Signifikansnivå	Frihetsgrader	Beregnet stdv. på vekt	Antatt stdv.	Målt verdi	Tabellverdi (øvre)
5%	333	0.4183	1	58.2629	376.5550
2.50%	333	0.4183	1	58.2629	385.4476
1%	333	0.4183	1	58.2629	395.9598
Signifikansnivå	Frihetsgrader	Beregnet stdv. på vekt	Antatt stdv.	Målt verdi	Tabellverdi (nedre)
5%	333	0.4183	1	58.2629	291.7184
2.50%	333	0.4183	1	58.2629	284.3394
1%	333	0.4183	1	58.2629	275.9195

8.2 Polygondrag

8.2.1 Utjevningsrapporter fra Gemini Oppmåling

Tilsluttet polygondrag

Grunnriss

Beregnete punkt						
PunktID	Tema	N-koord. Std. N	Ø-koord. Std. Ø	Høyde Std. H	Status a	fi b
P1		1 311 200,152 0.0001	110 022,439 0.0001	151,551	U 0.0001	27,0 0.0001
P2		1 311 215,184 0.0002	109 984,788 0.0001	152,713	U 0.0002	27,1 0.0001
P3		1 311 221,685 0.0002	109 968,565 0.0002	153,231	U 0.0003	29,7 0.0001
P4		1 311 231,360 0.0003	109 945,520 0.0002	154,613	U 0.0003	34,0 0.0002
P5		1 311 220,993 0.0003	109 922,364 0.0002	155,579	U 0.0004	24,6 0.0002
P6		1 311 196,399 0.0003	109 932,541 0.0002	155,562	U 0.0003	20,7 0.0002
P7		1 311 179,345 0.0003	109 939,122 0.0002	154,029	U 0.0003	22,2 0.0002
P8		1 311 167,187 0.0003	109 944,407 0.0002	155,475	U 0.0003	19,3 0.0002
P9		1 311 153,252 0.0003	109 944,738 0.0002	155,659	U 0.0003	8,0 0.0002
P10		1 311 146,755 0.0002	109 959,167 0.0001	155,597	U 0.0002	4,1 0.0001
P11		1 311 146,877 0.0002	109 974,640 0.0001	155,563	U 0.0002	17,2 0.0001
P12		1 311 148,047 0.0001	109 991,115 0.0001	155,152	U 0.0001	37,1 0.0001

Sammendrag utjevning

Antall kjente punkt:	3	Antall stasjoner (konv. obs.):	217
Antall ukjente punkt	12	Antall hor.retninger:	276
		Antall vertikalvinkler:	0
		Antall avstander:	280
Antall ukjente:	24	Antall satellittvektorer:	0
Antall obs:	556	Antall punktobservasjoner:	0
		Antall nivellementobs:	0
Sum PVV:		4.9937213848651583	
Beregnet standardavvik på vektsent		0.1125807	
Antatt standardavvik på vektsenhete		1.0000000	
Antall overskytende målinger:		394	
K-tall (ant. overbest. / ant. obs.):		0.7086	

Høyde

Beregnete punkt						
PunktID	Tema	N-koord. Std. N	Ø-koord. Std. Ø	Høyde Std. H	Status a	fi b
P1		1 311 200,152	110 022,439	151,551 0.0002	U	
P2		1 311 215,184	109 984,788	152,713 0.0003	U	
P3		1 311 221,685	109 968,565	153,231 0.0003	U	
P4		1 311 231,360	109 945,520	154,613 0.0003	U	
P5		1 311 220,993	109 922,364	155,579 0.0003	U	
P6		1 311 196,399	109 932,541	155,562 0.0003	U	
P7		1 311 179,345	109 939,122	154,029 0.0003	U	
P8		1 311 167,187	109 944,407	155,475 0.0003	U	
P9		1 311 153,252	109 944,738	155,659 0.0003	U	
P10		1 311 146,755	109 959,167	155,597 0.0003	U	
P11		1 311 146,877	109 974,640	155,563 0.0002	U	
P12		1 311 148,047	109 991,115	155,152 0.0002	U	

Sammendrag utjevning

Antall kjente punkt:	2	Antall stasjoner (konv. obs.):	193
Antall ukjente punkt:	12	Antall hor.retninger:	0
		Antall vertikalvinkler:	222
		Antall avstander:	0
Antall ukjente:	12	Antall satellittvektorer:	0
Antall obs:	222	Antall punktobservasjoner:	0
		Antall nivellementobs:	0
Sum PVV:		8.8301141670501426	
Beregnet standardavvik på vektsent		0.2050565	
Antatt standardavvik på vektsenhete		1.0000000	
Antall overskytende målinger:		210	
K-tall (ant. overbest. / ant. obs.):		0.9459	

Blinddrag

Grunnriss

Beregnete punkt

PunktID	Tema	N-koord.	Ø-koord.	Høyde	Status	fi
		Std. N	Std. Ø	Std. H	a	b
FM5		1 311 127,526 0.0020	110 023,098 0.0016	151,134	U 0.0024	41,1 0.0008
P1		1 311 200,152 0.0001	110 022,439 0.0001	151,551	U 0.0001	24,6 0.0001
P2		1 311 215,185 0.0002	109 984,788 0.0001	152,713	U 0.0003	24,3 0.0001
P3		1 311 221,686 0.0003	109 968,565 0.0002	153,231	U 0.0003	24,3 0.0001
P4		1 311 231,361 0.0005	109 945,521 0.0003	154,613	U 0.0005	24,7 0.0002
P5		1 311 220,994 0.0007	109 922,364 0.0002	155,579	U 0.0008	6,9 0.0002
P6		1 311 196,400 0.0006	109 932,541 0.0004	155,562	U 0.0007	178,9 0.0003
P7		1 311 179,346 0.0006	109 939,121 0.0006	154,029	U 0.0007	148,2 0.0004
P8		1 311 167,188 0.0006	109 944,406 0.0008	155,475	U 0.0008	124,8 0.0005
P9		1 311 153,253 0.0006	109 944,736 0.0010	155,659	U 0.0011	114,8 0.0005
P10		1 311 146,755 0.0006	109 959,165 0.0012	155,597	U 0.0012	92,4 0.0006
P11		1 311 146,877 0.0008	109 974,638 0.0012	155,563	U 0.0013	69,4 0.0007
P12		1 311 148,047 0.0012	109 991,113 0.0011	155,152	U 0.0015	47,8 0.0007

Sammendrag utjevning

Antall kjente punkt:	2	Antall stasjoner (konv. obs.):	217
Antall ukjente punkt:	13	Antall hor.retninger:	256
		Antall vertikalvinkler:	0
		Antall avstander:	270
Antall ukjente:	26	Antall satellittvektorer:	0
Antall obs:	526	Antall punktobservasjoner:	0
		Antall nivellementobs:	0

Sum PVV:	4.7756427079415760
Beregnet standardavvik på vektsent	0.1133038
Antatt standardavvik på vektsenhete	1.0000000
Antall overskytende målinger:	372
K-tall (ant. overbest. / ant. obs.):	0.7072

Høyde

Beregnete punkt						
PunktID	Tema	N-koord. Std. N	Ø-koord. Std. Ø	Høyde Std. H	Status a	fi b
FM5		1 311 127,526	110 023,098	151,132 0.0006	U	
P1		1 311 200,152	110 022,439	151,550 0.0002	U	
P2		1 311 215,185	109 984,788	152,713 0.0003	U	
P3		1 311 221,686	109 968,565	153,230 0.0004	U	
P4		1 311 231,361	109 945,521	154,612 0.0004	U	
P5		1 311 220,994	109 922,364	155,578 0.0004	U	
P6		1 311 196,400	109 932,541	155,561 0.0004	U	
P7		1 311 179,346	109 939,121	154,028 0.0004	U	
P8		1 311 167,188	109 944,406	155,474 0.0005	U	
P9		1 311 153,253	109 944,736	155,657 0.0005	U	
P10		1 311 146,755	109 959,165	155,595 0.0005	U	
P11		1 311 146,877	109 974,638	155,561 0.0005	U	
P12		1 311 148,047	109 991,113	155,151 0.0005	U	

Sammendrag utjevning

Antall kjente punkt:	1	Antall stasjoner (konv. obs.):	193
Antall ukjente punkt:	13	Antall hor.retninger:	0
		Antall vertikalvinkler:	222
		Antall avstander:	0
Antall ukjente:	13	Antall satellittvektorer:	0
Antall obs:	222	Antall punktobservasjoner:	0
		Antall nivellementobs:	0
Sum PVV:	8.3671592099666974		
Beregnet standardavvik på vektsent:	0.2000856		
Antatt standardavvik på vektsenhete:	1.0000000		
Antall overskytende målinger:	209		
K-tall (ant. overbest. / ant. obs.):	0.9414		

Check points

Grunnriss

Beregnete punkt						
PunktID	Tema	N-koord. Std. N	Ø-koord. Std. Ø	Høyde Std. H	Status a	fi b
ORI-SCAN		1 311 219,313 0.0001	109 977,777 0.0002	152,060	U 0.0002	133,9 0.0001
C1		1 311 215,287 0.0002	109 975,683 0.0002	152,999	U 0.0002	23,5 0.0001
C2		1 311 223,675 0.0002	109 978,951 0.0002	152,919	U 0.0003	63,9 0.0002
C3		1 311 225,025 0.0002	109 975,669 0.0002	151,683	U 0.0002	183,5 0.0002
C5		1 311 200,392 0.0002	109 931,959 0.0001	155,451	U 0.0002	188,9 0.0001
C6		1 311 193,304 0.0002	109 942,257 0.0002	155,877	U 0.0002	20,4 0.0001
C7		1 311 179,466 0.0001	109 945,930 0.0001	153,664	U 0.0001	169,8 0.0001
C8		1 311 155,013 0.0002	109 946,574 0.0002	155,809	U 0.0002	83,7 0.0001
C9		1 311 174,263 0.0001	109 934,563 0.0001	153,665	U 0.0001	78,0 0.0001
C10		1 311 181,595 0.0001	109 927,399 0.0002	155,960	U 0.0002	87,3 0.0001
C11		1 311 148,935 0.0002	109 978,101 0.0001	155,289	U 0.0002	12,3 0.0001
C12		1 311 145,573 0.0016	109 980,289 0.0003	155,468	U 0.0016	9,0 0.0001

Sammendrag utjevning

Antall kjente punkt:	12	Antall stasjoner (konv. obs.):	57
Antall ukjente punkt:	12	Antall hor.retninger:	51
		Antall vertikalvinkler:	0
		Antall avstander:	75
Antall ukjente:	24	Antall satellittvektorer:	0
Antall obs:	126	Antall punktobservasjoner:	0
		Antall nivellementobs:	0
Sum PVV:		7.6834123294131258	
Beregnet standardavvik på vektsent		0.3118628	
Antatt standardavvik på vektsenhete		1.0000000	
Antall overskytende målinger:		79	
K-tall (ant. overbest. / ant. obs.):		0.6270	

Høyde

Beregnete punkt						
PunktID	Tema	N-koord. Std. N	Ø-koord. Std. Ø	Høyde Std. H	Status a	fi b
ORI-SCAN		1 311 219,313	109 977,777	152,046 0.0002	U	
C1		1 311 215,287	109 975,683	152,985 0.0002	U	
C2		1 311 223,675	109 978,951	152,905 0.0001	U	
C3		1 311 225,025	109 975,669	151,669 0.0001	U	
C4		1 311 221,883	109 960,082	153,991 0.0002	U	
C5		1 311 200,392	109 931,959	155,436 0.0001	U	
C6		1 311 193,304	109 942,257	155,862 0.0001	U	
C7		1 311 179,466	109 945,930	153,650 0.0001	U	
C8		1 311 155,013	109 946,574	155,794 0.0001	U	
C9		1 311 174,263	109 934,563	153,650 0.0001	U	
C10		1 311 181,595	109 927,399	155,946 0.0001	U	
C11		1 311 148,935	109 978,101	155,276 0.0002	U	
C12		1 311 145,573	109 980,289	155,455 0.0002	U	
C13		1 311 145,902	109 969,278	154,241 0.0002	U	
C14		1 311 147,474	109 971,196	156,369 0.0002	U	

Sammendrag utjevning

Antall kjente punkt:	9	Antall stasjoner (konv. obs.):	86
Antall ukjente punkt:	15	Antall hor.retninger:	0
		Antall vertikalvinkler:	114
		Antall avstander:	0
Antall ukjente:	15	Antall satellittvektorer:	0
Antall obs:	114	Antall punktobservasjoner:	0
		Antall nivellementobs:	0
Sum PVV:	31.3712058446825459		
Beregnet standardavvik på vektsent:	0.5629217		
Antatt standardavvik på vektsenhete:	1.0000000		
Antall overskytende målinger:	99		
K-tall (ant. overbest. / ant. obs.):	0.8684		

8.2.2 Grovfeilsøk fra Gemini Oppmåling

Tilsluttet polygondrag

Grunnriss

Antall overskytende målinger:	393
Student T-verdi:	3.32
Testnivå:	0.0010

Høyde

Grovfeil, sammendrag

Antall overskytende målinger:	224
Student T-verdi:	3.33
Testnivå:	0.0010

Blinddrag

Grunnriss

Grovfeil, sammendrag

Antall overskytende målinger:	373
Student T-verdi:	3.32
Testnivå:	0.0010

Høyde

Grovfeil, sammendrag

Antall overskytende målinger:	214
Student T-verdi:	3.34
Testnivå:	0.0010

Check points

Grunnriss

Grovfeil, sammendrag

Antall overskytende målinger:	442
Student T-verdi:	3.31
Testnivå:	0.0010

Høyde

Grovfeil, sammendrag

Antall overskytende målinger:	327
Student T-verdi:	3.32
Testnivå:	0.0010

8.2.3 Kjikkvadratberegning

Tilsluttet polygondrag					
Høyde					
Signifikansnivå	Frihetsgrader	Beregnet stdv. på vekt	Antatt stdv.	Målt verdi	Tabellverdi (øvre)
5%	214	0.9469	1	191.8901	249.1275
2.50%	214	0.9469	1	191.8901	256.4079
1%	214	0.9469	1	191.8901	265.0469
Signifikansnivå	Frihetsgrader	Beregnet stdv. på vekt	Antatt stdv.	Målt verdi	Tabellverdi (nedre)
5%	214	0.9469	1	191.8901	181.1454
2.50%	214	0.9469	1	191.8901	175.3782
1%	214	0.9469	1	191.8901	168.8306
Grunnriss					
Signifikansnivå	Frihetsgrader	Beregnet stdv. på vekt	Antatt stdv.	Målt verdi	Tabellverdi (øvre)
5%	388	0.4449	1	76.8105	434.9289
2.50%	388	0.4449	1	76.8105	444.4672
1%	388	0.4449	1	76.8105	455.7297
Signifikansnivå	Frihetsgrader	Beregnet stdv. på vekt	Antatt stdv.	Målt verdi	Tabellverdi (nedre)
5%	388	0.4449	1	76.8105	343.3446
2.50%	388	0.4449	1	76.8105	335.3200
1%	388	0.4449	1	76.8105	326.1500

Blinddrag					
Høyde					
Signifikansnivå	Frihetsgrader	Beregnet stdv. på vekt	Antatt stdv.	Målt verdi	Tabellverdi (øvre)
5%	222	0.8441	1	158.1755	257.7585
2.50%	222	0.8441	1	158.1755	265.1595
1%	222	0.8441	1	158.1755	273.9386
Signifikansnivå	Frihetsgrader	Beregnet stdv. på vekt	Antatt stdv.	Målt verdi	Tabellverdi (nedre)
5%	222	0.8441	1	158.1755	188.5145
2.50%	222	0.8441	1	158.1755	182.6267
1%	222	0.8441	1	158.1755	175.9390
Grunnriss					
Signifikansnivå	Frihetsgrader	Beregnet stdv. på vekt	Antatt stdv.	Målt verdi	Tabellverdi (øvre)
5%	386	0.3234	1	40.3657	432.8105
2.50%	386	0.3234	1	40.3657	442.3262
1%	386	0.3234	1	40.3657	453.5625
Signifikansnivå	Frihetsgrader	Beregnet stdv. på vekt	Antatt stdv.	Målt verdi	Tabellverdi (nedre)
5%	386	0.3234	1	40.3657	341.4629
2.50%	386	0.3234	1	40.3657	333.4609
1%	386	0.3234	1	40.3657	324.3173

Check Points					
Høyde					
Signifikansnivå	Frihetsgrader	Beregnet stdv. på vekt	Antatt stdv.	Målt verdi	Tabellverdi (øvre)
5%	99	0.5629	1	31.3712	123.2252
2.50%	99	0.5629	1	31.3712	128.4220
1%	99	0.5629	1	31.3712	134.6416
Signifikansnivå	Frihetsgrader	Beregnet stdv. på vekt	Antatt stdv.	Målt verdi	Tabellverdi (nedre)
5%	99	0.5629	1	31.3712	77.0463
2.50%	99	0.5629	1	31.3712	73.3611
1%	99	0.5629	1	31.3712	69.2299
Grunnriss					
Signifikansnivå	Frihetsgrader	Beregnet stdv. på vekt	Antatt stdv.	Målt verdi	Tabellverdi (øvre)
5%	79	0.3119	1	7.6834	100.7486
2.50%	79	0.3119	1	7.6834	105.4728
1%	79	0.3119	1	7.6834	111.1440
Signifikansnivå	Frihetsgrader	Beregnet stdv. på vekt	Antatt stdv.	Målt verdi	Tabellverdi (nedre)
5%	79	0.3119	1	7.6834	59.5223
2.50%	79	0.3119	1	7.6834	56.3089
1%	79	0.3119	1	7.6834	52.7247

8.3 Laserskanning

8.3.1 Registreringsrapporter fra Leica Cyclone Register 360

Figur 21: Illustrasjonsbilde fra rapporten til M6



Rapport fra registrering av M1

Overall Quality

Error Results for Bundle 1

Setup Count: 22
 Link Count: 21
 Strength: 45 %
 Overlap: 57 %

Bundle Error 0.003 m ✓	
Overlap 57 % ✓	Strength 45 %
Cloud-to-Cloud	Target Error

0.004 m ✓	0.002 m ✓
-----------	-----------

Max error of 0.015 m.

Max error of 0.020 m.

Error greater than 0.020 m.

Link Error Results

1 Overview

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 37	Station-003-SW-006	Station-004-SW-007	80 %	0.003 m
Link 38	Station-004-SW-007	Station-006-SW-009	75 %	0.003 m
Link 39	Station-006-SW-009	Station-008-SW-011	49 %	0.003 m
Link 62	Station-002-SW-005	Station-003-SW-006	73 %	0.004 m
Link 35	042FM3-SW-046	Station-043-SW-047	18 %	0.005 m
Link 36	Station-002-SW-005	Station-043-SW-047	56 %	0.007 m
Link 63	Station-008-SW-011	Station-009-SW-012	64 %	0.004 m
Link 64	Station-009-SW-012	Station-011-SW-014	73 %	0.004 m
Link 40	Station-011-SW-014	Station-012-SW-015	28 %	0.004 m
Link 41	Station-012-SW-015	Station-013-SW-016	55 %	0.002 m
Link 42	Station-013-SW-016	Station-014-SW-017	77 %	0.001 m
Link 43	Station-014-SW-017	Station-015-SW-018	78 %	0.003 m
Link 44	Station-015-SW-018	Station-016-SW-019	72 %	0.002 m
Link 45	Station-016-SW-019	Station-017-SW-020	85 %	0.002 m
Link 65	Station-017-SW-020	Station-033-SW-036	67 %	0.003 m
Link 50	Station-033-SW-036	Station-034-SW-037	38 %	0.005 m
Link 66	Station-034-SW-037	Station-035-SW-038	53 %	0.004 m
Link 51	Station-035-SW-038	Station-036-SW-039	37 %	0.002 m
Link 52	Station-036-SW-039	Station-037-SW-040	31 %	0.001 m
Link 53	Station-037-SW-040	Station-038-SW-043	45 %	0.003 m
Link 54	Station-038-SW-043	Station-041-SW-045	40 %	0.008 m

Rapport fra registrering av M2

Overall Quality

Error Results for Bundle 1

Setup Count: 22
 Link Count: 21
 Strength: 45 %
 Overlap: 55 %

Bundle Error 0.004 m ✓	
Overlap 55 % ✓	Strength 45 %
Cloud-to-Cloud	Target Error

0.004 m ✓	--
-----------	----

■ Max error of 0.015 m.
 ■ Max error of 0.020 m.
 ■ Error greater than 0.020 m.

Link Error Results

1 Overview

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 1	Station-003-SW-006	Station-004-SW-007	80 %	0.004 m
Link 5	Station-002-SW-005	Station-003-SW-006	64 %	0.004 m
Link 7	Station-008-SW-011	Station-009-SW-012	58 %	0.004 m
Link 8	Station-009-SW-012	Station-011-SW-014	65 %	0.004 m
Link 9	Station-013-SW-016	Station-014-SW-017	69 %	0.002 m
Link 10	Station-004-SW-007	Station-006-SW-009	62 %	0.003 m
Link 19	Station-011-SW-014	Station-012-SW-015	27 %	0.004 m
Link 33	Station-012-SW-015	Station-013-SW-016	51 %	0.002 m
Link 68	042FM3-SW-046	Station-043-SW-047	18 %	0.006 m
Link 69	Station-043-SW-047	Station-002-SW-005	60 %	0.005 m
Link 71	Station-015-SW-018	Station-016-SW-019	71 %	0.003 m
Link 73	Station-033-SW-036	Station-034-SW-037	38 %	0.007 m
Link 74	Station-016-SW-019	Station-017-SW-020	80 %	0.002 m
Link 76	Station-015-SW-018	Station-014-SW-017	73 %	0.002 m
Link 85	Station-033-SW-036	Station-017-SW-020	72 %	0.004 m
Link 93	Station-034-SW-037	Station-035-SW-038	52 %	0.004 m
Link 95	Station-036-SW-039	Station-035-SW-038	36 %	0.003 m
Link 96	Station-008-SW-011	Station-006-SW-009	61 %	0.003 m
Link 97	Station-036-SW-039	Station-037-SW-040	31 %	0.002 m
Link 98	Station-038-SW-043	Station-037-SW-040	42 %	0.003 m
Link 99	Station-041-SW-045	Station-038-SW-043	37 %	0.013 m

Rapport fra registrering av M3

Overall Quality

Error Results for Bundle 1

Setup Count: 22
 Link Count: 21
 Strength: 46 %
 Overlap: 56 %

Bundle Error 0.004 m ✓	
Overlap 56 % ✓	Strength 46 %
Cloud-to-Cloud	Target Error

0.004 m ✓	--
-----------	----

■ Max error of 0.015 m.
 ■ Max error of 0.020 m.
 ■ Error greater than 0.020 m.

Link Error Results

1 Overview

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 27	Station-043-SW-047	042FM3-SW-046	18 %	0.006 m
Link 28	Station-043-SW-047	Station-002-SW-005	59 %	0.005 m
Link 29	Station-002-SW-005	Station-003-SW-006	75 %	0.004 m
Link 30	Station-003-SW-006	Station-004-SW-007	68 %	0.004 m
Link 32	Station-006-SW-009	Station-004-SW-007	71 %	0.003 m
Link 33	Station-006-SW-009	Station-008-SW-011	55 %	0.004 m
Link 34	Station-008-SW-011	Station-009-SW-012	57 %	0.004 m
Link 35	Station-009-SW-012	Station-011-SW-014	66 %	0.004 m
Link 36	Station-012-SW-015	Station-011-SW-014	28 %	0.004 m
Link 37	Station-013-SW-016	Station-012-SW-015	51 %	0.002 m
Link 38	Station-013-SW-016	Station-014-SW-017	70 %	0.002 m
Link 39	Station-014-SW-017	Station-015-SW-018	73 %	0.002 m
Link 40	Station-016-SW-019	Station-015-SW-018	77 %	0.003 m
Link 41	Station-016-SW-019	Station-017-SW-020	78 %	0.002 m
Link 42	Station-017-SW-020	Station-033-SW-036	68 %	0.003 m
Link 43	Station-033-SW-036	Station-034-SW-037	39 %	0.007 m
Link 44	Station-035-SW-038	Station-034-SW-037	54 %	0.004 m
Link 45	Station-035-SW-038	Station-036-SW-039	37 %	0.003 m
Link 46	Station-036-SW-039	Station-037-SW-040	32 %	0.002 m
Link 47	Station-037-SW-040	Station-038-SW-043	44 %	0.003 m
Link 48	Station-038-SW-043	Station-041-SW-045	46 %	0.013 m

Rapport fra registrering av M4

Overall Quality

Error Results for Bundle 1

Setup Count: 37
Link Count: 38
Strength: 43 %
Overlap: 49 %

Bundle Error 0.004 m ✓	
Overlap 49 % ✓	Strength 43 %
Cloud-to-Cloud	Target Error

0.004 m ✓

--

■ Max error of 0.015 m.

■ Max error of 0.020 m.

■ Error greater than 0.020 m.

1 Overview

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 1	Station-016-SW-019	Station-017-SW-020	78 %	0.002 m
Link 5	Station-002-SW-005	Station-003-SW-006	62 %	0.005 m
Link 6	Station-003-SW-006	Station-004-SW-007	68 %	0.004 m
Link 9	Station-009-SW-012	Station-011-SW-014	65 %	0.004 m
Link 10	Station-013-SW-016	Station-014-SW-017	69 %	0.002 m
Link 11	Station-004-SW-007	Station-006-SW-009	62 %	0.003 m
Link 30	Station-011-SW-014	Station-012-SW-015	27 %	0.004 m
Link 37	Station-012-SW-015	Station-013-SW-016	52 %	0.002 m
Link 46	Station-015-SW-018	Station-016-SW-019	69 %	0.004 m
Link 47	Station-014-SW-017	Station-015-SW-018	73 %	0.003 m
Link 75	Station-043-SW-047	042FM3-SW-046	18 %	0.006 m
Link 76	Station-043-SW-047	Station-002-SW-005	55 %	0.004 m
Link 77	Station-006-SW-009	Station-008-SW-011	57 %	0.004 m
Link 78	Station-008-SW-011	Station-009-SW-012	64 %	0.004 m
Link 79	Station-017-SW-020	Station-033-SW-036	69 %	0.003 m
Link 80	Station-033-SW-036	Station-034-SW-037	38 %	0.007 m
Link 81	Station-034-SW-037	Station-035-SW-038	55 %	0.004 m
Link 82	Station-036-SW-039	Station-035-SW-038	36 %	0.003 m
Link 83	Station-037-SW-040	Station-036-SW-039	32 %	0.002 m
Link 84	Station-038-SW-043	Station-037-SW-040	42 %	0.003 m
Link 85	Station-041-SW-045	Station-038-SW-043	37 %	0.013 m
Link 86	Station-018-SW-021	Station-017-SW-020	65 %	0.002 m
Link 87	Station-019-SW-022	Station-018-SW-021	29 %	0.002 m
Link 88	Station-019-SW-022	Station-020-SW-023	57 %	0.002 m
Link 89	Station-020-SW-023	Station-021-SW-024	30 %	0.003 m
Link 90	Station-021-SW-024	Station-022-SW-025	42 %	0.003 m
Link 91	Station-022-SW-025	Station-023-SW-026	28 %	0.004 m
Link 92	Station-023-SW-026	Station-024-SW-027	39 %	0.004 m
Link 93	Station-024-SW-027	Station-025-SW-028	33 %	0.003 m
Link 94	Station-025-SW-028	Station-036-SW-039	59 %	0.002 m
Link 95	Station-036-SW-039	Station-026-SW-029	62 %	0.003 m
Link 96	Station-026-SW-029	Station-027-SW-030	21 %	0.005 m
Link 97	Station-028-SW-031	Station-027-SW-030	42 %	0.004 m
Link 98	Station-029-SW-032	Station-028-SW-031	31 %	0.005 m
Link 99	Station-029-SW-032	Station-030-SW-033	46 %	0.004 m
Link 100	Station-030-SW-033	Station-031-SW-034	35 %	0.004 m
Link 101	Station-031-SW-034	Station-032-SW-035	69 %	0.003 m
Link 102	Station-032-SW-035	Station-017-SW-020	52 %	0.001 m

Rapport fra registrering av M5

Overall Quality

Error Results for Bundle 1

Setup Count: 22
 Link Count: 44
 Strength: 45 %
 Overlap: 50 %

Bundle Error 0.004 m ✓	
Overlap 50 % ✓	Strength 45 %
Cloud-to-Cloud	Target Error

0.004 m ✓	--
-----------	----

■ Max error of 0.015 m.
 ■ Max error of 0.020 m.
 ■ Error greater than 0.020 m.

Link Error Results

1 Overview

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 1	Station-016-SW-019	Station-017-SW-020	78 %	0.002 m
Link 2	Station-015-SW-018	Station-017-SW-020	72 %	0.004 m
Link 3	Station-002-SW-005	Station-003-SW-006	62 %	0.004 m
Link 4	Station-009-SW-012	Station-011-SW-014	65 %	0.004 m
Link 5	Station-013-SW-016	Station-014-SW-017	69 %	0.001 m
Link 6	Station-003-SW-006	Station-004-SW-007	68 %	0.004 m
Link 7	Station-004-SW-007	Station-006-SW-009	63 %	0.003 m
Link 8	Station-003-SW-006	Station-006-SW-009	44 %	0.003 m
Link 9	Station-008-SW-011	Station-009-SW-012	57 %	0.003 m
Link 10	Station-033-SW-036	Station-034-SW-037	37 %	0.007 m
Link 11	Station-013-SW-016	Station-015-SW-018	73 %	0.002 m
Link 12	Station-011-SW-014	Station-012-SW-015	26 %	0.004 m
Link 13	Station-017-SW-020	Station-033-SW-036	66 %	0.004 m
Link 14	Station-006-SW-009	Station-009-SW-012	23 %	0.005 m
Link 15	Station-012-SW-015	Station-013-SW-016	51 %	0.002 m
Link 16	Station-016-SW-019	Station-033-SW-036	75 %	0.004 m
Link 17	Station-012-SW-015	Station-014-SW-017	46 %	0.002 m
Link 19	Station-036-SW-039	Station-037-SW-040	29 %	0.003 m
Link 20	Station-012-SW-015	Station-015-SW-018	50 %	0.003 m
Link 21	Station-014-SW-017	Station-016-SW-019	65 %	0.003 m
Link 22	Station-015-SW-018	Station-016-SW-019	69 %	0.004 m
Link 23	Station-014-SW-017	Station-015-SW-018	72 %	0.002 m
Link 26	Station-002-SW-005	Station-006-SW-009	30 %	0.005 m
Link 29	Station-008-SW-011	Station-011-SW-014	28 %	0.005 m
Link 30	Station-012-SW-015	Station-017-SW-020	44 %	0.003 m

Link 31	Station-012-SW-015	Station-016-SW-019	40 %	0.003 m
Link 33	Station-013-SW-016	Station-033-SW-036	40 %	0.004 m
Link 35	Station-013-SW-016	Station-017-SW-020	66 %	0.003 m
Link 36	Station-013-SW-016	Station-016-SW-019	57 %	0.003 m
Link 37	Station-043-SW-047	042FM3-SW-046	29 %	0.006 m
Link 38	Station-043-SW-047	Station-002-SW-005	55 %	0.004 m
Link 39	Station-003-SW-006	Station-043-SW-047	38 %	0.007 m
Link 40	Station-006-SW-009	Station-008-SW-011	61 %	0.003 m
Link 41	Station-035-SW-038	Station-034-SW-037	57 %	0.005 m
Link 42	Station-033-SW-036	Station-035-SW-038	26 %	0.004 m
Link 43	Station-035-SW-038	Station-036-SW-039	36 %	0.005 m
Link 44	Station-038-SW-043	Station-037-SW-040	42 %	0.004 m
Link 45	Station-041-SW-045	Station-038-SW-043	37 %	0.013 m

Link 46	Station-033-SW-036	Station-014-SW-017	59 %	0.003 m
Link 47	Station-017-SW-020	Station-014-SW-017	66 %	0.004 m
Link 49	Station-004-SW-007	Station-008-SW-011	40 %	0.006 m
Link 51	Station-003-SW-006	Station-008-SW-011	22 %	0.007 m
Link 53	Station-033-SW-036	Station-015-SW-018	60 %	0.004 m
Link 54	Station-012-SW-015	Station-033-SW-036	27 %	0.004 m

Rapport fra registrering av M6

Overall Quality

Error Results for Bundle 1

Setup Count: 37
 Link Count: 69
 Strength: 46 %
 Overlap: 48 %

Bundle Error 0.004 m ✓	
Overlap 48 % ✓	Strength 46 %
Cloud-to-Cloud	Target Error

0.004 m ✓	--
-----------	----

Max error of 0.015 m.

Max error of 0.020 m.

Error greater than 0.020 m.

Link Error Results

1 Overview

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 1	Station-003-SW-006	Station-004-SW-007	80 %	0.004 m
Link 5	Station-002-SW-005	Station-003-SW-006	64 %	0.004 m
Link 7	Station-008-SW-011	Station-009-SW-012	58 %	0.003 m
Link 8	Station-009-SW-012	Station-011-SW-014	65 %	0.003 m
Link 9	Station-013-SW-016	Station-014-SW-017	69 %	0.001 m
Link 10	Station-004-SW-007	Station-006-SW-009	62 %	0.003 m
Link 13	Station-003-SW-006	Station-006-SW-009	44 %	0.003 m
Link 19	Station-011-SW-014	Station-012-SW-015	27 %	0.004 m
Link 29	Station-006-SW-009	Station-009-SW-012	23 %	0.005 m
Link 33	Station-012-SW-015	Station-013-SW-016	51 %	0.002 m
Link 41	Station-012-SW-015	Station-014-SW-017	46 %	0.002 m
Link 59	Station-002-SW-005	Station-006-SW-009	30 %	0.005 m
Link 60	Station-008-SW-011	Station-011-SW-014	28 %	0.005 m
Link 68	042FM3-SW-046	Station-043-SW-047	18 %	0.006 m
Link 69	Station-043-SW-047	Station-002-SW-005	60 %	0.005 m
Link 70	Station-003-SW-006	Station-043-SW-047	43 %	0.007 m
Link 71	Station-015-SW-018	Station-016-SW-019	71 %	0.003 m
Link 73	Station-033-SW-036	Station-034-SW-037	38 %	0.007 m

Link 74	Station-016-SW-019	Station-017-SW-020	80 %	0.002 m
Link 75	Station-015-SW-018	Station-017-SW-020	74 %	0.003 m
Link 76	Station-015-SW-018	Station-014-SW-017	73 %	0.002 m
Link 77	Station-013-SW-016	Station-015-SW-018	79 %	0.002 m
Link 78	Station-012-SW-015	Station-015-SW-018	52 %	0.003 m
Link 79	Station-013-SW-016	Station-017-SW-020	69 %	0.003 m
Link 80	Station-014-SW-017	Station-016-SW-019	74 %	0.004 m
Link 81	Station-014-SW-017	Station-017-SW-020	65 %	0.004 m
Link 82	Station-013-SW-016	Station-016-SW-019	65 %	0.004 m
Link 83	Station-012-SW-015	Station-017-SW-020	46 %	0.004 m
Link 84	Station-012-SW-015	Station-016-SW-019	42 %	0.004 m
Link 85	Station-033-SW-036	Station-017-SW-020	72 %	0.004 m
Link 86	Station-016-SW-019	Station-033-SW-036	81 %	0.004 m
Link 89	Station-015-SW-018	Station-033-SW-036	59 %	0.004 m
Link 91	Station-014-SW-017	Station-033-SW-036	50 %	0.003 m
Link 92	Station-013-SW-016	Station-033-SW-036	41 %	0.004 m
Link 93	Station-034-SW-037	Station-035-SW-038	52 %	0.005 m
Link 94	Station-033-SW-036	Station-035-SW-038	27 %	0.004 m
Link 95	Station-036-SW-039	Station-035-SW-038	36 %	0.003 m
Link 96	Station-008-SW-011	Station-006-SW-009	61 %	0.003 m

Link 97	Station-036-SW-039	Station-037-SW-040	31 %	0.002 m
Link 98	Station-038-SW-043	Station-037-SW-040	42 %	0.004 m
Link 99	Station-041-SW-045	Station-038-SW-043	37 %	0.013 m
Link 100	Station-004-SW-007	Station-008-SW-011	52 %	0.006 m
Link 101	Station-003-SW-006	Station-008-SW-011	22 %	0.007 m
Link 102	Station-033-SW-036	Station-012-SW-015	26 %	0.004 m
Link 103	Station-017-SW-020	Station-018-SW-021	65 %	0.002 m
Link 104	Station-019-SW-022	Station-018-SW-021	29 %	0.002 m
Link 105	Station-020-SW-023	Station-019-SW-022	57 %	0.002 m
Link 106	Station-021-SW-024	Station-020-SW-023	30 %	0.003 m
Link 107	Station-022-SW-025	Station-021-SW-024	41 %	0.003 m
Link 108	Station-023-SW-026	Station-022-SW-025	28 %	0.004 m
Link 109	Station-024-SW-027	Station-023-SW-026	39 %	0.005 m
Link 110	Station-025-SW-028	Station-024-SW-027	32 %	0.004 m
Link 111	Station-020-SW-023	Station-023-SW-026	66 %	0.002 m
Link 112	Station-023-SW-026	Station-021-SW-024	30 %	0.006 m
Link 113	Station-020-SW-023	Station-022-SW-025	23 %	0.004 m
Link 114	Station-019-SW-022	Station-023-SW-026	45 %	0.002 m
Link 115	Station-036-SW-039	Station-025-SW-028	59 %	0.003 m
Link 116	Station-026-SW-029	Station-036-SW-039	62 %	0.002 m
Link 117	Station-027-SW-030	Station-026-SW-029	21 %	0.003 m
Link 118	Station-028-SW-031	Station-027-SW-030	34 %	0.004 m
Link 119	Station-029-SW-032	Station-028-SW-031	31 %	0.003 m
Link 120	Station-030-SW-033	Station-029-SW-032	46 %	0.004 m
Link 121	Station-031-SW-034	Station-030-SW-033	35 %	0.002 m
Link 122	Station-028-SW-031	Station-031-SW-034	67 %	0.002 m
Link 123	Station-029-SW-032	Station-031-SW-034	27 %	0.004 m
Link 124	Station-028-SW-031	Station-030-SW-033	27 %	0.004 m
Link 125	Station-032-SW-035	Station-031-SW-034	64 %	0.002 m
Link 126	Station-032-SW-035	Station-017-SW-020	52 %	0.001 m
Link 127	Station-032-SW-035	Station-028-SW-031	29 %	0.002 m

8.3.2 Avvikstabel for hver registrering

Avvikstabel for registrering M1

Constraints: Lås i FM3 og FM5													
Registrering M1		Lås i FM3 og FM5			Avvik fra referansekoordinater			2D-avvik			3D-avvik		
TargetID	Innmålt referansedata	TargetID	N	Ø	H	Avvik N	Avvik Ø	Avvik H	2D-avvik	3D-avvik			
Metode: Target-matching													
C1	152.985	C1	1311215.290	109975.681	152.992	0.003	-0.003	0.007	0.004	0.008		Inngang	
C2	152.904	C2	1311223.678	109978.950	152.912	0.003	-0.002	0.008	0.003	0.008			
C3	151.669	C3	1311225.028	109975.667	151.676	0.003	-0.002	0.007	0.004	0.008			
C5	155.436	C5	1311200.392	109931.958	155.442	0.000	-0.002	0.005	0.002	0.006		Svømmehallen	
C6	155.862	C6	1311193.305	109942.255	155.867	0.002	-0.002	0.005	0.002	0.005			
C7	153.650	C7	1311179.467	109945.928	153.655	0.001	-0.003	0.005	0.003	0.006			
C8	155.794	C8	1311155.013	109946.575	155.800	0.001	-0.002	0.005	0.003	0.006			
C9	153.650	C9	1311174.266	109934.563	153.656	0.002	0.000	0.005	0.002	0.006			
C10	155.946	C10	1311181.596	109927.399	155.951	0.002	0.000	0.005	0.002	0.005			
C11	155.276	C11	1311148.936	109978.099	155.280	0.001	-0.002	0.004	0.002	0.004		Utgang	
C12	155.455	C12	1311145.576	109980.289	155.458	0.001	-0.001	0.003	0.002	0.004			
FM3	150.734	Vekt = 1 FM3	1311179.808	110072.381	150.733	0.000	0.000	-0.001	0.001	0.001			
FM5	152.904	Vekt = 1 FM5	1311127.527	110023.100	152.905	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001			
			Gjennomsnitt			0.001	-0.001	0.005	0.002	0.005			
			RMS			0.002	0.002	0.005	0.003	0.006			
Constraints: Lås i FM3 - FM5 fri													
Registrering M1		Lås i FM3 - FM5 fristilt			Avvik fra referansekoordinater			2D-avvik			3D-avvik		
TargetID	N	Ø	H	Avvik N	Avvik Ø	Avvik H	2D-avvik	3D-avvik					
C1	1311215.291	109975.682	152.994	0.004	-0.002	0.008	0.004	0.009			Inngang		
C2	1311223.679	109978.951	152.913	0.004	-0.001	0.009	0.004	0.010					
C3	1311225.029	109975.668	151.678	0.004	-0.001	0.009	0.004	0.010					
C5	1311200.392	109931.959	155.443	0.000	-0.002	0.007	0.002	0.007			Svømmehallen		
C6	1311193.306	109942.256	155.868	0.003	-0.001	0.006	0.003	0.007					
C7	1311179.468	109945.929	153.657	0.002	-0.002	0.007	0.002	0.007					
C8	1311155.015	109946.574	155.801	0.002	-0.001	0.007	0.002	0.003					
C9	1311174.267	109934.564	153.657	0.003	0.001	0.007	0.003	0.008					
C10	1311181.597	109927.400	155.953	0.003	0.001	0.006	0.003	0.007					
C11	1311148.937	109978.100	155.281	0.002	-0.001	0.005	0.002	0.005			Utgang		
C12	1311145.577	109980.290	155.460	0.002	0.000	0.005	0.002	0.005					
FM3	1311179.808	110072.381	150.734	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000					
FM5fri	1311127.529	110023.102	152.907	0.002	0.002	0.003	0.002	0.004					
			Gjennomsnitt			0.002	0.000	0.006	0.003	0.007			
			RMS			0.003	0.001	0.007	0.003	0.007			

Avvikstabell for registrering M2

Constraints: Lås i FM3 og FM5														
TargetID	Innmålt referansedata	N	Ø	H	Lås i FM3 og FM5					Avvik fra referansekoordinater				
					TargetID	N	Ø	H	Awik N	Awik Ø	Awik H	2D-awik	3D-awik	
Metode: Cloud-to-cloud														
C1	1311215.287	109975.684	152.985	1311215.286	109975.672	152.987	-0.001	-0.012	0.002	0.012	0.012	0.012	Inngang	
C2	1311223.675	109978.952	152.904	1311223.674	109978.941	152.907	-0.002	-0.011	0.003	0.011	0.011	0.011		
C3	1311225.025	109975.669	151.669	1311225.025	109975.658	151.672	0.000	-0.011	0.002	0.011	0.011	0.011		
C5	1311200.392	109931.960	155.436	1311200.388	109931.951	155.439	-0.004	-0.009	0.003	0.010	0.010	0.011		Svømmehallen
C6	1311193.303	109942.257	155.862	1311193.303	109942.249	155.864	0.000	-0.008	0.002	0.008	0.008	0.009		
C7	1311179.466	109945.931	153.650	1311179.466	109945.925	153.653	-0.001	-0.007	0.003	0.007	0.007	0.007		Utgang
C8	1311155.013	109946.575	155.794	1311155.013	109946.572	155.798	0.000	-0.003	0.004	0.003	0.003	0.005		
C9	1311174.264	109934.563	153.650	1311174.263	109934.560	153.654	-0.001	-0.003	0.004	0.003	0.003	0.005		Utgang
C10	1311181.594	109927.399	155.946	1311181.592	109927.395	155.949	-0.002	-0.005	0.003	0.005	0.005	0.006		
C11	1311148.935	109978.101	155.276	1311148.937	109978.100	155.278	0.002	-0.001	0.001	0.002	0.002	0.003		Utgang
C12	1311145.575	109980.290	155.455	1311145.577	109980.290	155.456	0.002	0.000	0.001	0.002	0.002	0.004		
FM3	1311179.808	110072.381	150.734	1311179.805	110072.378	150.733	-0.003	-0.003	-0.001	0.004	0.004	0.004		
FM5	1311127.527	110023.100	152.904	1311127.530	110023.103	152.905	0.003	0.003	0.001	0.004	0.004	0.004		
				Gjennomsnitt			-0.001	-0.005	0.002	0.006	0.007	0.008		
				RMS			0.002	0.007	0.003	0.006	0.007	0.008		
Constraints: Lås i FM3 - FM5 fri														
TargetID	Innmålt referansedata	N	Ø	H	Lås i FM3 - FM5 fristilt					Avvik fra referansekoordinater				
					TargetID	N	Ø	H	Awik N	Awik Ø	Awik H	2D-awik	3D-awik	
Metode: Cloud-to-cloud														
C1	1311215.287	109975.684	152.985	1311215.290	109975.677	152.989	0.003	-0.007	0.004	0.008	0.008	0.009	Inngang	
C2	1311223.675	109978.952	152.904	1311223.678	109978.946	152.909	0.003	-0.006	0.005	0.006	0.006	0.008		
C3	1311225.025	109975.669	151.669	1311225.029	109975.663	151.674	0.004	-0.006	0.004	0.007	0.007	0.008		
C5	1311200.392	109931.960	155.436	1311200.392	109931.956	155.441	-0.001	-0.004	0.005	0.004	0.004	0.007		Svømmehallen
C6	1311193.303	109942.257	155.862	1311193.307	109942.254	155.866	0.004	-0.003	0.004	0.005	0.005	0.007		
C7	1311179.466	109945.931	153.650	1311179.470	109945.930	153.655	0.003	-0.001	0.005	0.004	0.004	0.006		Utgang
C8	1311155.013	109946.575	155.794	1311155.017	109946.578	155.800	0.004	0.003	0.005	0.005	0.005	0.007		
C9	1311174.264	109934.563	153.650	1311174.267	109934.566	153.656	0.003	0.003	0.006	0.004	0.004	0.007		Utgang
C10	1311181.594	109927.399	155.946	1311181.595	109927.400	155.951	0.001	0.001	0.005	0.002	0.002	0.005		
C11	1311148.935	109978.101	155.276	1311148.942	109978.106	155.280	0.006	0.005	0.004	0.008	0.008	0.009		Utgang
C12	1311145.575	109980.290	155.455	1311145.582	109980.296	155.458	0.007	0.006	0.003	0.009	0.009	0.009		
FM3	1311179.808	110072.381	150.734	1311179.808	110072.381	150.734	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
FM5fri	1311127.538	110023.112	152.908	1311127.538	110023.112	152.908	0.011	0.012	0.004	0.016	0.016	0.017		
				Gjennomsnitt			0.004	0.000	0.004	0.006	0.006	0.008		
				RMS			0.005	0.005	0.004	0.006	0.007	0.008		

Avvikstabell for registrering M3

Constraints: Lås i FM3 og FM5												
Registrering M3												
Lås i FM3 og FM5												
TargetID	N	Ø	H	Avvik N	Avvik Ø	Avvik H	2D-avvik	3D-avvik				
C1	1311215.287	109975.684	152.985	152.988	0.000	-0.010	0.003	0.010	0.010			
C2	1311223.675	109978.943	152.904	152.907	0.000	-0.009	0.003	0.009	0.009			
C3	1311225.025	109975.669	151.669	151.672	0.001	-0.009	0.003	0.009	0.009			
C5	1311200.392	109931.960	155.436	155.439	-0.003	-0.008	0.003	0.008	0.008			
C6	1311193.303	109942.257	155.862	155.864	0.001	-0.006	0.002	0.006	0.006			
C7	1311179.466	109945.931	153.650	153.653	0.001	-0.005	0.003	0.005	0.005			
C8	1311155.013	109946.575	155.794	155.798	0.001	-0.001	0.004	0.002	0.002			
C9	1311174.264	109934.563	153.650	153.654	0.000	-0.001	0.004	0.001	0.001			
C10	1311181.594	109927.399	155.946	155.949	-0.001	-0.003	0.003	0.003	0.003			
C11	1311148.935	109978.101	155.276	155.278	0.004	0.001	0.002	0.004	0.004			
C12	1311145.575	109980.290	155.455	155.456	0.004	0.002	0.001	0.004	0.004			
FM3	1311179.808	110072.381	150.734	150.733	-0.002	-0.002	-0.001	0.003	0.003			
FM5	1311127.527	110023.100	152.904	152.905	0.002	0.002	0.001	0.003	0.003			
				Gjennomsnitt								
				RMS								
Constraints: Lås i FM3 - FM5 fri												
Registrering M3												
Lås i FM3 - FM5 fristilt												
TargetID	N	Ø	H	Avvik N	Avvik Ø	Avvik H	2D-avvik	3D-avvik				
C1	1311215.291	109975.678	152.989	152.989	0.004	-0.006	0.004	0.007	0.008			
C2	1311223.679	109978.947	152.909	152.909	0.004	-0.005	0.005	0.006	0.008			
C3	1311225.030	109975.664	151.673	151.673	0.005	-0.005	0.004	0.007	0.008			
C5	1311200.393	109931.957	155.441	155.441	0.001	-0.003	0.005	0.004	0.006			
C6	1311193.308	109942.255	155.866	155.866	0.005	-0.002	0.004	0.005	0.006			
C7	1311179.471	109945.931	153.655	153.655	0.005	0.000	0.005	0.005	0.007			
C8	1311155.018	109946.578	155.799	155.799	0.005	0.003	0.005	0.006	0.008			
C9	1311174.268	109934.566	153.655	153.655	0.004	0.003	0.005	0.005	0.007			
C10	1311181.597	109927.401	155.950	155.950	0.003	0.001	0.004	0.003	0.005			
C11	1311148.943	109978.107	155.279	155.279	0.008	0.006	0.003	0.010	0.010			
C12	1311145.583	109980.296	155.458	155.458	0.008	0.006	0.003	0.010	0.011			
FM3	1311179.808	110072.381	150.734	150.734	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
FM5fri	1311127.536	110023.109	152.907	152.907	0.009	0.009	0.003	0.012	0.013			
				Gjennomsnitt								
				RMS								

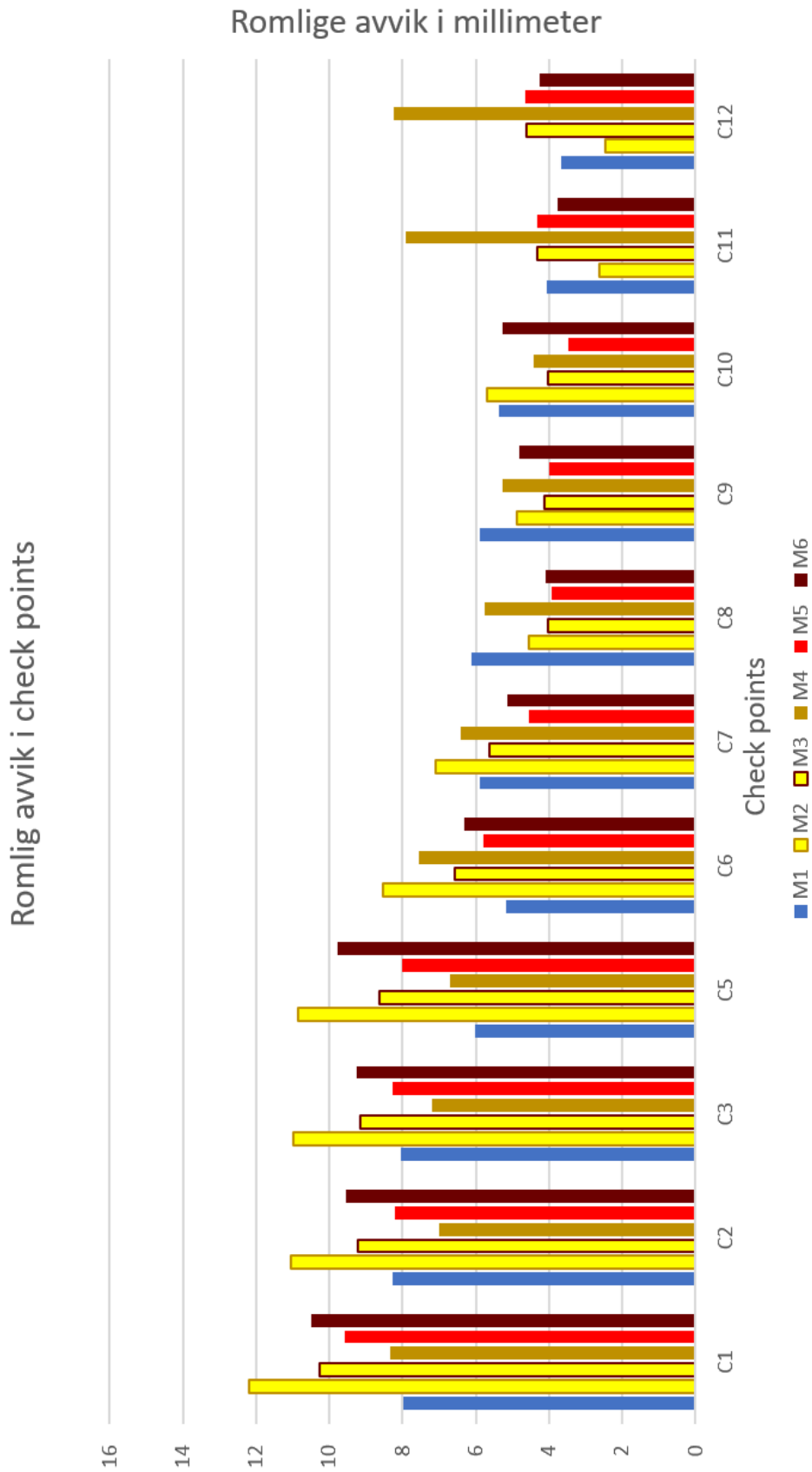
Avvikstabell for registrering M4

Constraints: Lås i FM3 og FM5												
			Lås i FM3 og FM5				Avvik fra referansekoordinater					
TargetID	Innmålt referansedata	TargetID	N	Ø	H	Avvik N	Avvik Ø	Avvik H	2D-avvik	3D-avvik		
Registrering M4												
Metode: Cloud-to-cloud												
C1	1311215.287	109975.684	152.985	1311215.290	109975.676	152.986	0.003	-0.008	0.001	0.008	0.008	
C2	1311223.675	109978.952	152.904	1311223.677	109978.946	152.906	0.002	-0.006	0.002	0.007	0.007	Inngang
C3	1311225.025	109975.669	151.669	1311225.028	109975.663	151.670	0.003	-0.006	0.001	0.007	0.007	
C5	1311200.392	109931.960	155.436	1311200.394	109931.954	155.438	0.002	-0.006	0.002	0.006	0.007	Svømmehallen
C6	1311193.303	109942.257	155.862	1311193.308	109942.252	155.863	0.005	-0.005	0.001	0.007	0.008	
C7	1311179.466	109945.931	153.650	1311179.471	109945.927	153.652	0.005	-0.004	0.002	0.006	0.006	
C8	1311155.013	109946.575	155.794	1311155.018	109946.574	155.797	0.005	-0.001	0.002	0.005	0.006	
C9	1311174.264	109934.563	153.650	1311174.269	109934.562	153.653	0.005	-0.001	0.003	0.005	0.005	
C10	1311181.594	109927.399	155.946	1311181.598	109927.397	155.948	0.004	-0.002	0.002	0.004	0.004	
C11	1311148.935	109978.101	155.276	1311148.943	109978.103	155.277	0.008	0.002	0.001	0.008	0.008	Utgang
C12	1311145.575	109980.290	155.455	1311145.583	109980.292	155.455	0.008	0.002	0.000	0.008	0.008	
FM3	1311179.808	110072.381	150.734	1311179.806	110072.379	150.733	-0.002	-0.002	-0.001	0.003	0.003	
FM5	1311127.527	110023.100	152.904	1311127.529	110023.102	152.905	0.002	0.002	0.001	0.003	0.003	
			Gjennomsnitt				0.004	-0.003	0.001	0.006	0.006	
			RMS				0.005	0.004	0.002	0.006	0.006	
Constraints: Lås i FM3 - FM5 fri												
Registrering M4												
Metode: Cloud-to-cloud												
C1	1311215.287	109975.684	152.985	1311215.295	109975.681	152.987	0.008	-0.003	0.002	0.009	0.009	
C2	1311223.683	109978.950	152.907	1311223.683	109978.950	152.907	0.008	-0.002	0.003	0.008	0.008	Inngang
C3	1311225.034	109975.668	151.671	1311225.034	109975.668	151.671	0.009	-0.001	0.002	0.009	0.009	
C5	1311200.399	109931.959	155.439	1311200.399	109931.959	155.439	0.007	-0.001	0.003	0.007	0.008	Svømmehallen
C6	1311193.314	109942.257	155.864	1311193.314	109942.257	155.864	0.011	0.000	0.002	0.011	0.011	
C7	1311179.476	109945.932	153.653	1311179.476	109945.932	153.653	0.010	0.001	0.003	0.010	0.010	
C8	1311155.024	109946.578	155.798	1311155.024	109946.578	155.798	0.010	0.003	0.004	0.011	0.011	
C9	1311174.274	109934.567	153.654	1311174.274	109934.567	153.654	0.010	0.004	0.004	0.011	0.011	
C10	1311181.603	109927.402	155.949	1311181.603	109927.402	155.949	0.009	0.003	0.003	0.009	0.010	
C11	1311148.948	109978.107	155.278	1311148.948	109978.107	155.278	0.013	0.006	0.002	0.014	0.015	Utgang
C12	1311145.588	109980.297	155.456	1311145.588	109980.297	155.456	0.013	0.007	0.001	0.015	0.015	
FM3	1311179.808	110072.381	150.734	1311179.808	110072.381	150.734	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
FM5fri	1311127.537	110023.109	152.906	1311127.537	110023.109	152.906	0.010	0.009	0.002	0.013	0.014	
			Gjennomsnitt				0.009	0.002	0.002	0.010	0.010	
			RMS				0.010	0.004	0.003	0.010	0.011	

Avvikstabell for registrering M6

Constraints: Lås i FM3 og FM5												
Lås i FM3 og FM5												
Registrering 6			Avvik fra referansekoordinater									
TargetID	N	Ø	H	Avvik N	Avvik Ø	Avvik H	2D-avvik	3D-avvik				
Metode: Cloud-to-cloud												
Mange koblinger												
C1	1311215.287	109975.684	152.985	1311215.285	109975.674	152.988	-0.002	-0.010	0.003	0.010	0.010	Inngang
C2	1311223.675	109978.952	152.904	1311223.673	109978.943	152.907	-0.002	-0.009	0.003	0.009	0.010	
C3	1311225.025	109975.669	151.669	1311225.024	109975.660	151.672	-0.001	-0.009	0.003	0.009	0.009	
C5	1311200.392	109931.960	155.436	1311200.386	109931.953	155.440	-0.006	-0.007	0.004	0.009	0.010	Svømmehallen
C6	1311193.303	109942.257	155.862	1311193.302	109942.252	155.865	-0.001	-0.005	0.003	0.006	0.006	
C7	1311179.466	109945.931	153.650	1311179.464	109945.927	153.653	-0.002	-0.004	0.003	0.004	0.005	
C8	1311155.013	109946.575	155.794	1311155.012	109946.575	155.798	-0.002	0.000	0.004	0.002	0.004	
C9	1311174.264	109934.563	153.650	1311174.261	109934.563	153.654	-0.003	0.000	0.004	0.003	0.005	
C10	1311181.594	109927.399	155.946	1311181.590	109927.397	155.949	-0.004	-0.002	0.003	0.004	0.005	
C11	1311148.935	109978.101	155.276	1311148.936	109978.104	155.278	0.001	0.003	0.002	0.003	0.004	Utgang
C12	1311145.575	109980.290	155.455	1311145.577	109980.294	155.456	0.002	0.004	0.001	0.004	0.004	
FM3	1311179.808	110072.381	150.734	1311179.805	110072.378	150.733	-0.003	-0.003	-0.001	0.004	0.004	
FM5	1311127.527	110023.100	152.904	1311127.530	110023.103	152.905	0.003	0.003	0.001	0.004	0.004	
				Gjennomsnitt								
				RMS								
Constraints: Lås i FM3 - FM5 fri												
Lås i FM3 - FM5 fristilt												
Registrering M6												
TargetID	N	Ø	H	Avvik N	Avvik Ø	Avvik H	2D-avvik	3D-avvik				
Metode: Cloud-to-cloud												
Mange koblinger												
C1	1311215.292	109975.680	152.989	1311215.292	109975.680	152.989	0.005	-0.004	0.004	0.007	0.008	Inngang
C2	1311223.680	109978.949	152.908	1311223.680	109978.949	152.908	0.005	-0.003	0.004	0.005	0.007	
C3	1311225.031	109975.666	151.673	1311225.031	109975.666	151.673	0.006	-0.003	0.004	0.006	0.007	
C5	1311200.393	109931.959	155.441	1311200.393	109931.959	155.441	0.001	-0.001	0.005	0.002	0.005	Svømmehallen
C6	1311193.309	109942.257	155.866	1311193.309	109942.257	155.866	0.006	0.000	0.004	0.006	0.007	
C7	1311179.471	109945.933	153.654	1311179.471	109945.933	153.654	0.005	0.002	0.004	0.006	0.007	
C8	1311155.019	109946.581	155.799	1311155.019	109946.581	155.799	0.006	0.006	0.005	0.008	0.009	
C9	1311174.269	109934.568	153.655	1311174.269	109934.568	153.655	0.005	0.005	0.005	0.007	0.009	
C10	1311181.597	109927.403	155.950	1311181.597	109927.403	155.950	0.003	0.004	0.004	0.005	0.006	
C11	1311148.943	109978.109	155.278	1311148.943	109978.109	155.278	0.008	0.008	0.002	0.011	0.012	Utgang
C12	1311145.583	109980.299	155.458	1311145.583	109980.299	155.458	0.008	0.009	0.002	0.012	0.012	
FM3	1311179.808	110072.381	150.734	1311179.808	110072.381	150.734	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
FM5fri	1311127.538	110023.111	152.906	1311127.538	110023.111	152.906	0.011	0.011	0.002	0.015	0.016	
				Gjennomsnitt								
				RMS								

8.3.3 Registreringenes romlige avvik i check points - graf



Romlig avvik i check points og fristilt FM5

