

Gaute Haustveit Johansson  
Lars Møllerhagen  
Sondre Laskemoen Bjerkgården

# Analyse av ulike arbeidsmetoder ved innendørs laserskanning, med hensyn til nøyaktighet knyttet opp mot tids- og kostnadsbesparelse

Bacheloroppgave i Geomatikk  
Veileder: Andras Ladai  
Mai 2020



Gaute Haustveit Johansson  
Lars Møllerhagen  
Sondre Laskemoen Bjerkgården

# **Analyse av ulike arbeidsmetoder ved innendørs laserskanning, med hensyn til nøyaktighet knyttet opp mot tids- og kostnadsbesparelse**

Bacheloroppgave i Geomatikk  
Veileder: Andras Ladai  
Mai 2020

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



Kunnskap for en bedre verden





Kunnskap for en bedre verden

Analyse av ulike arbeidsmetoder ved innendørs  
laserskanning,  
med hensyn til nøyaktighet knyttet opp mot tids-  
og kostnadsbesparelse

Gaute Haustveit Johansson, Lars Møllerhagen og Sondre  
Laskemoen Bjerkgården

Gradering: Åpen

Bachelor i Geomatikk  
Innlevert: Mai 2020  
Veileder: Andras Ladai

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk

Oppgavens tittel: Analyse av ulike arbeidsmetoder ved innendørs laserskanning, med hensyn til nøyaktighet knyttet opp mot tids- og kostnadsbesparelse	Dato: 19.05.20		
	Antall sider: 65		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	X
Navn: Gaute Haustveit Johansson, Lars Møllerhagen, Sondre Laskemoen Bjerkgården			
Veileder: Andras Ladai			
Oppdragsgiver: NTNU i Gjøvik			

### Sammendrag:

Laserskanning er en effektiv metode for innsamling av informasjon om objekter. Metoden gjør det mulig å opprette digitale 3D-modeller av eksisterende bygg.

Denne oppgaven tar for seg innendørs laserskanning, og ser på ulike metoder for innhenting av data og påfølgende prosessering av disse. På bakgrunn av dette vil gruppen se hvordan ulike metoder skiller seg fra hverandre, med hensyn til nøyaktighet, tidsforbruk og kostnad. Hovedmålet var å finne ut hvilken metode som er den mest effektive uten at det går ut over kvaliteten.

Det ble først gjennomført et polygondrag for å opprette fastmerker som referanse til analysen av modellene. Referansen vil bli sammenlignet med de andre modellene for å kvalitetssikre metodene. Senere ble interesseområdet laserskannet for å samle inn data. Innsamlingen dannet grunnlaget for å prosessere punktskyer med forskjellig strategi for sammensetning og georeferering. Ved hjelp av programvarene Leica Cyclone Register 360 og Leica Cyclone prosesseres fem ulike modeller. Etter prosessering av hver modell blir koordinatene i targetene sammenlignet opp mot referansemodellen. Ved å se på differansen vil man se hvor stort avvik de enkelte modellene har fra referansen og mellom hverandre.

Resultatet viser at det er liten forskjell i nøyaktighet ved bruk av de ulike arbeidsmetodene, dermed vil tidsbruken avgjøre hvilken modell som er mest hensiktsmessig å benytte seg av.

Det vil være tids- og kostnadsbesparende å velge et oppsett med bruk av cloud to cloud med fastmerker i start- og endepunktene, kontra et oppsett med georefererte targets plassert gjennom hele interesseområdet. Dette sparer tid både under selve skanningen med tanke på tid forbundet til subskanning. Forarbeidet med polygondrag vil også kunne gjøres raskere og enklere, og den totale tidsbesparelsen ved å velge en slik modell er markant.

### Stikkord:

Laserskanning
Punktsky
Georeferering
Subskann

# Abstract

This paper examines different workflows for indoor laser scanning regarding accuracy versus time- and cost effectiveness. The main goal is to find out which method is the most efficient without compromising quality. Laser scanning is an effective method to collect and store information about objects. For example, it can be used for asbuilt, building information modelling (BIM) and geometric controls. To investigate this problem, different models are generated with different laser scanning processing methods. Based on the results regarding accuracy and time usage, the group will conclude which workflow is the best suited for indoor laser scanning done with a Leica P40 ScanStation.

Several methods have been tested to investigate the problem raised by this thesis. By logging the time usage during the laser scanning performed in a single run, the group was able to calculate the time related to several types of workflows.

To establish a reference model, control points were measured by traversing through the area of interest. Throughout the investigation, the control point coordinates were used as tools for quality control.

This investigation focused on testing the impact of different georeferencing methods: georeferencing based on targets, on cloud to cloud registration, and finally, on visual registration. Models were created using combinations of these methods. These models were compared against the reference model and each other using common points. The dx, dy og dz coordinate differences at these common points represent the deviations between the models. A very important result of our investigations is that no major deviations were detected between the reference model and the other models in accuracy.

Therefore, the time usage is the decisive factor for which method is most suitable in relation to cost. The time analysis establishes the cloud to cloud method as the quickest way of collecting data, since this can be done without doing subscanning in the fieldwork.

# Forord

Det treårige studieløpet i Geomatikk ved NTNU i Gjøvik nærmer seg slutten og avsluttes med en bacheloroppgave. Tiden her har vært meget lærerik og gjort oss trygge i forhold til fremtidige arbeidsutfordringer. Oppgaven er skrevet av Gaute Haustveit Johansson, Lars Møllerhagen og Sondre Bjerkgården for NTNU i Gjøvik.

Høsten 2019 bestemte vi oss for å samarbeide på et avsluttende prosjekt og kom i kontakt med Andras Ladai ved NTNU i Gjøvik som ble vår veileder. Oppgaven ble tidlig vinklet inn mot laserskanning og etter et par møter kom vi frem til endelig problemstilling. Dette lot oss kombinere kunnskapen fra tradisjonell landmåling med ny kunnskap innenfor kvalitet på laserskanning.

Samarbeidet med NTNU har vært problemfritt. Alt av tilgjengelig utstyr og lisenser har vært til rådighet helt til universitet ble stengt ned. Situasjonen som oppsto av koronatiltakene ble godt løst, og har ikke gitt noen problemer for gjennomføringen av oppgaven. Enkelte tilpasninger ble gjort, slik som digitale møter og veiledning.

Vi vil også rette en takk til Morten Eggum som ga oss en detaljert innføring i bruk av både skanner og programvare. I tillegg har han vært tilgjengelig for spørsmål rettet mot den praktiske delen, dersom vi har hatt dette.

Andras Ladai har vært en god støttespiller for oss gjennom hele oppgaveskrivingen med sine erfaringer innenfor laserskanning. Han har alltid vært tilgjengelig og rettleidet underveis, utfordret oss faglig og stilt kritiske spørsmål. Dette har gjort at vi har tenkt på løsninger og tilnærminger vi kanskje ellers ikke ville funnet.



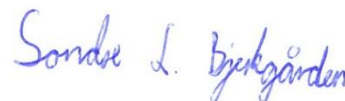
---

Gaute Haustveit Johansson



---

Lars Møllerhagen



---

Sondre L. Bjerkgården



# Innholdsfortegnelse

Abstract .....	iii
Forord .....	iv
Innholdsfortegnelse .....	v
Figurliste.....	vii
Tabelliste .....	viii
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Valg av lokasjon .....	1
1.3 Problemstilling.....	2
2 Teoretisk grunnlag.....	3
2.1 Terrestrisk laserskanning .....	3
2.1.1 Bruk av laserskanning i praksis.....	4
2.2 Georeferering .....	4
2.2.1 Cloud to cloud .....	4
2.2.2 Registrering med target .....	5
2.3 Polygondrag.....	5
2.4 Koordinatsystem.....	6
2.5 Feilkilder.....	7
3 Metode.....	8
3.1 Utstyr .....	9
3.2 Forarbeid.....	10
3.3 Praktisk del .....	13
3.3.1 Etablering av fastmerker .....	13
3.3.2 Polygondrag og innmåling av targets.....	15
3.3.3 Behandling av innmålte data i Gemini oppmåling.....	16
3.3.4 Laserskanning.....	17
3.3.5 Beregning av tidsbruk .....	19
3.3.6 Generering av modeller.....	20
3.3.7 Programvare .....	22
4 Resultater.....	24

4.1	Polygondragskoordinater .....	24
4.2	Modell #1 Referansemodell targets .....	25
4.3	Modell #2 Visual registration .....	26
4.4	Modell #3 CtC (Register 360) med S2 og S9 .....	27
4.5	Modell #4 CtC med transformert S9 .....	28
4.6	Modell #5 og modell #3 fellespunkter .....	29
4.7	Tidsbruk .....	30
4.7.1	Planlegging og oppsett .....	30
4.7.2	Skanning .....	31
5	Analyse .....	32
5.1	Analyse modell #2 Visual registration .....	33
5.2	Analyse modell #3 CtC (Register 360) .....	34
5.3	Analyse modell #4 CtC med transformert S9 .....	35
5.4	Analyse modell #2 – modell #3 .....	37
5.5	Analyse modell #4 – modell #3 .....	38
5.6	Analyse modell #5 mot modell #3 .....	40
5.7	Analyse tidsbruk .....	42
6	Diskusjon .....	46
6.1	Grunnlag .....	46
6.2	Targets .....	48
6.3	Skanning .....	48
6.4	Prosessering av modeller .....	49
6.5	Nøyaktighet .....	51
6.5.1	Feilkilder i prosjektet .....	51
7	Konklusjon .....	53
8	Veien videre .....	54
9	Litteraturliste .....	55
10	Vedlegg .....	57

# Figurliste

Figur 1: Arbeidsflyt for laserskanning .....	9
Figur 2: Skisse for planlegging og gjennomføring av skanning .....	12
Figur 3: Oversikt over stasjoner for laserskanning .....	13
Figur 4: Hjelpegeometri for å nybestemme koordinatene i FM3 .....	14
Figur 5: Sikt mellom FM1 og FM3 .....	15
Figur 6: Treffpunkt laser ved dårlig vinkel fra test .....	16
Figur 7: Oversikt over polygondraget .....	17
Figur 8: Sammenligning av normal og høy sensitivitet (Leica Geosystems, 2015) .....	18
Figur 9: Targetplasseringer .....	19
Figur 10: Skannposisjoner og lenker.....	21
Figur 11: Visuell presentasjon av data fra forskjellige skannstasjoner i modell #5.....	36
Figur 12: Snitt av gulvet mellom stasjon S6 og S7 .....	39
Figur 13: Oversikt over fellespunktene med ID.....	40
Figur 14. Sammenligning høy sensitivitet mot subskanning .....	43
Figur 15. Sammenligning normal sensitivitet mot subskanning .....	44
Figur 16: Skisse for planlegging av grunnlagsnett.....	46
Figur 17: Grunnlagsnett plan B .....	47
Figur 18: Utklipp av estimert skanntid (Leica Geosystems, 2015).....	49
Figur 19: Eksempel på fellespunkt, her med nødutgang hoveddør (ID 5).....	50

# Tabelliste

Tabell 1: Bransjekrav .....	8
Tabell 2: Datablad og utstyrliste MS60 (Leica Geosystems, 2020) .....	9
Tabell 3: Datablad og utstyrliste P40 (Leica Geosystems, 2016).....	10
Tabell 4: Datablad og utstyrliste GS16 (Leica Geosystems, 2016).....	10
Tabell 5: Datablad og utstyrliste Leica Sprinter 100 (Leica Geosystems, 2004) .....	10
Tabell 6: Lengde skannområde .....	13
Tabell 7: Polygondragskoordinater .....	24
Tabell 8: Resultater modell #1 .....	25
Tabell 9: Resultater modell #2 Visual registration.....	26
Tabell 10: Resultater modell #3 cloud to cloud .....	27
Tabell 11: Resultater modell #4 cloud to cloud med transformert S9 .....	28
Tabell 12: Resultater for fellespunkter mellom modell #5 og #3 .....	29
Tabell 13: Tid i minutter ved oppsett av stasjoner ved tvangssentrering.....	30
Tabell 14: Skanntid .....	31
Tabell 15: Subskanntid.....	31
Tabell 16: Modellhensikt .....	32
Tabell 17: Analyse modell #2 .....	33
Tabell 18: Analyse modell #3 .....	34
Tabell 19: Analyse modell #4 .....	35
Tabell 20: Analyse modell #2 mot modell #3 .....	37
Tabell 21: Analyse modell #4 mot modell #3 .....	38
Tabell 22: Avvik mellom fellespunktene .....	41
Tabell 23: Tid i minutter ved oppsett av stativer innendørs.....	42
Tabell 24: Tid i minutter ved oppsett av stativer utendørs og total tidsbruk til høyre .....	42
Tabell 25: Tid i minutter med bruk av targets.....	42
Tabell 26: Tid i minutter uten bruk av targets.....	43
Tabell 27: Bransjekrav .....	53

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Dagens teknologi utvikler seg fort, dette gjelder også for landmålingsutstyr og programvare. De siste årene har laserskanning blitt en stadig mer anvendt metode for å kontrollere ferdigstilte konstruksjoner og bygg, både innvendig og utvendig. Det benyttes også for å hente inn informasjon om allerede eksisterende bygg, ved f.eks. utbedringer, tilbygg og BIM. Når man skanner et bygg fra flere posisjoner vil man ha et behov for å kunne sette sammen disse punktskyene, og deretter georeferere dem. Dette kan by på noen ekstra utfordringer når det gjøres innendørs. I denne oppgaven er det satt forskjellige metoder for denne sammensetningen opp mot hverandre, for å se hva slags nøyaktighet man kan oppnå. Det er i dagens samfunn et økt fokus på kostnadseffektivisering, og gruppa hadde derfor et ønske om å se på hvordan tidsbruken koblet til de ulike metodene var. Det er i dag kommet nye håndholdte laserskannere som gjør det mulig å innhente data raskere, men som oftest må man likevel benytte seg av en stasjonær skanner for å oppnå god nok kvalitet i bygg og konstruksjonsbransjen. Gruppen har i denne oppgaven benyttet seg av en stasjonær Leica P40 skanner. På bakgrunn av disse resultatene vil man å si noe om hva slags metode(r) som er best egnet når man slår sammen tid/kostnad og nøyaktighetsfaktoren.

## 1.2 Valg av lokasjon

Den praktiske delen av oppgaven er blitt utført i første etasje i Smaragdbygget ved NTNU Gjøvik. Dette ble valgt som lokasjon fordi første etasje består av svært forskjellige romtyper, kafeen har store glassflater og mange detaljer i form av bord, stoler og søyler mens det også er korridorer som er trangere med glatte vegger og få detaljer. Verkstedhallen skiller seg ut ved at det er åpne rom med stor takhøyde og mange detaljer. Det at man kunne benytte en lokasjon på campus var også praktisk, da dette ikke fører til noen ekstra kostnader i gruppens budsjett. Alt av utstyr som trengs vil være lett tilgjengelig, og gruppen har tilgang på bygget

hele tiden. Dersom man i ettertid hadde sett at noe måtte gjøres om igjen ville dette da lett kunne la seg gjøre, i alle fall frem til universitet ble «koronastengt».

## 1.3 **Problemstilling**

Problemstillingen er todelt. Der hovedvekten er lagt til georeferering av punktskyen og kvalitetskontroll av denne. Den andre delen ser på tidsbruken ved de ulike arbeidsmetodene knyttet til innhenting av data og etterprosessering. Økt tidsbruk vil føre til økte kostnader, noe som gjør at disse ofte er knyttet opp mot hverandre.

Gruppen endte derfor opp med følgende problemstilling:

*Analyse av ulike arbeidsmetoder ved innendørs laserskanning, med hensyn til nøyaktighet knyttet opp mot tids- og kostnadsbesparelse*

## 2 Teoretisk grunnlag

### 2.1 Terrestrisk laserskanning

Laser står for Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. (Lemmens, 2011) Konseptet laserskanning dreier seg om bruk av lys for å bestemme avstanden til et objekt. Metoden benyttes til å kartlegge jorden eller menneskeskapte objekter som for eksempel en bygning. Laserskanning kan deles inn i terrestrisk (bakkebasert) og flybåren. Det som er felles med disse to metodene er at instrumentet er avhengig av å være orientert og lokalisert. Ved å vite posisjonen til instrumentet kan man kombinere denne med punktmålingene fra laseren. Dette gjør at alle punkter er georeferert, som medfører et sluttprodukt med en georeferert punktsky. (Lemmens, 2011)

Innenfor laserskanning er det to ulike teknologier for å registrere punkter. Disse er fase- og pulsmålinger. Fasebaserte målinger tar utgangspunkt i faseforskjellene mellom bølgelengder, ut ifra disse forskjellene kan tidsforsinkelsen beregnes og fortelle om avstanden til objektet. Denne metoden har samlet sett høyere nøyaktighet sammenlignet med pulsbaserte målinger. Pulsmålinger derimot måler punkt ved at det sendes ut en laserlyspuls som treffer måleobjektet, og reflekteres tilbake til laserskanneren. Fordelen med denne metoden er at den fungerer veldig godt også på lengre rekkevidder. Lysets hastighet vet man og dermed kan man beregne avstanden til objektet når man vet tiden pulsen bruker på å returnere. Det verdt å merke seg er at begge disse metodene fungerer uavhengig om det er dagslys eller ikke. (Van Genechten, 2008)

Instrumentet som er brukt for denne oppgaven er Leica ScanStation P40, som er en dedikert laserskanner. Dette er en pulsbasert laserskanner, slik som beskrevet ovenfor. Videre kan den måle inn 1 millioner punkter per sekund med en maks rekkevidde på 270 meter. Den har en oppgitt tredimensjonal nøyaktig på 3 mm ved 50 meter og 6 mm ved 100 meter. Horisontalt kan instrumentet skanne 360 grader rundt sin egen akse, mens vertikalt kan den skanne 290 grader. For å oppnå flest mulige overlappende punkter ble det valgt å ikke begrense synsvinklene til skanneren, slik at den skannet alt innenfor dens rekkevidde. Den eneste begrensningen var maks avstand, denne ble satt til 35 meter av den grunn at det fjerner en del

støy utenfor bygget, da det er store vindusflater i kafe-området. Den absolutt korteste avstanden instrumentet fungerer er 0.4 meter, dette ble det tatt høyde for ved plassering av skanneren. I tillegg vil ikke skanneren akseptere targets som er mindre enn 1.5 meter unna. (Leica Geosystems, 2020)

### **2.1.1 Bruk av laserskanning i praksis**

Så hva kan man egentlig benytte denne teknologien til. Den er en helt ypperlig metode for rask innsamling av romlig data. Denne dataen kan man koble opp mot kjente fastmerker slik at dataen er stedfestet. På den måten er det mulig for andre å benytte seg av dataen og ikke minst kan dataen benyttes for å se på endringer i måleobjektet. For eksempel kan man overvåke et eldre bygg over tid for å se om dårlige grunnforhold fører til at bygget synker. En digital tvilling av bygget kan også være fint med tanke restaurering. Svært ofte blir laserskanning brukt i forbindelse med modellering av eksisterende bygg og som bygningsdokumentasjon også kalt «as-built» dokumentasjon.

## **2.2 Georeferering**

Laserskanning gjøres sjelden med bare en stasjon. Det vil gi store områder uten data, og flater som er dårlig definert. På bakgrunn av dette, er flere stasjoner nødvendig for å få en fullstendig modell. Hvert skannposisjon har et lokalt koordinatsystem. For å justere de forskjellige skannposisjonene sammen er det nødvendig å vite nøyaktig orientering og plassering i henhold til lokale og globale koordinatsystem. Georeferering er direkte knyttet til justeringen av skannposisjonene. Det betyr både å sette sammen skannposisjonene og stedfeste det til et koordinatsystem. Når punktskyen blir registrert og georeferert skjer det en transformasjon fra det lokale nettet til de georefererte punktenes koordinatsystem.

### **2.2.1 Cloud to cloud**

I denne oppgaven har man et ønske om å se på ulike strategier for å knytte sammen punktskyer. Cloud to cloud er en metode hvor man knytter sammen to eller flere punktskyer som inneholder tilstrekkelig antall punkter som er felles, også kalt overlapp. På denne måten er det da mulig å lage en helhetlig modell av et bygg eller andre objekter. Registreringen skjer



i etterkant av selve laserskanningen, ved hjelp av passende programvare som prosesserer punktskyenes fellespunkter og angir prosentvis hvor mange punkter som overlapper. Generelt sett bør denne overlappen være på rundt 30-40%. (Van Genechten, 2008)

### **2.2.2 Registrering med target**

Laserskanning med targets er annen metode hvor man benytter svart/hvite targets med eller uten kjente koordinater. Slike targets er laget på den måten at de gjenkjennes av laserskanneren og brukes i prosessering av punktskyen i etterarbeidet. Det er forskjellige typer targets. I denne oppgaven benyttes papirtargets fra printer og Leica sine spesialtargets for laserskanning. Targets fra firmaer som forhandler laserskannere er lagd av materiale med høy refleksivitet. Skanneren vil ved hjelp av refleksiviteten definere targetene med høy nøyaktighet. Papirtargetene er printet på vanlig A4 ark, disse har lavere refleksivitet og vil ikke være like godt definert som spesialtargets.

En annen mulighet er å benytte naturlige targets. Dette kan være veldefinerte objekter i skannet. For eksempel hjørner på vinduer og dører. Baksiden med disse er at de gir dårligere kvalitet. Dette kommer av at fellespunktene kan bli dårlig definert i hjørner på grunn av laserstrålens treffpunkt. (Van Genechten, 2008)

## **2.3 Polygondrag**

Polygondrag benyttes for å bestemme en rekke nye punkter mellom to kjente punkter. Det måles avstander og vinkler mellom nabopunktene med en totalstasjon. Dette er vanlig metode ved innmåling av oppstillingspunkter for laserskanning av et bygg. Med denne metoden vil det være få overskytende målinger, noe som kan medføre at det er vanskeligere å oppdage enkelte grove feil. Dette kan gjøre at om det eksisterer en grov feil, f.eks. avstandsfeil, vil denne bli fordelt utover på de andre avstandene. (Norberg, Skogseth, 2014)

Ved måling av polygondrag bør man i start og endepunkter måle til minst to kjente fastmerker for å ha god kontroll på utgangsretningen. (Norberg, Skogseth, 2014)

Det er flere ting man bør huske på ved gjennomføring av polygondrag, blant annet er følgende tre punkter viktige:

- *Avstandene måles begge veier. Det gir størst sikkerhet mot grove feil. Avstandene skal måles minst to ganger med uavhengig innstilling mot prismet.*
  - *Høydeforskjellene skal måles gjensidig. Det vil si at senitvinklene skal måles både fram og tilbake mellom to punkter.*
  - *Instrument- og siktehøyde skal minst måles med to uavhengige målinger. Videre skal det kontrolleres at instrumentet er tilfredsstillende sentrert over punktet på bakken.*
- (Norberg, Skogseth, 2014, s.175)

## 2.4 Koordnatsystem

Et koordnatsystem beskriver et punkts beliggenhet i planet ved hjelp av tallverdier. Det er ulike måter å betegne et slikt system på og i denne forbindelse er det snakk om et rettvinklet koordnatsystem. Dette betegnes av to rette linjer (koordinataksene) som står vinkelrett på hverandre og danner origo, også kalt et begynnelsepunkt. (SNL, 2015)

I oppgaven er det benyttet kartesiske koordinater som defineres av tre plan som står vinkelrett på hverandre. De tre planene består av nord, øst og høyde over havet. Disse koordinatene baserer seg igjen på jordsentriske koordinater og disse angis som vinkler. På jorden refererer man ofte til nord som breddegrad som regnes fra ellipsoidens ekvator, og er positiv mot nord og negativ mot sør. Lengdegrad regnes fra ellipsoiden nullmeridian og er positiv mot øst, negativ mot vest.

I Norge benyttes det offisielle geodetiske datumet eller referansesystemet EUREF89. Dette datumet tar utgangspunkt i koordinater som ble bestemt 1.januar 1989. Norge tok dette referansesystemet i bruk som første land i Europa i 1997. (Kartverket, 2019) Dette referansesystemet bruker kartprojeksjonene UTM og NTM. Forskjellen på disse to er målestokkfaktoren. UTM har en målestokkfaktor på 0,9996 og NTM på 1,000 (Kartverket, u.å). Denne lille faktoren kan utgjøre en stor forskjell, hvis man ser på forholdet mellom avstander på kartet og i virkeligheten. Ved bruk av UTM må man korrigere for avstandsavvik, mens ved bruk av NTM som er en til en er det ikke nødvendig. Måler man en avstand på 100 meter vil den altså være 100 meter ved bruk av NTM. Det er derfor denne kartprojeksjonen blir mye brukt innenfor bygg- og anleggsbransjen hvor det ofte er snakk om høy nøyaktighet ved innmåling av ulike objekter og liten geografisk spredning. Målestokskorreksjonen i

NTM er på maksimalt 11 ppm, som tilsvarer 1,1 mm per 100 m. Dette er innenfor nøyaktigheten på landmålingsutstyret som blir brukt i oppgaven. (Norberg, Skogseth, 2014)

I vår oppgave har det blitt benyttet NTM 10 i sin helhet, for å minimere målestokkfaktoren. Høydereferansesystemet som benyttes i Norge i dag er NN2000, og tar over etter NN1954. Dette høydedatumet ligger til grunn når man skal bestemme hvor høyt over havet f.eks. et fjell ligger. (Kartverket, 2018)

## 2.5 Feilkilder

### Grove feil

- unngås ved å ha gode måleprosedyrer
- måle de samme størrelsene flere ganger, altså måle mer enn nødvendig slik at man har mange overbestemmelser.
- stryke målingene fra beregningene som man ikke kjenner feilen til.

### Systematiske avvik

- skyldes hovedsakelig instrumentfeil, observasjonsforhold
- målestokkfeil og feilforplantning
- eliminere systematiske avvik: måle i begge kikkertstillinger, kalibrere instrumenter

### Tilfeldige avvik

- variasjonene mellom de forskjellige målingene etter at de grove feilene og systematiske avvikene er eliminert
- feil som skyldes begrenset nøyaktighet hos observatørene, ved måle metodene eller måleinstrumentene
- avvikene er helt tilfeldige både i størrelse og fortegn, og kan ikke unngås

(Norberg, Skogseth, 2014, s.314-316)

### 3 Metode

I dette kapittelet presenteres utstyret som er benyttet, forarbeid og forberedelser som er gjort. Det presenteres også fremgangsmåter for den praktiske delen og etterprosessering.

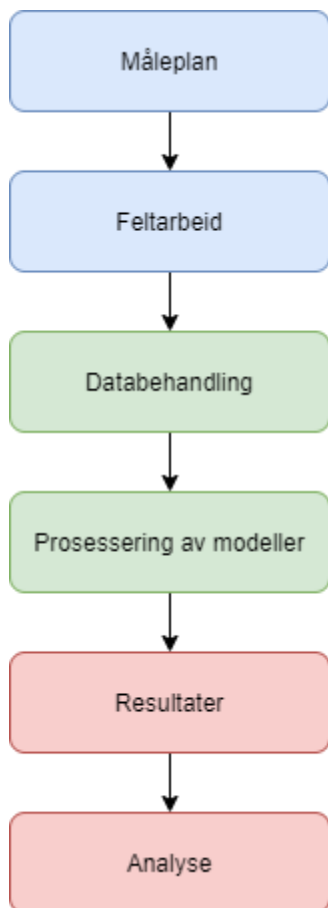
Det er ingen offisiell standard publisert hva angår nøyaktighetskrav for innendørs laserskanning. Derfor har man gått i dialog med firmaer og fagpersoner som daglig arbeider med laserskanning. På bakgrunn av deres erfaring fikk man opplyst hvilke nøyaktighetskrav de operer med i praksis. Fagpersonene forteller at det er kunden som bestemmer hvilken nøyaktighet sluttproduktet skal tilfredsstill.

På generell basis benyttes disse bransjekravene ved bruk av innendørs laserskanning:

Tabell 1: Bransjekrav

Prosjekttipe	Nøyaktighet
Prosjekteringsgrunnlag	Bedre enn 10mm
BIM/tegningsgrunnlag	Bedre enn 20mm
Modell for forvaltning, drift og vedlikehold	20-30mm

For å sikre at den praktiske delen av oppgaven ble gjennomført på en korrekt måte, ble det i forkant av det praktiske arbeidet utført litteraturstudie, samt diskusjon med veileder. På bakgrunn av dette, ble det tatt beslutninger på hvordan feltarbeidet skulle gjennomføres.



Figur 1: Arbeidsflyt for laserskanning

### 3.1 Utstyr

Tabell 2: Datablad og utstyrsliste MS60 (Leica Geosystems, 2020)

<b>Instrument</b>	Leica MultiStasjon60
<b>Instrumenttype</b>	Multistasjon
<b>Rekkevidde avstand</b>	1.5 m under 10000m (prisme) 1.5 m ved måling til 2000m (uansett overflate)
<b>Avstandsnøyaktighet</b>	Single (prisme) 1mm + 1,5ppm Single (prismeløst) 2mm + 2ppm
<b>Vinkelnøyaktighet</b>	0.3 mgon horisontalt/vertikalt
<b>Prismer</b>	Leica GPR1,
<b>Prismekonstant</b>	Leica GPR1: 0 mm
<b>Sentreringsnøyaktighet prisme</b>	1.0 mm
<b>Annet utstyr</b>	Leica GST120-9 trefot, Leica tribrach, Leica GZR3, tommestokk, GST4 stativstjerne.

Tabell 3: Datablad og utstyrliste P40 (Leica Geosystems, 2016)

<b>Instrument</b>	Leica ScanStation P40
<b>Instrumenttype</b>	Stasjonær laserskanner
<b>Avstandsnøyaktighet</b>	1.2 mm + 10 ppm
<b>3D posisjon nøyaktighet</b>	3 mm ved 50m, 6 mm ved 100m
<b>Vinkelnøyaktighet</b>	2.4 mm horisontalt/vertikalt
<b>Targets</b>	Leica HDS GZT21 (svart/hvit) 4.5 tommer, papirtarget 6 tommer

Tabell 4: Datablad og utstyrliste GS16 (Leica Geosystems, 2016)

<b>Instrument</b>	Leica Viva GS16
<b>Instrumenttype</b>	GNSS antenne
<b>RTK</b>	8 mm + 1ppm horisontalt 15 mm + 1ppm vertikalt
<b>Nøyaktighet CPOS (Kartverket)</b>	8 mm grunnriss EUREF89 20 mm høyde NN2000 (i områder med 35 km mellom SATREF PGS) Standardavvik 1 sigma, 66% av tilfellene.
<b>Støttede GNSS systemer</b>	GPS, Glonass, Galileo, Beidou

Tabell 5: Datablad og utstyrliste Leica Sprinter 100 (Leica Geosystems, 2004)

<b>Instrument</b>	Leica Sprinter 100
<b>Instrumenttype</b>	Nivelleringskikkert
<b>Høydenøyaktighet</b>	1km ved dobbeldrag med GTL4C teleskopisk målestav
<b>Avstandsnøyaktighet</b>	10mm for $D \leq 10$ m og $m * 0,001$ for $D > 10$ m
<b>Rekkevidde</b>	2 til 80 meter
<b>Annet utstyr</b>	Leica GST120-9 trefot, padde for målestav, GTL4C teleskopisk målestav

## 3.2 Forarbeid

Det var viktig å sette seg inn i hvordan utstyret fungerer før man satte i gang med hovedprosjektet. Derfor valgte man å gjennomføre et testprosjekt, i en noe mindre skala. Dette ble utformet slik at man kunne støte på en del av de samme utfordringene som man så for seg kunne dukke opp i hovedprosjektet. Valg av arbeidsområde for testprosjektet var i

andre etasje i Smaragdbygget. Dette er et område som inneholder mye lik utforming som førsteetasjen som var arbeidsområde for hovedoppgaven, på grunn av at det er mer folk som ferdes i første etasje ble derfor testen lagt til andre etasje. Ved hjelp av totalstasjonen ble det etablert et eget lokalt koordinatsystem. Det ble målt inn seks fastmerker i et polygondrag, disse ble brukt som skannstasjoner senere på dagen. Underveis ble det også målt inn targets. Det ble gjennomført laserskanning med subskann mot alle targets.

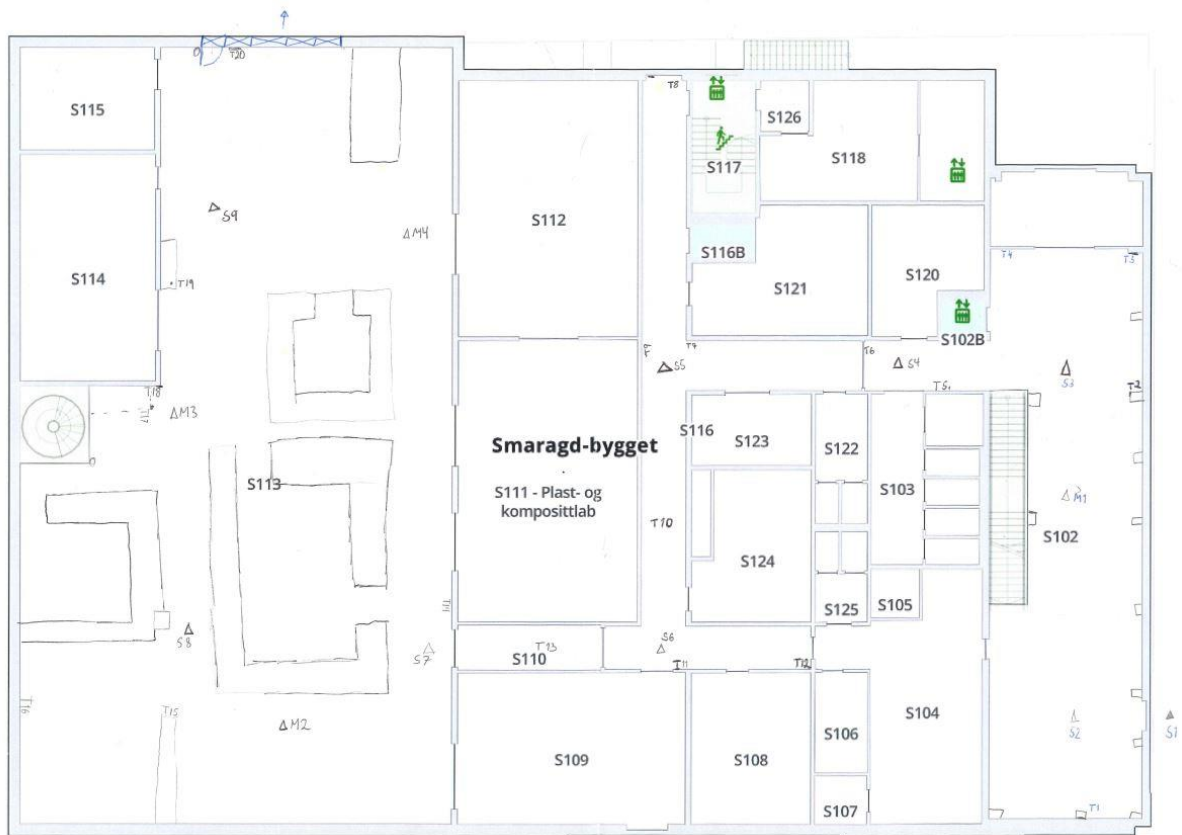
Innmåling av targets og subskanning av disse var noe som gruppen var ukjente med. På bakgrunn av dette ble det gjort nøye undersøkelser ved plassering av både papirtargets og de magnetiske Leica targetsene. Her ble det eksperimentert med vinkler, avstand og bakgrunnsmateriale. Vinkler og bakgrunnsmateriale var først og fremst noe som var avgjørende for å kunne registrere papirtargets. Det ble bestemt utfra funnene som ble gjort, at i hovedprosjektet måtte papirtargets bli plassert slik at de var mest mulig vinkelrett på skannposisjonene.

Det ble foretatt skann med både høy og normal sensitivitet på skanneren, for å senere kunne se hvordan disse innstillingene påvirket punktskyen.

Under testskannet ble det registrert noe støy som følge av at folk gikk forbi under skanning. Når skanndata ble hentet inn i programvare forsøkte man å fjerne denne støyen. Dette viste seg å være krevende uten å slette mer data enn det som var ønskelig.

På bakgrunn av disse erfaringene ble skanntidspunktet for hovedprosjektet lagt til helg, da det normalt er mindre folk til stede på universitet.

Det ble i forkant av helgen utarbeidet en skisse, der man markerte tenkte stasjoner og targetplasseringer.



Figur 2: Skisse for planlegging og gjennomføring av skanning



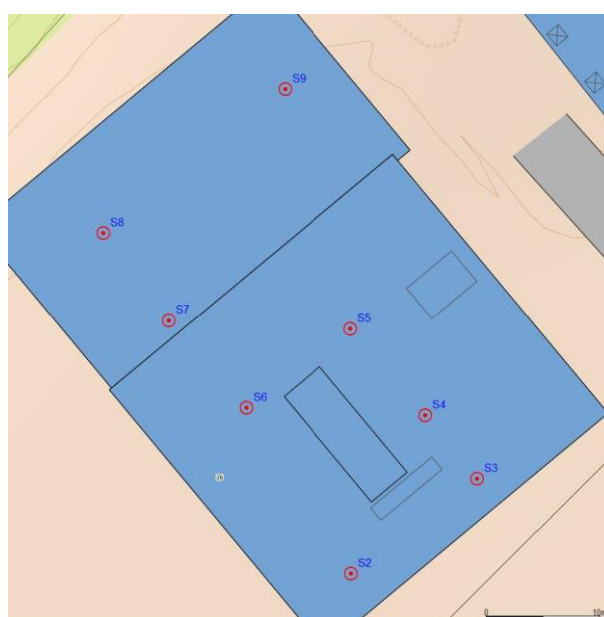
### 3.3 Praktisk del

Den praktiske delen ble delt opp i tre deler, etablering av fastmerker, polygondrag og laserskanning. Etableringen ble foretatt i midtuken og kontrollert før neste del ble påbegynt. Gruppen valgte å sette av en helg til det praktiske arbeidet med polygondrag og laserskanning.

For å presentere størrelsesomfanget av arbeidsområdet følger en tabell med avstandene mellom skannstasjonene innendørs:

Tabell 6: Lengde skannområde

Stasjon 1	Stasjon 2	Avstand (m)
S2	S3	13,91
S3	S4	7,222
S4	S5	10,055
S5	S6	11,469
S6	S7	10,324
S7	S8	9,56
S8	S9	20,404
LENGDE SKANNOMRÅDE		82,944

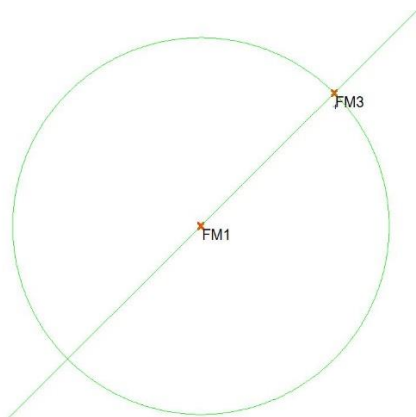


Figur 3: Oversikt over stasjoner for laserskanning

#### 3.3.1 Etablering av fastmerker

I denne oppgaven har fokuset vært høy nøyaktighet på punktskyen. For å se hvordan usikkerheten forplantet seg gjennom nettverket, var det viktig med et tvangsfritt grunnlag. For å oppnå dette valgte gruppen å etablere to fastmerker, FM1 og FM3. Punktene ble først målt med Leica GS16 med sanntidskorreksjoner fra Kartverkets CPOS tjeneste. Målingene ble gjennomført i henhold til standarden «Posisjonstjenester i sanntid v. 2.0» (Kartverket, 2017). Målemetoden som ble benyttet var 2 målinger med minimum 45 minutter mellom hver måling.

For å styrke punktenes indre nøyaktighet ble det målt satser og gått nivellement mellom de to fastmerkene. Til dette arbeidet ble Leica MS60 og Leica Sprinter 100 benyttet. Instrumentene ble kalibrert før de ble benyttet. Fra satsmålingene ble det midlet en avstand mellom punktene, som ble benyttet for å korrigere x- og y-koordinatene til FM3. Dette ble gjort ved at man omgjorde skråavstanden fra satsmålingene til en horisontalavstand. Gisline landmåling ble benyttet til å beregne avstanden i kartplanet med hensyn til geoidmodellen. GNSS-målingene ble importert i Gemini Terreng, der det ble opprettet en linje mellom punktene. Det gir en retning man kan nybestemme FM3 på, ved hjelp av en sirkel med radius lik horisontalavstanden fra Gisline. Den nye koordinaten til FM3 settes til krysningpunktet mellom sirkel og linje, dermed oppnår man et tvangsritt grunnlag, siden det hele avhenger av FM1 sine koordinater. Høyden til FM3 blir bestemt av nivellementsresultatet fra FM1 til FM3 og tilbake. Det ble benyttet Euref89 NTM sone 10 som referansesystem og NN2000 som høydedatum.



Figur 4: Hjelpegeometri for å nybestemme koordinatene i FM3

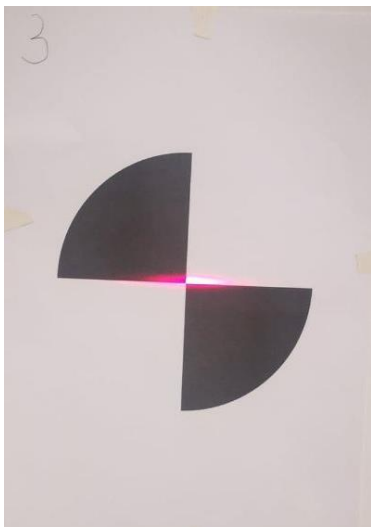


Figur 5: Sikt mellom FM1 og FM3

### 3.3.2 Polygondrag og innmåling av targets

Etter at fastmerkene var etablert med tilfredsstillende kvalitet, startet arbeidet med polygondraget gjennom Smaragdbygget. Draget som ble gjennomført ble en mellomting av et tradisjonelt polygondraget og et forsterket polygondrag (ofte benyttet i tunnel). Draget startet i FM1, der det ble målt satser til FM3 og S1. S1 ble etablert like utenfor døra slik at man kunne entre bygget i neste sats. Deretter ble det etablert nye stasjoner gjennom hele bygget navngitt S2-S9, plassert i ønsket posisjon for laserskanner. Stasjonshøyder ble målt med to uavhengige målinger av ulike gruppe-medlemmer. Dermed blir punktet på gulvnivå, og man kan lett sentrere over dette, når man senere skal benytte skanner. I områdene man var usikker på om overlappen i skannet ville bli god nok, ble det også etablert mulige stasjonspunkter navngitt M1-M4. I polygondraget ble det målt til alle tilgjengelige sikt fremover og bakover. Dette ble gjort helt til man endte opp i FM3, og kunne utføre sats tilbake mot FM1, dermed endte man opp med et lukket polygondrag.

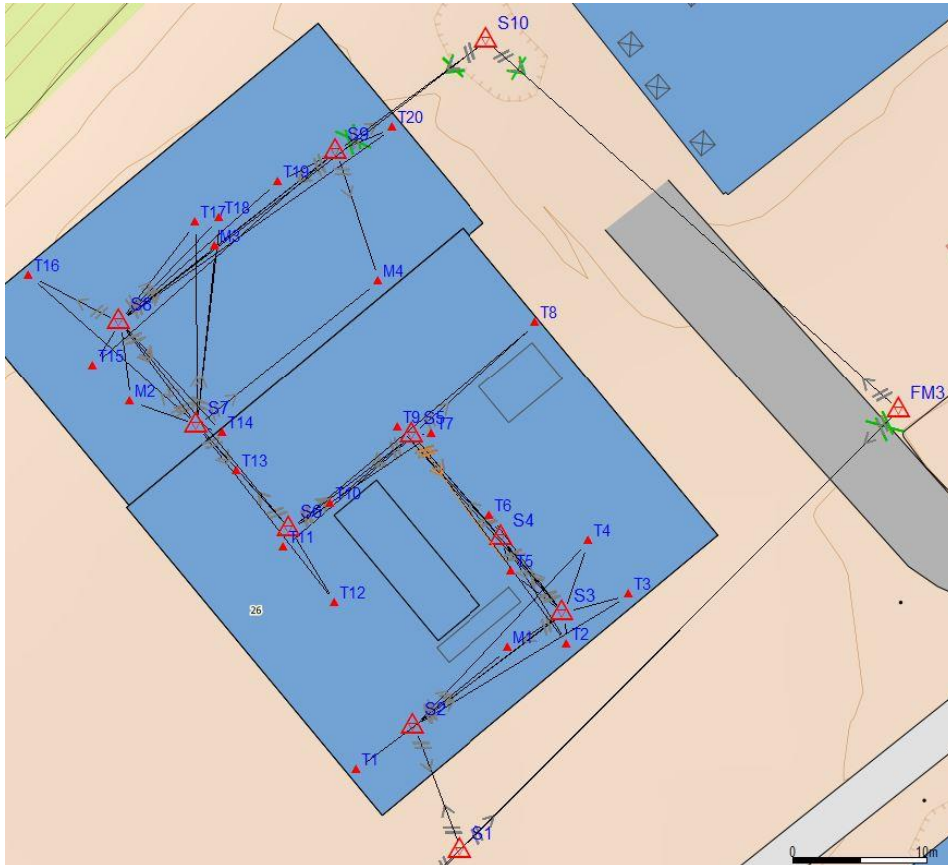
I stasjonene S2-S9 ble det også foretatt manuelle helsatser mot alle targets i minimum to stasjoner. Helsatser ble brukt for å kunne sikre at det ikke ble gjort grovfeil i innmålingene. Hvilke targets som ble målt inn fra hver stasjon ble avgjort på bakgrunn av vinkelen mot targetene. En dårlig vinkel vil føre til at usikkerheten i targetenes midtpunkt vil være mer unøyaktig, fordi laserens treffpunkt blir større på overflaten.



Figur 6: Treffpunkt laser ved dårlig vinkel fra test

### 3.3.3 Behandling av innmålte data i Gemini oppmåling

Innmålingene fra polygondraget blir importert inn i Gemini Oppmåling for videre analyse. Først blir satsmålingene mellom hver enkelt stasjon importert. Dette er for å utjevne stasjonene før satsene til targetene som ikke er en stasjon blir importert. Targetene som ikke er en stasjon, er detaljpunkter. Et detaljpunkt har kun observasjoner mot seg og ingen fra sin posisjon. Når stasjonene er importert, ble det gjennomført en 3D-utjevning og et grovfeilsøk. I grovfeilsøket ble alle målinger med faktor over 1 utelatt. Når faktoren overstiger 1 signaliserer programvaren at målingen er en grovfeil som må utelates fra videre beregninger. Test-nivået for grovfeilsøket er på 0,05 med fristilling av nettet. Når en observasjon overstiger Student's T-test sin verdi, i dette tilfellet på 1,96 får vi en grovfeil med faktor over 1. Etter at alle grovfeilene er utelatt kjøres en endelig utjevning av stasjonene.



Figur 7: Oversikt over polygondraget

Det blir også kjørt en globaltest etter grovfeilsøket. Test-nivået for globaltesten er på 0,05 (og max antall fristilte punkt på 20). Dette er for å se om observasjonene kan avsløre tvang i det eksisterende grunnlaget. (Gemini Oppmåling, Hjelpetekst) I dette nettverket er globaltesten OK, som vil si at den er godkjent og at det ikke er betydelig tvang i grunnlaget. Se vedlegg 1.1 for utjevningsrapport, 1.2 for grovfeilrapport og 1.3 for globaltest.

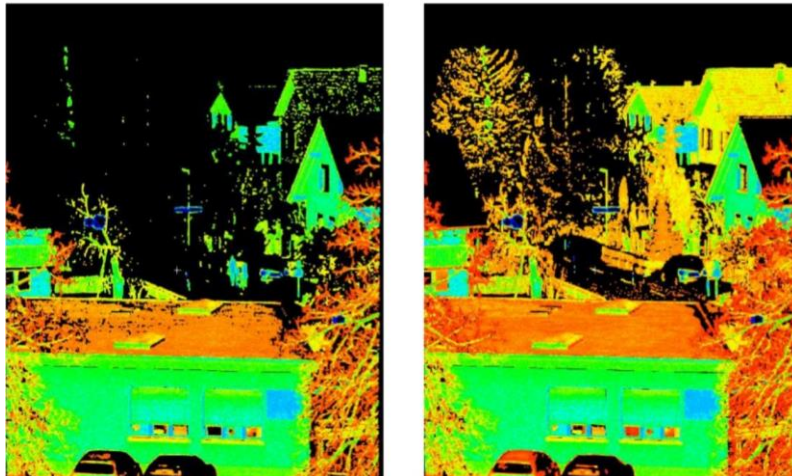
Etter at stasjonene er endelig utjevnet blir observasjonene til targetene importert. Dette er for å få korrekte vinkler til targetene i forhold til de utjevnedde stasjonene. Når observasjonene er på plass eksporteres det ut en koordinatliste for targets som benyttes til georeferering i Cyclone.

### 3.3.4 Laserskanning

Etter polygondragsmålingene var behandlet og funnet gode nok kunne man starte laserskanningen. Før man tok i bruk skanneren, hadde man en dialog med utstyrsansvarlig, slik at man visste at skanneren var kalibrert og klar til bruk. Det ble planlagt totalt åtte

stasjoner sentrert over de kjente punktene, S2-S9. Laserskanning er en tidkrevende prosess som krever høy nøyaktighet for å oppnå tilfredsstillende kvalitet. For å unngå brukerfeil gjennom en lang dag, var det hele tiden to personer ved skanneren. Der den ene var operatør mens den andre kontrollerte at alt ble gjort etter planen. I planleggingsfasen ble det diskutert ulike innstillinger på laserskanneren. Det ble valgt en punkttetthet på 3,1mm på ti meters avstand med høy sensitivitet. Bakgrunnen for valget var ønsket om en veldefinert punktsky. Innstillingen høy sensitivitet skal gi bedre refleksivitet på matte og mørke flater. Valget ble tatt på bakgrunn av tester i interesseområdet gjort i forkant av den praktiske delen og tester gjort av Leica Geosystems. Testen viser at høy sensitivitet vil skanne flere punkter på flater med lavere refleksivitet.

### **P40 Technology - How it works...** **Sensitivity Normal vs. Maximum**



*Figur 8: Sammenligning av normal og høy sensitivitet (Leica Geosystems, 2015)*

En punkttetthet på 3,1mm på ti meters avstand gir store mengder data. Avstandene imellom stasjonene er korte, og overlappen er god i de fleste oppstillinger. Det gjør punkttettheten tettere enn 3,1 mm i flere oppstillinger.

Skannetiden for hver stasjon ble på 13 minutter og 30 sekunder med høy sensitivitet. Dette inkluderer et fullt 360° skann. Stativer med targets stilles opp i kjentpunktene slik at fremtidige og foregående stasjoner registreres. Det ble planlagt at alle stasjoner skal ha minimum tre felles targets med nabostasjonene. I hver stasjon ble det gjort en detaljskanning av alle synlige targets med god vinkel til stasjonen, denne jobben kalles subskanning. Noen av stasjonene vil dermed ha mer enn tre targets til felles, men dette vil bare styrke nøyaktigheten mellom oppstillingene.

På forhånd ble det testet hvordan skanneren registrerer papirtargets når de er festet på ulike bakgrunnsmateriale, og plasseringene ble valgt på bakgrunn av testresultatet. Allikevel ble det komplikasjoner ved registrering av enkelte papirtargets under laserskanningen. Et av targetene som ble målt inn ble flyttet av en ukjent person i tidsrommet mellom polygondraget og skanningen, punktet var derfor ikke egnet til georeferering, men ble benyttet som et knutepunkt.



*Figur 9: Targetplasseringer*

### **3.3.5 Beregning av tidsbruk**

Det har blitt introdusert et ønske om å se på tidsbruken ved gjennomføring av denne typen prosjekt. Bakgrunnen for dette er det økte kostnads- og effektiviseringsfokus som brer seg i samfunnet. Det er en kjensgjerning at firmaet som kan gjennomføre et oppdrag raskest og til best pris som regel stiller sterkt i en anbudsrunde.

For å kartlegge tidsbruken var en på gruppen ansvarlig for å ta tiden det tok å gjennomføre et fullt 360° skann, inkludert tiden det tok å subskanne alle synlige targets. Deretter kan man enkelt dele opp hvor mye tid hver enkelt del av skanningen tok. Selve oppdeling av tid ble gjort i et excel-ark for å kunne lage ulike tabeller og diagrammer. Disse blir presentert senere i kapittel 4. Resultat og 5. Analyse.

### **3.3.6 Generering av modeller**

I denne oppgaven er ønskelig å se på forskjellige metoder for prosessering av laserdata. Dette er for å se hva slags kvalitet metodene kan oppnå. I registreringen av punktskyene ble det benyttet fem forskjellige metoder, disse blir beskrevet detaljert nedenfor.

#### **Modell #1 Targets**

Modell 1 er referansemodellen i denne oppgaven. Den baserer seg på utjevnete koordinater, og alle targets får sin egen verdi bestemt av polygondraget. I denne modellen blir alle synlige target med god vinkel benyttet. Referansemodellen knytter alle targets med subskann sammen. I alle stasjoner er det minimum tre targets som er felles mellom hvert skann. For eksempel i punkt S3 og S4 er target T2, T5 og T6 felles. Alle stasjonsstativer har et target når det ikke opptas av skanneren.

#### **Modell #2 Visual registration**

Modell 2 er registrert ved hjelp av visual registration. Det fungerer ved at man manuelt velger minimum tre fellespunkter mellom punktskyene. Ved å velge veldefinert og synlige gjenstander/flater i skannet kan Leica Cyclone finne overlappende punkter i stasjonene. I denne modellen er det valgt tre til fire fellespunkter. Programvaren ble stilt inn til å søke etter overlappende punkter som er innenfor en radius på 20 cm fra punktet brukeren angir. Fellespunktene ble plassert på tilnærmet samme sted i begge punktskyene. I skannet velger man faste objekter som er veldefinert i begge stasjoner. Visual registration er en form for cloud to cloud registrering, men de overlappende punktene bestemmes av brukeren istedenfor programvaren.

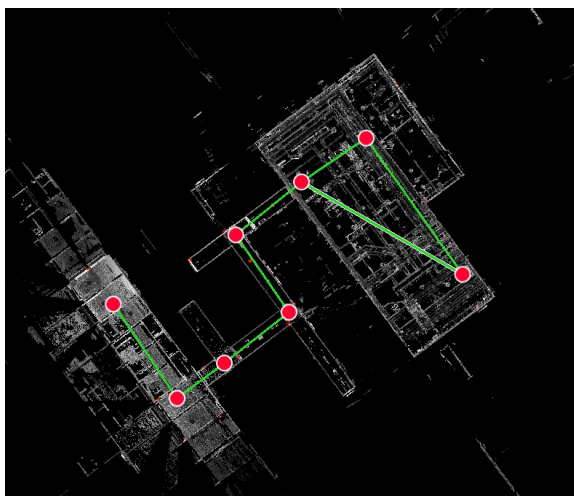
Registreringen ble startet i stasjon S2. Her ble det valgt tre punkter som var synlige i både stasjon S2 og S3. Deretter går man til stasjon S3 og finner de samme punktene som i S2. Programvare kan da sette sammen disse skyene. Prosessen foregår slik helt til siste stasjon.



Dersom alt er gjort korrekt, vil man ha en punktsky hvor alle stasjonene er satt sammen. Modellen blir til slutt georeferert mot target S2 og S9. Dette er for å kunne sammenlikne kvaliteten på de forskjellige modellene.

### **Modell #3 Cloud to cloud (Register 360)**

Modell #3 er modellen som krever kortest tid å prosessere. Modell 3 ble satt sammen i Cyclone Register 360. Her kan man dra og slippe stasjonene, så de blir plassert riktig i forhold til hverandre. Cyclone krever mer overlapp for cloud to cloud enn Register 360 og fungerte ikke mellom enkelte stasjoner. Programvaren gir forslag til «lenker» mellom stasjonene. Funksjonen «Join and Optimize» finner overlappende punkter mellom stasjonene og slår sammen to stasjoner. I dette prosjektet dannes det totalt åtte lenker med tilfredsstillende kvalitet og overlapp. Til slutt blir det foretatt en optimalisering av punktskyen, før den eksporteres ut av Register 360 for import i Cyclone. Den tidkrevende jobben med denne arbeidsmetoden er prosesseringen hvor programvaren setter sammen stasjonene. Det krever mye kraft fra PCen, men prosesseringen kan foregå i bakgrunnen uten aktiv involvering.



*Figur 10: Skannposisjoner og lenker*

360 prosjektet blir importert inn i Cyclone. Punktskyen er allerede satt sammen til en felles gruppe, og det eneste som mangler er å georeferere den. På samme måte som i modell 2 blir S2 og S9 benyttet. Det vil gi muligheten til å se hvordan kvaliteten er på en punktsky generert med cloud to cloud mot de andre modellene.

### **Modell #4 Cloud to Cloud med transformert S9**

Modell #4 er det samme prosjektet fra Cyclone Register 360 som modell 3. Forskjellen på disse er registreringen mot S2 og S9. Målet med denne modellen er å få en modell fri for tvang fra polygondraget. Med denne modellen ønsket man undersøke hvordan Cyclone fordeler tvangen i modell #3. Ved å sammenligne modell 3 og 4 vil man kunne få en indikasjon på polygondragets kvalitet. Koordinaten i S2 er den samme som før, men S9 er transformert ut ifra avstanden og retningsvinkelen mellom punktene. S9 får nytt koordinat basert på transformasjonen sin endring i X, Y og Z. Modellen ble sammenlignet med modell 3 for å se hvordan Cyclone fordelte ut feil i prosjektet, og mot referansemодellen som de andre.

### **Modell #5 CtC uten synlige targets**

Modell #5 ble satt sammen i Cyclone Register 360 på samme måte som modell #3. Den eneste forskjellen var at samtlige targets utenom S2 og S9 ble klippet ut fra punktskyen. Dette ble gjort for å undersøke om Register 360 benyttet seg av targets for å sette sammen punktskyene. Man kan slette subskann i programvaren, men de vil fortsatt være der visuelt. Modellen ser om Cyclone Register 360 har skjulte funksjoner som allikevel benytter seg av targetene. Dette var viktig å undersøke, med tanke på å benytte targetene til sammenligning og ikke registrering. Modellen ble satt sammen med cloud to cloud og eksportert til Cyclone. Her ble den georeferert med samme koordinater som modell #3, for å se om targetene påvirket kvaliteten på punktskyene.

## **3.3.7 Programvare**

### **Gemini Oppmåling**

Dette er et program for å utføre landmålingsberegninger. Det gir mulighet for å importere og lese flere ulike formater fra forskjellige typer landmålingsutstyr, deriblant totalstasjon og GNSS-utstyr. Fordelen med dette programmet er at man kan analysere innsamlet data raskt og dermed få oversikt over kvaliteten på koordinatene.

### **GISLine**

GISLine har stort sett de samme funksjonene som Gemini Oppmåling, men har også enkelte funksjoner som man ikke finner i Gemini. Blant annet kan man benytte GISLine for å finne

avstanden mellom to punkter i kartplanet. Det er denne funksjonen som har blitt benyttet i arbeidet med oppgaven, da dette ble gjort for å bestemme koordinatene på fastmerket FM3. For resten av beregningene ble Gemini Oppmåling benyttet.

### **Leica Cyclone**

Dette er et program som er dedikert for Leica sine egne laserskannere. Programmet prosesserer punktskyer utfra rådataen man importerer inn. Det er mange ulike funksjoner i programmet som gjør det anvendelig for mange ulike arbeidssituasjoner. Blant annet georeferere punktsky, cloud to cloud-matching, rense punktsky, og visual alignment. Videre kan man eksportere ut ulike filformater til bruk i andre ønskelige programmer, f.eks. CloudCompare.

### **Cyclone Register 360**

Dette er også et program som prosesserer punktskyer. Den største forskjellen på dette og Leica Cyclone er at dette programmet er mer forenklet, men som likevel bearbeider punktskyer på en tilfredsstillende måte. Register 360 ble benyttet til å lage modell #3, Cloud to Cloud, da dette viste seg å være enklere å få til i denne programvaren. Deretter ble modellen eksport ut som et prosjekt som kan åpnes i Leica Cyclone.

## 4 Resultater

I dette kapittelet vil resultatene i form av koordinater fra de ulike modellene samt polygondraget bli presentert.

### 4.1 Polygondragskoordinater

Tabell 7: Polygondragskoordinater

Polygondragskoordinater			
Target-ID	Nord	Øst	Høyde
T1	1310714,567	109818,933	185,056
T2	1310723,849	109834,461	185,136
T3	1310727,491	109839,040	185,693
T4	1310731,470	109836,073	185,140
T5	1310729,187	109830,349	183,527
T6	1310733,371	109828,774	185,506
T7	1310739,393	109824,431	185,441
T9	1310739,905	109821,974	185,005
T10	1310734,253	109816,955	185,779
T11	1310731,000	109813,499	185,059
T12	1310726,865	109817,288	183,768
T13	1310736,644	109810,015	185,817
T14	1310739,485	109808,962	185,811
T15	1310744,395	109799,329	185,431
T16	1310751,125	109794,593	185,253
T17	1310755,046	109806,920	187,143
T18	1310755,368	109808,751	185,067
T19	1310758,076	109813,071	185,286
T20	1310762,088	109821,590	183,704
S1	1310708,590	109826,580	183,109
S2	1310717,774	109823,087	183,233
S3	1310726,154	109834,188	183,225
S4	1310731,714	109829,591	183,223
S5	1310739,315	109823,014	183,219
S6	1310732,339	109813,911	183,216
S7	1310740,054	109807,052	183,208
S8	1310747,701	109801,316	183,212
S9	1310760,327	109817,343	183,217
S10	1310768,507	109828,500	182,930

## 4.2 Modell #1 Referansemøll targets

Tabell 8: Resultater modell #1

<b>Modell 1: Referansemøll - Targets</b>			
<b>Target-ID</b>	<b>Nord</b>	<b>Øst</b>	<b>Høyde</b>
T1	1310714,567	109818,933	185,056
T2	1310723,849	109834,461	185,136
T3	1310727,491	109839,040	185,693
T4	1310731,470	109836,073	185,140
T5	1310729,187	109830,349	183,527
T6	1310733,371	109828,774	185,506
T7	1310739,393	109824,431	185,441
T9	1310739,905	109821,974	185,005
T10	1310734,253	109816,955	185,779
T11	1310731,000	109813,499	185,059
T12	1310726,865	109817,288	183,768
T13	1310736,644	109810,015	185,817
T14	1310739,485	109808,962	185,811
T15	1310744,395	109799,329	185,431
T16	1310751,125	109794,593	185,253
T17	1310755,046	109806,920	187,143
T18	1310755,368	109808,751	185,067
T19	1310758,076	109813,071	185,286
T20	1310762,088	109821,590	183,704
S2	1310717,774	109823,087	183,233
S3	1310726,154	109834,188	183,225
S4	1310731,714	109829,591	183,223
S5	1310739,315	109823,014	183,219
S6	1310732,339	109813,911	183,216
S7	1310740,054	109807,052	183,208
S8	1310747,701	109801,316	183,212
S9	1310760,327	109817,343	183,217

## 4.3 Modell #2 Visual registration

Tabell 9: Resultater modell #2 Visual registration

<b>Modell 2: Visual registration</b>			
<b>Target-ID</b>	<b>Nord</b>	<b>Øst</b>	<b>Høyde</b>
<b>T1</b>	1310714,567	109818,934	185,052
<b>T2</b>	1310723,849	109834,462	185,133
<b>T3</b>	1310727,490	109839,039	185,690
<b>T4</b>	1310731,470	109836,074	185,138
<b>T5</b>	1310729,187	109830,348	183,524
<b>T6</b>	1310733,371	109828,774	185,504
<b>T7</b>	1310739,393	109824,432	185,438
<b>T9</b>	1310739,906	109821,974	185,000
<b>T10</b>	1310734,252	109816,957	185,776
<b>T11</b>	1310731,000	109813,501	185,055
<b>T12</b>	1310726,865	109817,290	183,768
<b>T13</b>	1310736,645	109810,016	185,814
<b>T14</b>	1310739,485	109808,963	185,809
<b>T15</b>	1310744,394	109799,329	185,430
<b>T16</b>	1310751,124	109794,595	185,251
<b>T17</b>	1310755,045	109806,922	187,141
<b>T18</b>	1310755,370	109808,754	185,064
<b>T19</b>	1310758,085	109813,055	185,285
<b>T20</b>	1310762,089	109821,590	183,703
<b>S2</b>	1310717,774	109823,087	183,232
<b>S3</b>	1310726,154	109834,188	183,223
<b>S4</b>	1310731,713	109829,593	183,220
<b>S5</b>	1310739,315	109823,013	183,217
<b>S6</b>	1310732,338	109813,910	183,214
<b>S7</b>	1310740,053	109807,052	183,206
<b>S8</b>	1310747,701	109801,316	183,211
<b>S9</b>	1310760,327	109817,343	183,216

## 4.4 Modell #3 CtC (Register 360) med S2 og S9

Tabell 10: Resultater modell #3 cloud to cloud

<b>Modell 3: CtC (Register 360) med S2 og S9</b>			
<b>Target-ID</b>	<b>Nord</b>	<b>Øst</b>	<b>Høyde</b>
T1	1310714,567	109818,935	185,056
T2	1310723,849	109834,462	185,134
T3	1310727,489	109839,040	185,692
T4	1310731,469	109836,075	185,140
T5	1310729,186	109830,348	183,524
T6	1310733,370	109828,775	185,504
T7	1310739,392	109824,432	185,439
T9	1310739,906	109821,975	185,001
T10	1310734,251	109816,957	185,777
T11	1310730,999	109813,501	185,055
T12	1310726,865	109817,290	183,768
T13	1310736,644	109810,017	185,815
T14	1310739,484	109808,963	185,809
T15	1310744,394	109799,329	185,430
T16	1310751,124	109794,595	185,252
T17	1310755,045	109806,922	187,141
T18	1310755,370	109808,754	185,065
T19	1310758,085	109813,055	185,285
T20	1310762,089	109821,590	183,703
S2	1310717,774	109823,087	183,233
S3	1310726,153	109834,188	184,775
S4	1310731,713	109829,593	184,798
S5	1310739,315	109823,014	184,851
S6	1310732,338	109813,910	184,864
S7	1310740,052	109807,053	184,727
S8	1310747,700	109801,316	184,833
S9	1310760,327	109817,343	183,217

## 4.5 Modell #4 CtC med transformert S9

Tabell 11: Resultater modell #4 cloud to cloud med transformert S9

<b>Modell 4: CtC med transformert S9</b>			
<b>Target-ID</b>	<b>Nord</b>	<b>Øst</b>	<b>Høyde</b>
<b>T1</b>	1310714,566	109818,935	185,056
<b>T2</b>	1310723,850	109834,460	185,135
<b>T3</b>	1310727,491	109839,039	185,693
<b>T4</b>	1310731,470	109836,073	185,140
<b>T5</b>	1310729,188	109830,347	183,526
<b>T6</b>	1310733,372	109828,773	185,505
<b>T7</b>	1310739,395	109824,431	185,442
<b>T9</b>	1310739,908	109821,974	185,003
<b>T10</b>	1310734,255	109816,956	185,780
<b>T11</b>	1310731,003	109813,500	185,059
<b>T12</b>	1310726,870	109817,289	183,773
<b>T13</b>	1310736,649	109810,015	185,820
<b>T14</b>	1310739,490	109808,962	185,815
<b>T15</b>	1310744,400	109799,328	185,435
<b>T16</b>	1310751,130	109794,595	185,256
<b>T17</b>	1310755,050	109806,921	187,146
<b>T18</b>	1310755,375	109808,753	185,070
<b>T19</b>	1310758,090	109813,054	185,291
<b>T20</b>	1310762,095	109821,589	183,708
<b>S2</b>	1310717,774	109823,087	184,754
<b>S3</b>	1310726,155	109834,187	184,777
<b>S4</b>	1310731,714	109829,592	184,799
<b>S5</b>	1310739,317	109823,013	184,852
<b>S6</b>	1310732,343	109813,909	184,868
<b>S7</b>	1310740,058	109807,052	184,731
<b>S8</b>	1310747,706	109801,316	184,838
<b>S9</b>	1310760,333	109817,342	184,794



## 4.6 Modell #5 og modell #3 fellespunkter

Resultatene mellom modell #5 og modell #3 er basert på fellespunktene nedenfor. Dette er punkter som er lette å kjenne igjen i punktskyen. Resultatets analyse er å finne i kapittel 5.6.

Tabell 12: Resultater for fellespunkter mellom modell #5 og #3

ID	Punktbeskrivelse	Modell #5			Modell #3		
		Nord	Øst	Høyde	Nord	Øst	Høyde
1	Dagens meny skilt	1319717,331	109817,551	184,412	1319717,331	109817,552	184,416
2	Skilt ved mjøstårnet	1310717,430	109824,853	183,414	1310717,430	109824,853	183,417
3	Fuge i fliser	1310721,239	109827,282	183,227	1310721,239	109827,282	183,231
4	Søyle ved S3	1310726,574	109832,006	183,227	1310726,575	109832,006	183,227
5	Nødutgang hoveddør	1310729,586	109837,445	185,401	1310729,587	109837,445	185,402
6	Stikkontakt	1310729,581	109829,842	184,251	1310729,581	109829,841	184,251
7	Skilt rom S122	1310732,747	109827,208	184,770	1310732,747	109827,207	184,769
8	Nødinstrukser	1310735,796	109827,489	184,623	1310735,796	109827,388	184,623
9	Skilt mot lab	1310740,019	109822,130	184,677	1310740,018	109822,129	184,677
10	Brannsprinkel	1310735,051	109817,559	185,870	1310735,051	109817,558	185,870
11	List ved lab	1310731,121	109813,402	183,270	1310731,122	109813,402	183,271
12	Inngang kafé	1310727,616	109818,187	184,700	1310727,616	109818,187	184,701
13	Søppelkasse	1310735,344	109811,904	184,020	1310735,344	109811,904	184,021
14	Nødutgang verksted	1310738,772	109808,046	185,891	1310738,773	109808,046	185,893
15	Ventilasjon vest	1310740,829	109797,605	188,646	1310740,829	109797,605	188,649
16	Ventilasjon nord	1310749,786	109793,767	188,662	1310749,787	109793,767	188,665
17	Vegg ved T15	1310744,193	109799,522	185,636	1310744,194	109799,522	185,639
18	Vindu grupperom	1310744,079	109814,501	188,772	1310744,080	109814,500	188,774
19	Bilde på veggen	1310751,772	109804,543	184,872	1310751,773	109804,543	184,874
20	Lydpanel	1310755,620	109809,299	187,411	1310755,620	109809,299	187,413
21	DørS112	1310748,795	109820,213	185,920	1310748,795	109820,212	185,923
22	Skilt brannslange	1310759,416	109814,050	185,361	1310759,417	109814,050	185,363
23	Nødutgang øst	1310762,602	109821,117	185,600	1310762,602	109821,116	185,602

## 4.7 Tidsbruk

Som nevnt tidligere var gruppen interessert i å se på tidsbruken i prosjektet. Dette vil bli delt inn i tre deler. Tidsbruk ved planlegging og oppsett, skannetid og totaltidsbruk med og uten bruk av targets.

### 4.7.1 Planlegging og oppsett

*Polygondrag:*

Det tok totalt 7 timer å etablere dette. Denne tiden inkluderer oppsett av stativer, utsetting av targets, og nedrigging. Utsetting av targets er estimert til 1 time. Nedrigging tok 10 minutter. Behandlingen av innmålte data kommer i tillegg til tiden for etablering av polygondraget. Tiden det tar vil avhenge av datamengde, utfordringer undervegs og erfaring med analyse av store datasett.

Tabell 13: Tid i minutter ved oppsett av stasjoner ved tvangssentrering

Oppsett stasjoner	Minutter
S2	5
S3	5
S4	5
S5	5
S6	5
S7	5
S8	5
S9	5
FM1	2
FM3	10
S1	10
S10	10
Totalt	72

**S2 – S9:** Er lokalisert innendørs og det er estimert 5 minutter ved oppsett av disse.

**FM1:** Er lokalisert utendørs og stasjonen er sentrert på en søyle, tidsbruk estimert til 2 minutter.

**S1 og S10:** Er lokalisert utendørs og det er estimert 10 minutter ved oppsett av disse.

## 4.7.2 Skanning

### Skannetid totalt: 108 minutter

Dette tallet er beregnet ut fra tiden det tar med et 360 graders laserskann med Leica P40 på høy sensitivitet. Det tok 13:30 minutter og det var 8 skannestasjoner.

Tabell 14: Skanntid

Stasjon	Minutter
S2	13,5
S3	13,5
S4	13,5
S5	13,5
S6	13,5
S7	13,5
S8	13,5
S9	13,5
<b>Totalt</b>	<b>108</b>

### Subskanntid totalt: 177 minutter

Dette tallet ble beregnet ut fra gjennomsnittlig tid det tok å subskanne ett target. Etter å ha regnet på det, kom man fram til at det tar ca. 3 minutter per target.

Tabell 15: Subskanntid

Stasjon	Antall targets	Minutter
S2	4	12
S3	10	30
S4	6	18
S5	8	24
S6	8	24
S7	9	27
S8	11	33
S9	3	9
<b>Totalt</b>	<b>59</b>	<b>177</b>

## 5 Analyse

Det har i arbeidet med denne oppgaven blitt utarbeidet fem ulike modeller, der hver modell har hatt noe ulik hensikt. I tabellen under presenteres hensikten forbundet med hver modell:

Tabell 16: Modellhensikt

Modell #	Hensikt
1	Referansemodell
2	Nøyaktighetsanalyse
3	Nøyaktighetsanalyse
4	Studie av programvarens prosesseringsteknikk
5	Studie av programvarens prosesseringsteknikk

Koordinatene fra polygondraget blir benyttet som referanse for analysedelen av laserskanningen. Dette blir gjort ved at man tar koordinatene for hvert target i den gitte modell og trekker fra referansekoordinatet, slik får man en differanse som viser hvordan den gitte modellens plassering er i forhold til referansemodellen. Denne formelen gjelder for analysen i kapitel 5.1, 5.2 og 5.3.

$$\begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{Gjeldende modell}} - \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{Referansemodell}}$$

På bakgrunn av disse sammenligningene, ønsker man å danne seg et bilde av hvilken metode som er best egnet med hensyn på både kostnad, tid og kvalitet. Target T19 har store avvik i nord og øst koordinat mot referansen. Dette er fordi den ble flyttet i perioden mellom polygondraget og skanningen uten at dette ble oppdaget. Den er likevel inkludert fordi det kan fungere som tiepoint, og benyttes i kontrollen de ulike modellene seg imellom, men vil ikke bli vurdert i analysen opp mot referansemodellen. T19 er markert i blått der hvor flyttingen påvirker analysen.

## 5.1 Analyse modell #2 Visual registration

### Nøyaktighetsanalyse

Tabell 17: Analyse modell #2

Modell #2			
Target-ID	Diff Nord	Diff Øst	Diff Høyde
T1	0,000	0,001	-0,004
T2	0,000	0,001	-0,003
T3	-0,001	-0,001	-0,003
T4	0,000	0,001	-0,002
T5	0,000	-0,001	-0,003
T6	0,000	0,000	-0,002
T7	0,000	0,001	-0,003
T9	0,001	0,000	-0,005
T10	-0,001	0,002	-0,003
T11	0,000	0,002	-0,004
T12	0,000	0,002	0,000
T13	0,001	0,001	-0,003
T14	0,000	0,001	-0,002
T15	-0,001	0,000	-0,001
T16	-0,001	0,002	-0,002
T17	-0,001	0,002	-0,002
T18	0,002	0,003	-0,003
T19	0,009	-0,016	-0,001
T20	0,001	0,000	-0,001
S2	0,000	0,000	-0,001
S3	0,000	0,000	-0,002
S4	-0,001	0,002	-0,003
S5	0,000	-0,001	-0,002
S6	-0,001	-0,001	-0,002
S7	-0,001	0,000	-0,002
S8	0,000	0,000	-0,001
S9	0,000	0,000	-0,001

Analysen av modell #2 er en sammenligning mot referansemodellen. Resultatet viser lite eller ingen forskjell i grunnriss. Den største differansen finner man i T18 med 3mm. Det er et avvik som er nesten ubetydelig for laserskanning. I høyden slår det noe mer ut. Det er størst utslag i høydene og programvaren fordeler feilen utover i draget. T1 fikk kun et subskann og er dårligere definert enn de andre targetene. Det kan ha ført til større avvik i høyde i dette punktet. Samtlige punkt befinner seg på samme høyde eller under referansen. I nord- og østretning ligger avvikene fra 0-3mm. Det er ingen av punktene som skiller seg nevneverdig ut.

## 5.2 Analyse modell #3 CtC (Register 360)

### Nøyaktighetsanalyse

Tabell 18: Analyse modell #3

Modell #3			
Target-ID	Diff Nord	Diff Øst	Diff Høyde
T1	0,000	0,002	0,000
T2	0,000	0,001	-0,002
T3	-0,002	0,000	-0,001
T4	-0,001	0,002	0,000
T5	-0,001	-0,001	-0,003
T6	-0,001	0,001	-0,002
T7	-0,001	0,001	-0,002
T9	0,001	0,001	-0,004
T10	-0,002	0,002	-0,002
T11	-0,001	0,002	-0,004
T12	0,000	0,002	0,000
T13	0,000	0,002	-0,002
T14	-0,001	0,001	-0,002
T15	-0,001	0,000	-0,001
T16	-0,001	0,002	-0,001
T17	-0,001	0,002	-0,002
T18	0,002	0,003	-0,002
T19	0,009	-0,016	-0,001
T20	0,001	0,000	-0,001
S2	0,000	0,000	0,000
S3	-0,001	0,000	0,000
S4	-0,001	0,002	-0,001
S5	0,000	0,000	-0,001
S6	-0,001	-0,001	0,000
S7	-0,002	0,001	-0,001
S8	-0,001	0,000	-0,001
S9	0,000	0,000	0,000

Modell #3 sitt resultat mot referansemodellen er tilfredsstillende. I stasjonene er det 0-2mm avvik og det er et lite avvik med tanke på hvor mye lenger tid det tar å lage referansemodellen. Avvikene med høyest verdi finner man i S4 og S7. Begge targetene har lik avstand til et referansepunkt, men 2mm kan ikke regnes som et avvik av betydning for resultatet. I disse targetene blir usikkerheten størst, siden avstanden til fastmerkene blir lenger enn i de andre punktene. Avvikene i targetene som ikke er stasjon er noe høyere. I høyde er det opp mot -4mm, og alle høydene er like eller under verdien til referansen. Nord og øst ligger på mellom 0-3mm. De høyeste avvikene ligger i targetene som er produsert på vanlig

papir. Det kan være en kombinasjon av manuell prismeløs innmåling og papir som gjør avvikene større i disse punktene enn stasjonene som er målt med Leica rundprismer.

## 5.3 Analyse modell #4 CtC med transformert S9

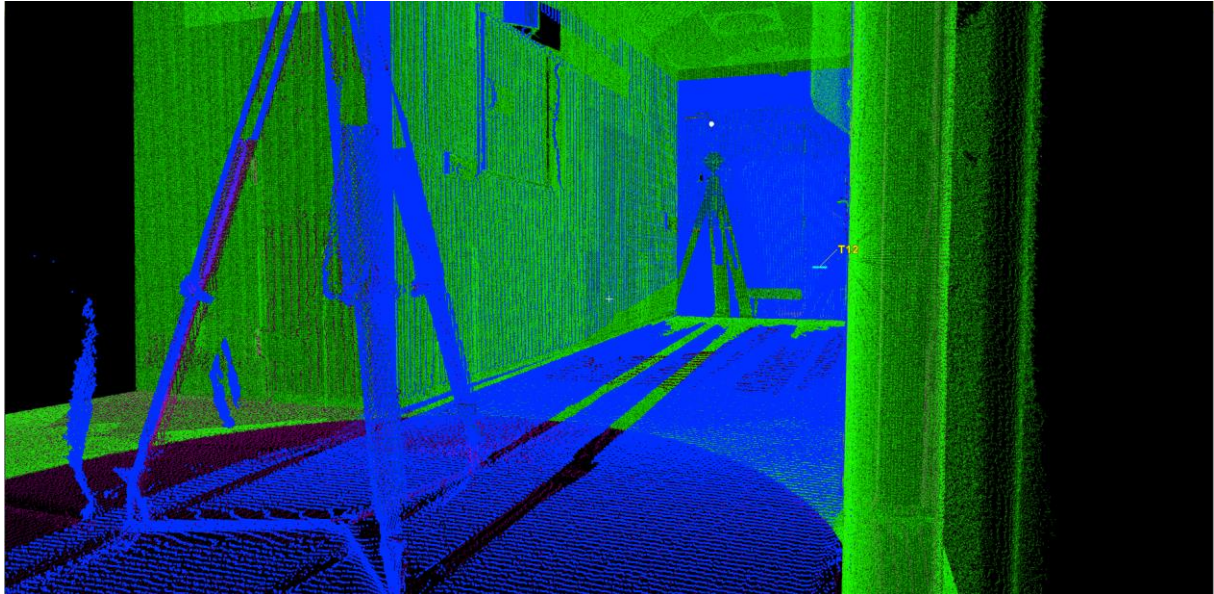
Studie av programvarens prosesseringsteknikk

Tabell 19: Analyse modell #4

Modell #4			
Target-ID	Diff Nord	Diff Øst	Diff Høyde
T1	-0,001	0,002	0,000
T2	0,001	-0,001	-0,001
T3	0,000	-0,001	0,000
T4	0,000	0,000	0,000
T5	0,001	-0,002	-0,001
T6	0,001	-0,001	-0,001
T7	0,002	0,000	0,001
T9	0,003	0,000	-0,002
T10	0,002	0,001	0,001
T11	0,003	0,001	0,000
T12	0,005	0,001	0,005
T13	0,005	0,000	0,003
T14	0,005	0,000	0,004
T15	0,005	-0,001	0,004
T16	0,005	0,002	0,003
T17	0,004	0,001	0,003
T18	0,007	0,002	0,003
T19	0,014	-0,017	0,005
T20	0,007	-0,001	0,004
S2	0,000	0,000	0,001
S3	0,001	-0,001	0,002
S4	0,000	0,001	0,000
S5	0,002	-0,001	0,000
S6	0,004	-0,002	0,004
S7	0,004	0,000	0,003
S8	0,005	0,000	0,004
S9	0,006	-0,001	0,005

Modell #4 ble utarbeidet for å se om Cyclone fordeler feil jevnt utover i draget ved å strekke og dra i punktskyen. Dette er høyst trolig tilfelle når man ser hvordan differansen utvikler seg utover i draget fra S2 til S9. Man kan tydelig se at nøyaktigheten stemmer bra i S2, som ikke er transformert, mens det i S9 er 6 millimeter avvik i nordretning og 5 millimeter i høyde. Det er en markant forskjell fra modell #3 der det ikke var avvik i S9. Det er viktig å presisere at

dette ikke er en modell som blir sett på som en aktuell metode å bruke for behandling og georeferering av punktsky. Denne benyttes til å studere påliteligheten til cloud to cloud som registreringsmetode og hvordan programvaren fordeler feil mellom stasjoner.



*Figur 11: Visuell presentasjon av data fra forskjellige skannstasjoner i modell #5*

Ovenfor er det en visuell fremstilling som viser de forskjellige stasjonene sine punkter. Lilla punkter på instrumentstativ kommer fra stasjon S5, grønnfargen fra S6 og blåfargen fra S7. Dette er et utsnitt fra den transformerte modellen i området hvor avvikene var størst opp mot sammenligningsgrunnlaget. Her kan man se stasjon S7 sine punkter ligger delvis høyere enn både S6 og S5 med et overtall i punkter langs gulvet. Det er derimot mindre forskjell mellom S5 og S6, noe man ser ved at fargene er blandet med hverandre.



## 5.4 Analyse modell #2 – modell #3

$$\begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{Modell 2}} - \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{Modell 3}}$$

Tabell 20: Analyse modell #2 mot modell #3

<b>Modell #2 - Modell #3</b>			
<b>Target-ID</b>	<b>Diff Nord</b>	<b>Diff Øst</b>	<b>Diff Høyde</b>
T1	0,000	-0,001	-0,004
T2	0,000	0,000	-0,001
T3	0,001	-0,001	-0,002
T4	0,001	-0,001	-0,002
T5	0,001	0,000	0,000
T6	0,001	-0,001	0,000
T7	0,001	0,000	-0,001
T9	0,000	-0,001	-0,001
T10	0,001	0,000	-0,001
T11	0,001	0,000	0,000
T12	0,000	0,000	0,000
T13	0,001	-0,001	-0,001
T14	0,001	0,000	0,000
T15	0,000	0,000	0,000
T16	0,000	0,000	-0,001
T17	0,000	0,000	0,000
T18	0,000	0,000	-0,001
T19	0,000	0,000	0,000
T20	0,000	0,000	0,000
S2	0,000	0,000	-0,001
S3	0,001	0,000	-0,002
S4	0,000	0,000	-0,002
S5	0,000	-0,001	-0,001
S6	0,000	0,000	-0,002
S7	0,001	-0,001	-0,001
S8	0,001	0,000	0,000
S9	0,000	0,000	-0,001

I denne sammenlikningen mellom modellene ser man at det er svært små forskjeller mellom de ulike modellene. Man kan også se i de foregående analysekapitelene at begge modellene har små avvik opp mot referansemodellen. Det som er verdt å merke seg er at i sammenlikningen mellom modellene er det ikke avvik i T19, dette understreker det som er kommenterte om dette targetet tidligere i oppgaven, nemlig at dette kan benyttes som

knutepunkt, men ikke er egnet til georeferering.

Det er svært små forskjeller både i grunnriss og høyde mellom modellene, den største differansen mellom modellene får man på høyden i T1 der differansen mellom modellene er 4mm. Dette kan skyldes valg av fellespunkter under visual registration metoden. Med andre ord kan nøyaktigheten ha blitt noe svakere i denne delen av punktskyen.

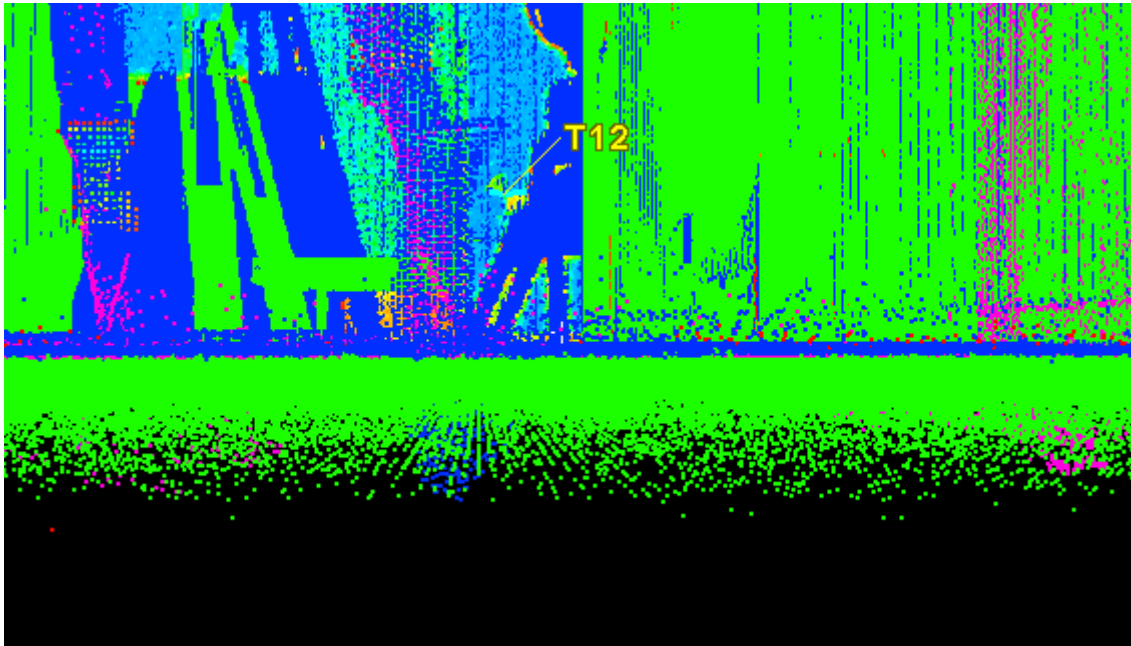
## 5.5 Analyse modell #4 – modell #3

$$\begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{Modell 4}} - \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{Modell 3}}$$

Tabell 21: Analyse modell #4 mot modell #3

<b>Modell #4- Modell #3</b>			
<b>Target-ID</b>	<b>Diff Nord</b>	<b>Diff Øst</b>	<b>Diff høyde</b>
T1	-0,001	0,000	0,000
T2	0,001	-0,002	0,001
T3	0,002	-0,001	0,001
T4	0,001	-0,002	0,000
T5	0,002	-0,001	0,002
T6	0,002	-0,002	0,001
T7	0,003	-0,001	0,003
T9	0,002	-0,001	0,002
T10	0,004	-0,001	0,003
T11	0,004	-0,001	0,004
T12	0,005	-0,001	0,005
T13	0,005	-0,002	0,005
T14	0,006	-0,001	0,006
T15	0,006	-0,001	0,005
T16	0,006	0,000	0,004
T17	0,005	-0,001	0,005
T18	0,005	-0,001	0,005
T19	0,005	-0,001	0,006
T20	0,006	-0,001	0,005
S2	0,000	0,000	0,001
S3	0,002	-0,001	0,002
S4	0,001	-0,001	0,001
S5	0,002	-0,001	0,001
S6	0,005	-0,001	0,004
S7	0,006	-0,001	0,004
S8	0,006	0,000	0,005
S9	0,006	-0,001	0,005

Sammenligningen mellom modell #4 og modell #3 viser tvangen som befinner seg i polygondraget. Modell #4 er kun basert på punktskyen og skal være fri for tvang. Resultatene fra analysen gjenspeiler endringen i S9, som ble flyttet med 6mm i nord, -1mm øst og 6mm i høyde. Modellen viser at programvaren fordeler feil fra polygondraget. Differansen i S9 forteller hvor mye tvang det er i polygondraget, og man vil ikke være i stand til å oppnå høyere kvalitet enn grunnlaget.

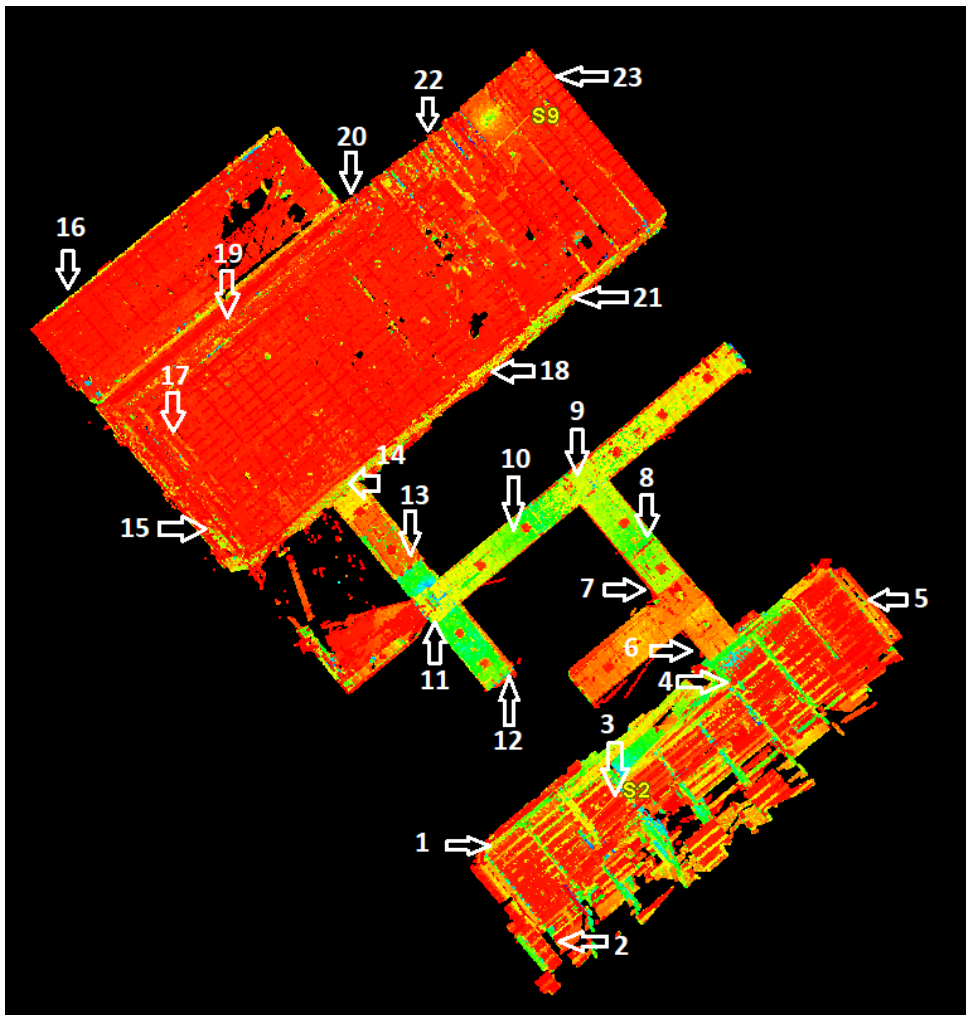


*Figur 12: Snitt av gulvet mellom stasjon S6 og S7*

Stasjon S6 og S7 har begge et høydeavvik på 4mm fra modell #3. I bilde ovenfor ser man et snitt av gulvet mellom stasjonene. Her er blåfargen stasjon S7 og grønnfargen S6. Dette snittet gjenspeiler det samme man så i kapittel 5.3 med stasjon S7 sine punkter liggende over stasjon S6.

## 5.6 Analyse modell #5 mot modell #3

Modell #5 er helt fri for targets mellom S2 og S9. Det fører til at analysen må gjennomføres på en annen måte her enn i de andre modellene. Figuren nedenfor viser samtlige punkter som er sammenlignet. Disse har en egen ID for å fortelle hvor i modellen de er plassert.



Figur 13: Oversikt over fellespunktene med ID

Denne analysen er utført ved hjelp av følgende formel for koordinatene i fellespunktene.

$$\begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{Modell 5}} - \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{Modell 3}}$$

Tabell 22: Avvik mellom fellespunktene

ID	Punktbeskrivelse	$\Delta N$	$\Delta \emptyset$	$\Delta H$
1	Dagens meny skilt	0,000	-0,001	-0,004
2	Skilt ved Mjøstårnet	0,000	0,000	-0,003
3	Fuge i fliser	0,000	0,000	-0,004
4	Søyle ved S3	-0,001	0,000	0,000
5	Nødutgang hoveddør	-0,001	0,000	-0,001
6	Stikkontakt	0,000	0,001	0,000
7	Skilt rom S122	0,000	0,001	0,001
8	Nødinstrukser	0,000	0,001	0,000
9	Skilt mot lab	0,001	0,001	0,000
10	Brannsprinkel	0,000	0,001	0,000
11	List ved lab	-0,001	0,000	-0,001
12	Inngang kafé	0,000	0,000	-0,001
13	Søppelkasse	0,000	0,000	-0,001
14	Nødutgang verksted	-0,001	0,000	-0,002
15	Ventilasjon vest	0,000	0,000	-0,003
16	Ventilasjon nord	-0,001	0,000	-0,003
17	Vegg ved T15	-0,001	0,000	-0,003
18	Vindu grupperom	-0,001	0,001	-0,002
19	Bilde på vegg	-0,001	0,000	-0,002
20	Lydpanel	0,000	0,000	-0,002
21	DørS112	0,000	0,001	-0,003
22	Skilt brannslange	-0,001	0,000	-0,002
23	Nødutgang øst	0,000	0,001	-0,002

Analysen ovenfor tar for seg fellespunkter i begge modeller. Under kolonnen for punktbeskrivelse kan man lese hva slags type punkt koordinatene er hentet fra. Begge modellene er basert på cloud to cloud, og den eneste forskjellen er at i modell #5 er samtlige targets klippet ut av punktskyen. Dette gir noen færre overlappende punkter å basere sammensetningen av punktskyen på. I analysen ser man de største avvikene mellom modellene er i høyde i hver ende av draget. Rundt første skannstasjon er høydeavvikene mellom 3-4mm og i verkstedhallen rundt S9 er avvikene på 2-3mm i høyde. I grunnriss er avvikene mellom modellene på  $\pm 1$ mm og høydene i gangen ligger på det samme. De største avvikene ligger i åpne rom med færre veldetaljerte flater, og det kan føre til dårligere cloud to cloud sammensetning i disse arealene.

## 5.7 Analyse tidsbruk

### Oppsett av stativer utendørs og innendørs

#### *Innendørs:*

Ved oppsett av stativ har det blitt beregnet at det tar 5 minutter å vatre dette opp over et kjent punkt innendørs. Hvis man legger til tiden det tar å plassere stativer tvangssentrert over punkter innendørs utgjør dette antall stasjoner multiplisert med 5 minutter.

Tabell 23: Tid i minutter ved oppsett av stativer innendørs

Polygondrag tid	Tvangssentrering
S2	5
S3	5
S4	5
S5	5
S6	5
S7	5
S8	5
S9	5
<b>Totalt</b>	<b>40</b>

#### *Utendørs:*

Tre stasjoner ble plassert ut med stativ og en stasjon er plassert på søyle. På ujevnt underlag utendørs vil tiden variere noe. Ut fra våre tall tok det omkring 10 minutter å tvangssentrere over punkter utendørs. Å vatre opp på søylen tar kort tid og tok 2 minutter.

Tabell 24: Tid i minutter ved oppsett av stativer utendørs og total tidsbruk til høyre

Polygondrag tid	Tvangssentrering
FM1	10
FM3	2
S1	10
S10	10
<b>Totalt</b>	<b>32</b>

Lokasjon	Tvangssentrering
Innendørs	32
Utendørs	40
<b>Totalt</b>	<b>72</b>

### Med bruk av targets (inkludert tvangssentrering av stativ):

Tabell 25: Tid i minutter med bruk av targets

Oppsett stativ	Høy sensitivitet	Subskanning	Totalt
40	108	177	<b>325</b>

Ovenfor ser man tidsbruken vår knyttet til tvangssentrering av alle stasjoner, laserskanning med høy sensitivitet i 8 skannstasjoner og subskanning av targets. 325 minutter tilsvarer 5 timer og 25 minutter.

Legger man til tiden det tok å etablere fastmerker ved hjelp av polygondrag (7 timer) vil den totale tiden for å georeferere bli: 12 timer og 25 minutter.

### Uten bruk av targets (cloud to cloud)

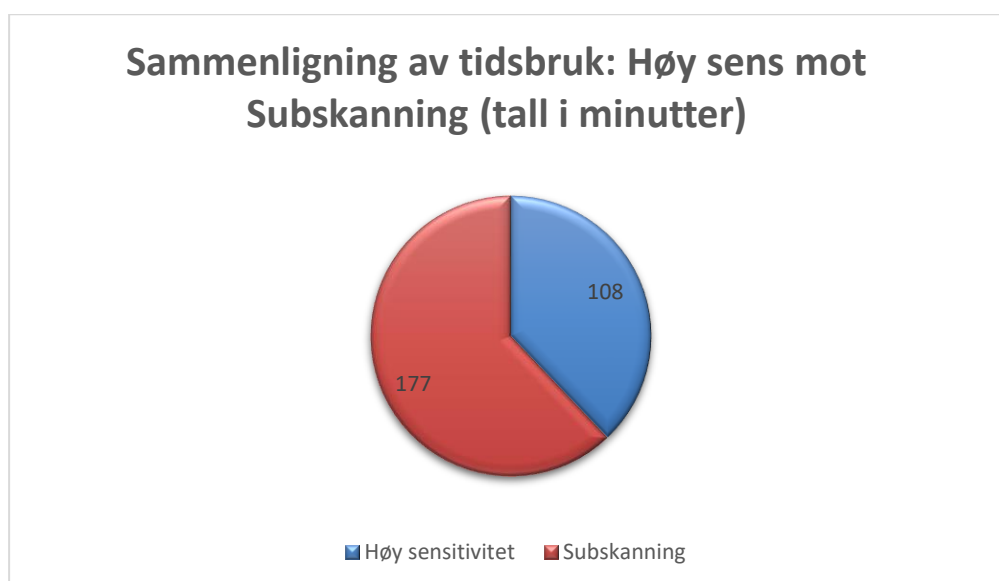
Tabell 26: Tid i minutter uten bruk av targets

Oppsett stativ	Høy sensitivitet	Subskanning	Totalt
25	108	0	133

Overfor er en tabell over tidsbruken knyttet til tvangssentrering av de georefererte endepunktene samt fastmerkene utendørs, laserskanning i høy sensitivitet i 8 skannstasjoner og ingen subskanning. Den totale tiden blir 133 minutter som tilsvarer 2 timer og 13 minutter.

Ved denne fremgangsmetoden vil også tidsbruken knyttet til polygondraget bli betydelig redusert, da en slik løsning vil redusere antall stasjoner i polygondraget fra 12 til 6. I tillegg vil man også kunne droppe innmåling av de 20 targetene som er benyttet i prosjektet. Altså vil cloud to cloud være vesentlig mindre omfattende, både med tanke på utstyr og tid.

### Sammenligning:



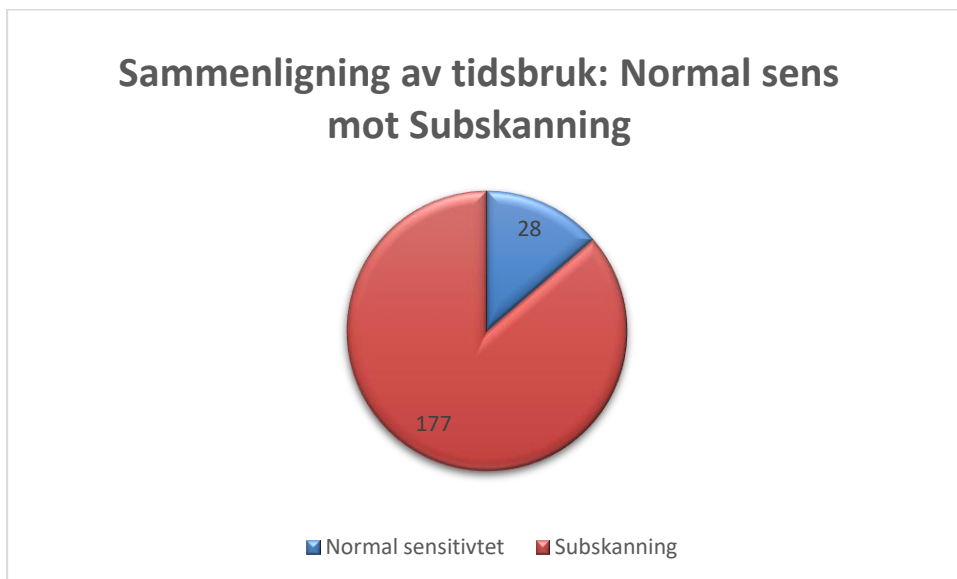
Figur 14. Sammenligning høy sensitivitet mot subskanning

Ovenfor ser man en sammenligning av tidsbruken ved laserskanning på høy sensitivitet og subskanning av targets. Det er beregnet et estimat av subskanntiden på bakgrunn av tiden det tar å subskanne ett target. Dette er blitt beregnet til å ta ca. 3 minutter.

Denne fremstillingen viser at subskanning utgjør mer enn halvparten av tiden ved laserskanning med targets.

*62,1 % av tiden går til subskanning i vårt oppsett.*

Skannetiden som er presentert her inkluderer ikke tid brukt på planlegging, plassering av targets og oppsett av stativer. Legger man til denne tiden også, vil man kunne se at tidsbruken ved bruk av targets er markant lengre enn ved et targetløst prosjekt. Som vist under resultater i kapittel 4.7 er planleggingsfasen en del som ikke vil være konstant, men som avhenger av kompleksiteten til bygget og størrelsen på prosjektet. I dette prosjektet tok selve plasseringen av papirtargets på vegger omtrentlig en time. Denne jobben ble gjort samtidig med at det ble utført et polygondrag gjennom bygget.



*Figur 15. Sammenligning normal sensitivitet mot subskanning*

Overfor er en fremstilling som viser tidsforskjellen om det ble skannet med normal sensitivitet. Som man ser, tar skanningen 28 minutter og subskanningen 177 minutter med vårt oppsett. Skanningen utgjør her 13,6 % av tiden og subskanningen altså 86,4 %.

I vår oppgave ble det bestemt å laserskanne med høy sensitivitet som tar 13 min og 30 sekunder per skannposisjon. Det er ikke blitt gjennomført analyser av hvordan sluttresultatet hadde blitt om det ble skannet med normal sensitivitet. Det er likevel ikke nødvendigvis slik



at normal sensitivitet hadde gitt best resultat i enhver situasjon om man tar utgangspunkt i figur 7.

Med andre ord om man ønsker å utføre en jobb raskt så vil skanning med normal sensitivitet utgjøre mye på den totale tidsbruken. I dette prosjektet er det ikke utført forskning ved bruk av normal sensitivitet og derfor kan man ikke med sikkerhet si at det hadde blitt samme nøyaktighet som ved bruk av høy sensitivitet.

# 6 Diskusjon

Gjennom arbeidet med oppgaven oppstår det enkelte komplikasjoner undervegs. I dette kapitlet diskuteres valgene som er tatt rundt metode, utfordringer og analysen.

## 6.1 Grunnlag

- PLAN A: Fire nybestemte fastmerker som man kunne triangulere
- PLAN B: Fire nybestemte fastmerker med dårligere geometri, kunne trianguleres
- PLAN C: Baselinje mellom to punkter basert på det ene punktet for å unngå tvang.

Fra begynnelsen av oppgaven var «plan A» å etablere et grunnlagsnett på utsiden av Smaragdbygget. Under planleggingen av dette innså man at det ikke ville la seg gjøre å triangulere rundt bygningen. Sammen med veileder ble det utarbeidet en plan og skisse for mulig design av grunnlagsnettet.



Figur 16: Skisse for planlegging av grunnlagsnett

Ovenfor er den første skissen som ble utarbeidet sammen med veileder. På grunn av byggearbeid og fysiske hindringer ble det umulig å få sikt til satsmålinger ut fra den opprinnelige planen. Derfor ble fastmerkene flyttet noe ut fra planen over, og vinklene mellom fastmerkene ble betraktelig mindre.



Figur 17: Grunnlagsnett plan B

Som man ser på bildet overfor er retningen mellom fastmerkene veldig lik. Når man måler fra FM1 mot FM2 og FM3 er det i underkant av to gon i vinkelforskjell. Optimalt bør det være gode vinkler for å forsterke nettet og unngå draging i forskjellige retninger. Avstanden mellom FM2 og FM3 var heller ikke gunstig. Det var på dette tidspunktet ideen om et tvangsfritt grunnlag ved hjelp av en linje mellom fastmerkene ble til i samråd med veileder. Dette var en ukjent metode for oss, men tanken var å oppnå et tvangsfritt nett med god indre nøyaktighet.

I oppgaven ønsket man å ha en god innbyrdes nøyaktighet på koordinatene. Gjennomføring av hvordan dette ble løst er beskrevet i metodekapittelet 3.3.1.

## 6.2 Targets

Når det var bestemt hvor stasjonspunktene skulle være, plasserte man ut targetene. Når disse ble plassert ut ønsket man, at man fra hver stasjon skulle registrere targets i ulike høyder. Dette ble praktisert gjennom hele arbeidsområdet, men selv om man ønsket targets i ulike høyder, tok man også hensyn til at innmålingsvinkelen til targetene ikke skulle bli dårlig. For å løse denne utfordringen ble det benyttet targets som kunne vris for å skape god vinkel i krevende posisjoner. Disse targetene hadde man begrenset antall av så de ble kun brukt der man så det kunne bli komplikasjoner uten.

Som følge av at gruppen erfarte problemer med å registrere enkelte av targetene, ble det planlagt å foreta nye registreringstester der man hadde target med forskjellig papirkvalitet, for å se om det kunne påvirket skannerens evne til å registrere dem eller ikke. Dette ble i midlertidig ikke gjennomført siden universitetet ble stengt som følge av koronapandemien før man rakk å komme så langt.

## 6.3 Skanning

Den praktiske delen knyttet til skanningen ble utført i henhold til hva gruppen hadde planlagt på forhånd. Skanneren ble stilt opp i kjente stasjonspunkter, i tillegg til dette var det opprettet 4 mulige stasjonspunkter der man var noe usikker på om overlappen ville være god nok.

Dermed kunne man enkelt foreta et ekstra skann fra en ny posisjon dersom det viste seg at det behøvdes. Dette ble dog ikke nødvendig da man så at programvaren «godkjente» skanningen slik den var. Dermed ble de mulige stasjonspunktene utelatt fra resultatene, siden disse ikke ble benyttet.

Tidlig i skanningen ble det erfart at det var utrolig viktig at man plasserte skanneren så forsiktig som mulig når man satte den opp i et nytt stativ. Skanneren med batterier veier ca. 13kg (Leica Geosystems, 2020) så dersom man er litt hardhendt når man setter den opp, er det fort gjort å slå et stativ ut av vater og sentrering. Dette skjedde heldigvis for vår del i en av de første stasjonene. Dersom man da skal begynne å vatre opp igjen stasjonen, og så fortsette, vil det fort ende opp med et avvik i høyde, som igjen kan skape usikkerhet når man i ettertid skal analysere nøyaktigheten. Det ble derfor besluttet å starte skanningen på nytt. Dette er

brukerfeil som vi i ettertid ikke har inkludert i tidsberegningen.

Som tidligere nevnt ble det skannet med høy sensitivitet, tidsforskjellen mellom denne innstillingen og normal sensitivitet er på 10 minutter (13.30 mot 3.30), med punktetthet 3.1mm på 10m. Derfor ville tidsandelen for subskann vært enda større dersom man hadde skannet med normal sensitivitet, men dette er en konstant tidsdifferanse ved lik punktetthet.

Resolution [mm @ 10 m]	Estimated scan duration [HH:MM:SS] for a full dome scan @ sensitivity level	
	Normal	High
50	00:00:20	00:00:20
25	00:00:33	00:00:33
12.5	00:00:58	00:00:58
6.3	00:01:49	00:03:25
3.1	00:03:30	00:13:30
1.6	00:13:33	00:54:06
0.8	00:54:06	03:36:21

Figur 18: Utklipp av estimert skanntid (Leica Geosystems, 2015)

Denne innstillingen ble valgt fordi man i denne oppgaven ønsket å forske på nøyaktigheten, og om det ble en time eller to lengre skanntid var uvesentlig for vår del. På den annen side ville det ha vært interessant å forske på om resultatet hadde endret seg ved bruk av normal sensitivitet. Men en slik studie kan bli veldig omfattende, og vi så oss nødt til å avgrense oppgavens omfang.

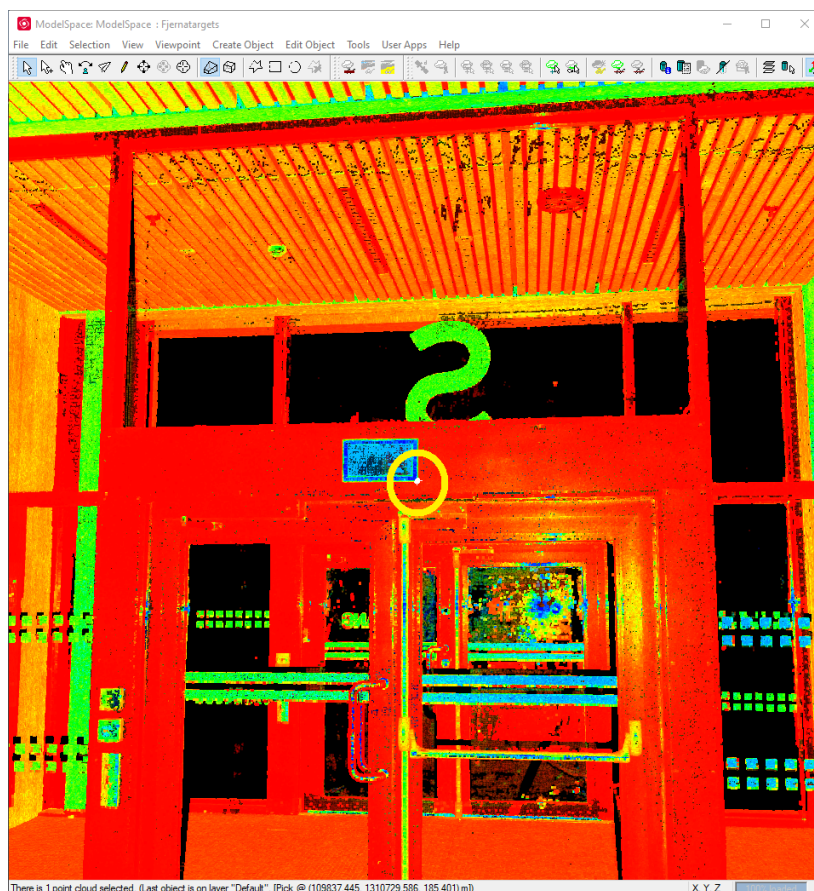
## 6.4 Prosessering av modeller

I utgangspunktet var det ønskelig å bruke Leica Cyclone sine funksjoner SmartAlign og auto-align. SmartAlign er en støttefunksjon i auto-align som skal gjøre det enklere å sette sammen skannstasjoner. For at funksjonen skal fungere best mulig må det være god overlapp mellom stasjonene. Metoden kan være tidsbesparende og prosessen med å sette sammen skannstasjonene er mer eller mindre automatisk. Dessverre for vår del var ikke overlappen tilfredsstillende mellom enkelte stasjoner, noe som førte til at enkelte stasjoner ikke ble satt sammen med nabostasjonen. Problemet oppsto i stasjonene med rundt 30% overlapp, dette var grunnen til at Cyclone Register 360 ble benyttet. Her kan man dra og rotere stasjonene så

de står i nærheten av hverandre før programvaren finner overlappende punkter mellom punktskyene.

Under generering av modeller ble modell #5 prosessert for å se om programvaren benyttet seg av targetene i skannet selv om de ble utelatt. Modellen ble satt sammen først når samtlige targets utenom S2 og S9 var klippet ut fra datasettet. På denne måten kunne vi være helt sikre på at programvaren ikke benyttet targets til å forbedre punktskyen. Når alle targets fjernes, forsvinner muligheten til å sammenligne modellene ved hjelp av midtpunktet i targetene. De ble derfor sammenlignet i punkter som var veldefinerte i begge modellene.

I modellene ble det ikke funnet differanser av stor betydning. Det er også knyttet en usikkerhet til metoden med å velge punktene manuelt. Samtidig gir cloud to cloud i store åpne områder mindre pålitelighet. Dette viser at det er minimal forskjell i cloud to cloud med og uten targets synlige og man kan med sikkerhet si at programvaren ikke har skjulte funksjoner for å benytte targetene.



Figur 19: Eksempel på fellespunkt, her med nødutgang hoveddør (ID 5)

## 6.5 Nøyaktighet

Etter å ha sammenlignet de ulike modellene som er utarbeidet opp mot referansemodellen er det ikke til å komme utenom, at det i svært liten grad er noen forskjell mellom modellene. I forhold til tidsbruken knyttet opp mot de ulike modellene hadde man en forventning om at det ville vært større differanser mellom referansemodellen og cloud to cloud modellen. De viser seg derimot å være nesten identiske.

### 6.5.1 Feilkilder i prosjektet

Et prosjekt av denne størrelsen vil inneholde feilkilder. Allerede i polygondraget oppstår det små avvik som følge av instrumentenes begrensninger og menneskelige feil. Blant disse har vi avstandsmålingene til MS60 med 1mm nøyaktighet og 1,5ppm. Dette er ved en enkel måling mot prisme. Vinkelnoyaktigheten er på 0,0003 gon og sentreringsnoyaktigheten på prismene som ble benyttet er på 1mm. Ved å måle fire helsatser vil disse tallene bli vesentlig lavere, men polygondraget vil med sine 12 oppstillinger dra med seg feil.

Targetene som ikke var en stasjon, ble målt inn manuelt med prismeløs måling. Instrumentets enkeltmålinger uten prisme har en avstandsnøyaktighet på 2mm + 2ppm. Det ble kun målt en helsats mot hvert enkelt target fra hver stasjon. Ved manuell innmåling er sannsynligheten for menneskelige feil større, spesielt når operatøren har holdt på over lengre tid uten pause. Derfor skiftet man operatør med jevne mellomrom og kontrollerte hverandre.

Samtlige stativer i prosjektet ble tvangssentrert over kjente punkter. Det er krevende å sentrere samtidig som libellen skal være i vater. Gjennom hele oppgaven ble sentreringen kontrollert av tre stykker og det er tenkelig at stativene ble stilt opp med en nøyaktighet bedre enn 1,5mm i stasjonene. Databladet til libellene sier det er mulig med 0,5mm ved en høyde på 1,5m i stativet. (Leica Geosystems, 2020)

Laserskanneren ble tvangssentrert i de samme punktene som ble opprettet i polygondraget. Det medfører samme usikkerhet som er beskrevet ovenfor. I tillegg har laserskanneren en avstandsnøyaktighet på 1,2 mm + 10ppm. 10ppm på ca. 83 meter fører til 0,8mm usikkerhet. Leica P40 kan gi en nøyaktighet i 3D på 3mm ved 50m avstand ved enkeltmålinger.

Det er også en begrensning i targetene sin nøyaktighet. Papirtargetene er mindre refleksive enn Leica sine spesialtargets for laserskanning. Når færre punkter reflekteres bli targetene mindre definerte, noe som kan føre til dårligere bestemmelse av midtpunktet i programvaren.

Den siste feilkilden er knyttet til middelfeilen mellom skannposisjonene i Leica Register 360. I programvaren opplevde man middelfeil på 8 og 9 mm mellom stasjon 1 og 2 i modell #3 og modell #5. Dette er den gjennomsnittlige feilen mellom punktskyene. Det var også feil på opp mot 6mm mellom skannstasjon 7 og 8 i begge de nevnte modellene. Felles for områdene med størst middelfeil er at områdene er store rom med få jevne flater. Med jevne flater menes vegger med få eller ingen detaljer. Det gir færre overlappende punkter og lavere kvalitet. Det er i tillegg mye forstyrrelser i form av vinduer i områdene med størst middelfeil. Disse punktene er også med i statistikken for middelfeilen, noe som gjør tallene verre. I områder som gangen mellom de store rommene er cloud to cloud middelfeilen mellom 1-3mm. Dette skyldes at programvaren håndterer jevne flater med få forstyrrelser bedre.

Tar man alle faktorene ovenfor i betraktning, må man si seg fornøyd med ca. 6mm nøyaktighet i en punktsky av denne størrelsen.



## 7 Konklusjon

Basert på de resultatene man har avdekket i denne oppgaven, vil innendørs laserskanning ved bruk av cloud to cloud metoden være den mest effektive når det kommer til tidsbruk. Da man ikke har noen standardkrav for innendørs laserskanning i Norge, har man gått i dialog med flere folk i bransjen. Kravene settes som regel av kunden, men på generelt grunnlag fikk vi oppgitt disse nøkkeltallene og forholde oss til:

Tabell 27: Bransjekrav

Prosjekttype	Nøyaktighet
Prosjekteringsgrunnlag	Bedre enn 10mm
BIM/tegningsgrunnlag	Bedre enn 20mm
Modell for forvaltning, drift og vedlikehold	20-30mm

Cloud to cloud oppfylder nøyaktighetskravene i relativ nøyaktighet, ved skanning av områder som er sammenlignbare med arbeidsområdet i dette prosjektet. Modellens absolutte nøyaktighet vil avhenge av kontrollpunktene kvalitet. Derfor må kontrollpunktene minimum oppfylle bransjens nøyaktighetskrav og det anbefales å plassere kontrollpunktene i hver ende av skannområde.

Tids- og kostnadsbesparelsen viser seg å være markant ved bruk av et cloud to cloud oppsett, sammenlignet med laserskanning med targets. Det vil samtidig være færre hensyn som må tas i planleggingsfasen, og utstørsbehovet blir noe mindre da man ikke har behov for targets annet enn i referansepunktene. I vårt oppsett er det 62,1 % av tiden som går til subskanning av targets, sammenlignet med selve skannetiden som altså utgjør 37,9 %. Ved å dekomponere tidsbruken på denne måten klarer man å vise at fordelene er store ved bruk av cloud to cloud. Denne metoden er nøyaktig og viser seg også å være tids- og kostnadsbesparende.

## 8 Veien videre

Gjennom arbeidet med denne oppgaven er det dukket opp enkelte ting underveis som kan være interessant å utforske for andre, eller for vår egen del ved en senere anledning. Dette kan for eksempel være å studere hvordan høy og normal sensitivitet på skanneren påvirker resultatet man får.

Vi vet også at håndholdte laserskannere vil kunne samle data raskere i arbeidsområdet, og lettere dekke områder der man med en stasjonær skanner får skygger. Håndholdte skannere leverer data med lavere nøyaktighet, men det kunne vært interessant og se på om disse kan nærme seg stasjonære skannere, for eksempel ved flittig bruk av targets.

Et annet aspekt som ville vært interessant å undersøke er hvilken oppløsning som hadde vært best egnet til denne typen prosjekt. Hvor lav punkttetthet kunne man ha brukt før det går på bekostning av nøyaktigheten eller har dette noe å si i det hele tatt?

Det er en kjensgjerning at ved høy oppløsning vil det kreve mer datamaskinkraft. Vi valgte å benytte relativt høy punkttetthet (3,1 mm@10 m) og har som følge at dette endt opp med store datamengder å jobbe med. Dette innebærer at det er mye tid som går med til prosessering av denne datamengden. Ved bruk av lavere punkttetthet vil det derfor gå med mindre tid til prosessering og dermed mer tid til analyse og lignende.

## 9 Litteraturliste

Gemini Oppmåling hjelpetekst (2020). *Powel*.

Kartverket (2019). *Referanserammer for Noreg*. Hentet fra:

<https://www.kartverket.no/Posisjonstjenester/bruke-referanserammer/Referanserammer-for-Noreg/> (15.04.2020)

Kartverket (2019). *Euref89*. Hentet fra:

<https://www.kartverket.no/Systemsider/Ordbok/E/Euref89/> (15.04.2020)

Kartverket (2017). *Posisjonstjenester i sanntid v. 2.0*. Hentet fra:

<https://www.kartverket.no/globalassets/standard/bransjestandarder-utover-sosi/posisjonstjenester-i-sanntid-versjon-2.0.pdf> (10.02.2020)

Kartverket (2018). *Høydesystemet NN2000*. Hentet fra:

<https://www.kartverket.no/NN2000> (15.04.2020)

Kartverket (2019). *CPOS*. Hentet fra: <https://www.kartverket.no/posisjonstjenester/cpos/> (18.04.2020)

Kartverket (u.å). *EUREF89 NTM (Norsk Transversal Mercator) sone 5-30*. Hentet fra:

<https://www.kartverket.no/globalassets/arkiv/posisjonstjenester/euref89ntmbeskrivelse.pdf> (15.04.2020)

Leica Geosystems (2020). *Original accessories*. Hentet fra:

<https://surveyequipment.com/assets/index/download/id/24/> (15.05.2020)

Leica Geosystems (2016). *Leica ScanStation P40 data sheet*. Hentet fra:

<https://leica-geosystems.com/-/media/files/leicageosystems/products/datasheets/scan/leica%20scanstation%20p30-p40%20ds%20832252%200119%20en%20arch%20bui%20bim%20lr.ashx?la=en&hash=8470C6AC9C3379B6875166B9057D478D> (03.03.2020)

Leica Geosystems (2020). *Leica MS60 data sheet*. Hentet fra: [https://leica-geosystems.com/-/media/files/leicageosystems/products/datasheets/leica\\_nova\\_ms60\\_ds.ashx?la=en&hash=AB5679E327538292C23BD76C0CCF3B52](https://leica-geosystems.com/-/media/files/leicageosystems/products/datasheets/leica_nova_ms60_ds.ashx?la=en&hash=AB5679E327538292C23BD76C0CCF3B52) (05.05.2020)

Leica Geosystems (2016). *Leica Viva GS16 data sheet*. Hentet fra: [https://leica-geosystems.com/-/media/files/leicageosystems/products/brochures/leica\\_viva\\_gs16\\_gnss\\_smart\\_antenna\\_bro.ashx?la=en&hash=D9AB15EF7C7B47590DBA71EE205E140F](https://leica-geosystems.com/-/media/files/leicageosystems/products/brochures/leica_viva_gs16_gnss_smart_antenna_bro.ashx?la=en&hash=D9AB15EF7C7B47590DBA71EE205E140F) (05.05.2020)

Leica Geosystems (2015). *New ScanStation Portfolio Intro*. Hentet fra: <https://www.slideshare.net/GregDolphin/new-scanstation-portfolio-intro-48157062> (17.02.2020)

Leica Geosystems (2004). *Leica Sprinter 100 data sheet*. Hentet fra: [https://assets.tequipment.net/assets/1/26/Documents/Leica\\_Sprinter\\_datasheet.pdf](https://assets.tequipment.net/assets/1/26/Documents/Leica_Sprinter_datasheet.pdf) (18.05.2020)

Lemmens, M. (2011). *Geo-information: Technologies, Applications and the Enviroment*. New York: Springer.

Norberg, D. Skogseth, T. (2014). *Grunnleggende landmåling*. 3. utgave. Oslo: Gyldendal forlag.

Store Norske Leksikon (2015). *Koordinatsystem*. Hentet fra: <https://snl.no/koordinatsystem> (15.04.2020)

Survey equipment (2019). *Leica ScanStation P40/P30 System Field Manual*. Hentet fra: <https://surveyequipment.com/assets/index/download/id/735/> (20.04.2020)

Van Genechten, B. (2008). *Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning*. Hentet fra: [http://jllerma.webs.upv.es/pdfs/Leonardo\\_Tutorial\\_Final\\_vers5\\_ENGLISH.pdf](http://jllerma.webs.upv.es/pdfs/Leonardo_Tutorial_Final_vers5_ENGLISH.pdf) (12.02.2020)

# 10 Vedlegg

1 Gemini\_rapporter

1.1 Utjevningsrapport

1.2 Grovfeilsøk

1.3 Globaltest

1.4 Indre\_pålitelighet

2. Cyclone\_rapporter

3. Cyclone\_Register\_360\_rapporter

4. Veiledningslogg

